

CSAPÓ JÁNOS–CSAPÓ JÁNOSNÉ

ÉLELMISZERKÉMIA



SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM  
MŰSZAKI ÉS TÁRSADALOMTUDOMÁNYI KAR  
MŰSZAKI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI TANSZÉK TANSZÉK

*A kiadvány megjelenését a Sapiientia Alapítvány támogatta.*

CSAPÓ JÁNOS–CSAPÓ JÁNOSNÉ  
*ÉLELMISZERKÉMIA*

**Lektor:**

Kiss Szendille (Debrecen)

**Sorozatborító:**

Miklósi Dénes



**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**CSAPÓ JÁNOS**

**Élelmiszerkémia** / Csapó János. – Cluj-Napoca: Scientia, 2004.

Bibliogr.

ISBN 973-7953-24-x

664:54

# TARTALOM

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Bevezetés</b>  | <b>15</b> |
| <b>1 A víz és az ásványi anyagok</b>  | <b>17</b> |
| 1.1. A víz  | 17        |
| 1.1.1. A vízmolekula szerkezete és tulajdonságai                                | 17        |
| 1.1.2. A víz és a jég szerkezete, tulajdonságai                                 | 19        |
| 1.1.3. Vizes oldatok  | 21        |
| 1.1.4. Hidrátburok és kristályvíz   | 23        |
| 1.1.5. A víz disszociációs egyensúlya, a víz ionszorzata, a pH és a pOH         | 25        |
| 1.1.6. A természetes vizek és az ivóvíz   | 27        |
| 1.1.7. A víz keménysége és sómentesítése  | 28        |
| 1.1.8. Ásványvizek és gyógyvizek  | 30        |
| 1.1.9. A víz kötése az élelmiszerekben  | 30        |
| 1.2. Az ásványi anyagok   | 34        |
| 1.2.1. Fémek makroelemek és vegyületeik   | 34        |
| 1.2.2. A nemfémes makroelemek és vegyületeik                                    | 36        |
| 1.2.3. Mikroelemek  | 37        |
| 1.3. Élelmiszerek nedvességtartalmának és ásványi alkotórészeinek meghatározása | 41        |
| 1.3.1. A nedvességtartalom meghatározása  | 44        |
| 1.3.2. Az ásványi alkotórészek meghatározása                                    | 45        |
| 1.4. A víz és az ásványi anyagok összefoglalása                                 | 61        |
| <b>2 A szénhidrátok</b>   | <b>63</b> |
| 2.1. Monoszacharidok  | 64        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 2.1.1.   | A monoszacharidok kémiai reakciói  | 68         |
| 2.1.2.   | Az élelmiszer-ipari szempontból fontosabb monoszacharidok ismertetése              | 82         |
| 2.2.     | Monoszacharid-származékok  | 84         |
| 2.2.1.   | Dezoxicukrok   | 85         |
| 2.2.2.   | Az aminocukrok   | 85         |
| 2.2.3.   | Cukorészterek  | 87         |
| 2.2.4.   | Cukoréterek  | 88         |
| 2.2.5.   | Cukoralkoholok   | 88         |
| 2.2.6.   | A monoszacharidok savszármazékai   | 89         |
| 2.2.7.   | A glikozidok   | 89         |
| 2.3.     | Oligoszacharidok   | 91         |
| 2.3.1.   | Diszacharidok  | 91         |
| 2.3.2.   | Triszacharidok   | 94         |
| 2.4.     | Poliszacharidok  | 94         |
| 2.4.1.   | Glükózpolimerek  | 96         |
| 2.4.2.   | Fruktózpolimerek   | 104        |
| 2.4.3.   | Mannánok   | 104        |
| 2.4.4.   | Uronsavpolimerek   | 104        |
| 2.4.5.   | Glükózamin-polimer   | 105        |
| 2.4.6.   | Kevert poliszacharidok   | 105        |
| 2.4.7.   | Szénhidrát-fehérje származékok   | 106        |
| 2.5.     | A szénhidrátok biokémiai átalakulásai  | 107        |
| 2.6.     | A szénhidrátok kimutatása és meghatározása   | 108        |
| 2.6.1.   | A cukrok kimutatása és meghatározása   | 108        |
| 2.6.2.   | A keményítő és meghatározása   | 114        |
| 2.6.3.   | A nyersrost és a rostfrakciók, valamint a cellulóz és a hemicellulóz meghatározása | 117        |
| 2.7.     | A szénhidrátok összefoglalása  | 121        |
| <b>3</b> | <b>A fehérjék és felépítésük</b>   | <b>124</b> |
| 3.1.     | Az aminosavak  | 124        |
| 3.1.1.   | Az aminosavak csoportosítása   | 126        |
| 3.1.2.   | Az aminosavak fizikai tulajdonságai  | 130        |
| 3.1.3.   | Az aminosavak kémiai tulajdonságai   | 135        |
| 3.2.     | Peptidek   | 140        |
| 3.3.     | A fehérjék   | 147        |
| 3.3.1.   | Általános tulajdonságok (szerkezet, molekulatömeg, oldhatóság)                     | 147        |

|   |            |
|---|------------|
| 3.3.2. A fehérjék kémiai reakciói, kapcsolódásai                      | 164        |
| 3.3.3. A fehérjék denaturálódása                                      | 166        |
| 3.3.4. A fehérjék funkcionális tulajdonságai                          | 168        |
| 3.3.5. A fehérjék csoportosítása                                      | 170        |
| 3.3.6. Fontosabb természetes fehérjék                                 | 174        |
| 3.3.7. Új fehérjeforrások   | 180        |
| 3.3.8. Élelmiszer-fehérjék átalakulása a feldolgozás és tárolás során | 180        |
| 3.4. A fehérjék biokémiai változásai                                  | 183        |
| 3.5. Élelmiszerek D-aminosav-tartalma                                 | 193        |
| 3.6. A nitrogén és különféle nitrogéntartalmú anyagok meghatározása   | 207        |
| 3.6.1. <i>Dumas</i> -féle égetéssel módszer                           | 207        |
| 3.6.2. <i>Kjeldahl</i> -féle módszer                                  | 208        |
| 3.6.3. Kjeld–Foss automata a nitrogéntartalom meghatározására         | 214        |
| 3.6.4. A valódi fehérje meghatározása                                 | 215        |
| 3.6.5. Az emészthető nyersfehérje-tartalom meghatározása              | 216        |
| 3.6.6. A fehérje aminosav-összetételének meghatározása                | 220        |
| 3.7. Az aminosavak, a peptidok és fehérjék összefoglalása             | 247        |
| <b>4 A lipidek</b>  | <b>251</b> |
| 4.1. A zsírsavak  | 252        |
| 4.1.1. Telített és telítetlen zsírsavak                               | 252        |
| 4.1.2. Helyettesített zsírsavak                                       | 259        |
| 4.1.3. A zsírsavak fizikai tulajdonságai                              | 259        |
| 4.1.4. A zsírsavak kémiai tulajdonságai                               | 259        |
| 4.2. Acilglicerinek   | 260        |
| 4.2.1. Az acilglicerinek fontosabb fizikai tulajdonságai              | 261        |
| 4.2.2. Az acilglicerinek kémiai tulajdonságai                         | 262        |
| 4.3. Foszfo- és glikolipidek  | 266        |
| 4.4. Diollipidek, zsíralkoholok, viaszok                              | 270        |
| 4.5. Sztterinek   | 271        |
| 4.6. Egyéb vegyületek   | 272        |
| 4.7. Természetes zsiradékok   | 273        |
| 4.7.1. A természetes zsiradékok fizikai tulajdonságai                 | 274        |
| 4.7.2. A természetes zsiradékok kémiai tulajdonságai                  | 275        |
| 4.7.3. Fontosabb természetes zsiradékok                               | 275        |
| 4.8. A lipidek biokémiai változásai                                   | 278        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.8.1. A lipidek és olajok változásai a tárolás és feldolgozás során           | 278        |
| 4.9. A zsírok, az illózsírsavak, a zsírsavak és az antioxidánsok meghatározása | 284        |
| 4.9.1. A nyerszsírtartalom meghatározása                                       | 284        |
| 4.9.2. A peroxidszám és a savszám meghatározása                                | 285        |
| 4.9.3. A zsír zsírsav-összetételének meghatározása gázkromatográfiásan         | 287        |
| 4.9.4. Az illósavak meghatározása gázkromatográfiásan                          | 293        |
| 4.9.5. Antioxidánsok (BHT) meghatározása                                       | 295        |
| 4.10. A lipidek összefoglalása   | 296        |
| <b>5 A vitaminok</b>   | <b>298</b> |
| 5.1. A vitaminok általános jellemzése  | 298        |
| 5.1.1. A vitaminok fogalma   | 298        |
| 5.1.2. A vitaminok fiziológiai hatása  | 299        |
| 5.1.3. A vitaminok felosztása  | 300        |
| 5.2. Zsíroldható vitaminok   | 300        |
| 5.2.1. A-vitamin   | 300        |
| 5.2.2. D-vitamin   | 302        |
| 5.2.3. E-vitamin   | 304        |
| 5.2.4. K-vitamin   | 306        |
| 5.3. Vízoldható vitaminok  | 307        |
| 5.3.1. B <sub>1</sub> -vitamin   | 308        |
| 5.3.2. B <sub>2</sub> -vitamin   | 309        |
| 5.3.3. Nikotinsav-amid   | 310        |
| 5.3.4. B <sub>6</sub> -vitamin   | 311        |
| 5.3.5. Pantoténsav   | 313        |
| 5.3.6. Folsavcsoport   | 314        |
| 5.3.7. Biotin  | 315        |
| 5.3.8. B <sub>12</sub> -vitamin  | 316        |
| 5.3.9. B <sub>15</sub> -vitamin  | 317        |
| 5.3.10. U-vitamin  | 317        |
| 5.3.11. C-vitamin  | 318        |
| 5.4. Egyéb táplálkozási tényezők   | 321        |
| 5.4.1. Nélkülözhetetlen (esszenciális) aminosavak                              | 321        |
| 5.4.2. Nélkülözhetetlen (esszenciális) zsírsavak                               | 322        |
| 5.4.3. Inozit  | 322        |
| 5.4.4. Kolin   | 323        |



---

|  |            |
|--|------------|
| 5.4.5. Liponsav  | 323        |
| 5.5. A provitaminok és a vitaminok meghatározása       | 324        |
| 5.5.1. A karotin- és a xantofilltartalom meghatározása | 324        |
| 5.5.2. A zsírolldható vitaminok meghatározása          | 326        |
| 5.5.3. A vízoldható vitaminok meghatározása            | 330        |
| 5.6. A vitaminok összefoglalása                        | 338        |
| <b>6 Természetes színezékek</b>                        | <b>339</b> |
| 6.1. Karotinoid színezékek                             | 339        |
| 6.1.1. A karotinoidok kémiai szerkezete                | 339        |
| 6.1.2. A karotinoidok tulajdonságai                    | 339        |
| 6.1.3. Fontosabb karotinoidok                          | 340        |
| 6.2. Kinonok   | 340        |
| 6.2.1. A kinonok kémiai szerkezete                     | 340        |
| 6.2.2. Ismertebb kinonok                               | 341        |
| 6.3. A flavonoid színezékek                            | 342        |
| 6.3.1. A flavonoidok kémiai szerkezete                 | 342        |
| 6.3.2. A flavonoidok fontosabb tulajdonságai           | 343        |
| 6.3.3. Ismertebb flavonoid vegyületek                  | 344        |
| 6.4. Pirrolszínezékek                                  | 344        |
| 6.4.1. Gyűrűs tetrapirrolszármazékok                   | 345        |
| 6.4.2. Lineáris pirrolszínezékek                       | 347        |
| 6.5. Egyéb természetes színezékek                      | 347        |
| 6.6. A természetes színezékek analízise                | 348        |
| 6.7. A természetes színezékek összefoglalása           | 348        |
| <b>7 Íz- és aromaanyagok</b>                           | <b>349</b> |
| 7.1. A zamatanyagok általános jellemzése               | 349        |
| 7.1.1. Ízanyagok                                       | 349        |
| 7.2. Aromaanyagok                                      | 355        |
| 7.2.1. A különböző illatanyagok                        | 355        |
| 7.3. Az íz- és aromaanyagok analízise                  | 361        |
| 7.4. Íz- és aromaanyagok összefoglalása                | 363        |
| <b>8 Egyéb szerves vegyületek</b>                      | <b>364</b> |
| 8.1. Alkoholok   | 364        |
| 8.1.1. Egyértékű alifás alkoholok                      | 365        |
| 8.1.2. Többértékű alifás alkoholok                     | 366        |
| 8.1.3. Aromás alkoholok                                | 367        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 8.2.     | Fenolok, fenol-éterek, fenol-alkoholok                | 368        |
| 8.2.1.   | Az egyértékű fenolok és származékaik                  | 368        |
| 8.2.2.   | Kétértékű fenolok és származékaik                     | 369        |
| 8.3.     | Oxovegyületek   | 370        |
| 8.3.1.   | Az aldehidek  | 370        |
| 8.3.2.   | Ketonok   | 373        |
| 8.4.     | Szerves savak és származékaik                         | 374        |
| 8.4.1.   | Szerves savak   | 375        |
| 8.4.2.   | Észterek  | 379        |
| 8.4.3.   | Laktonok  | 380        |
| 8.5.     | Illóolajok  | 381        |
| 8.5.1.   | Terpének  | 381        |
| 8.5.2.   | Az illóolajok egyéb komponensei                       | 384        |
| 8.6.     | Alkaloidok  | 384        |
| 8.6.1.   | Purinvázás alkaloidok                                 | 385        |
| 8.6.2.   | Kondenzált piridingyűrűs alkaloidok                   | 386        |
| 8.6.3.   | Piridinvázás alkaloidok                               | 388        |
| 8.6.4.   | Indolvázás alkaloidák                                 | 389        |
| 8.7.     | Néhány szerves vegyület meghatározása                 | 389        |
| 8.7.1.   | A bor alkoholtartalmának meghatározása                | 390        |
| 8.7.2.   | A pálinka metil-alkohol-tartalmának meghatározása     | 390        |
| 8.7.3.   | Az L-tejsav meghatározása enzimes analízissel         | 390        |
| 8.7.4.   | A kávé koffeintartalmának meghatározása               | 391        |
| 8.7.5.   | A tea csersavtartalmának meghatározása                | 392        |
| 8.7.6.   | A dohány nikotintartalmának meghatározása             | 392        |
| 8.8.     | Az egyéb szerves vegyületek összefoglalása            | 392        |
| <b>9</b> | <b>Enzimek</b>  | <b>395</b> |
| 9.1.     | A kémiai reakciók lejátszódásának feltételei          | 395        |
| 9.2.     | A reakciósebesség és a biokatalizátorok               | 400        |
| 9.2.1.   | A reakciók kinetikája és a katalízis                  | 401        |
| 9.2.2.   | Aktivált állapot                                      | 402        |
| 9.2.3.   | Enzimek–biokatalizátorok                              | 403        |
| 9.3.     | Enzimreakciók gátlása                                 | 410        |
| 9.3.1.   | Enzimek irreverzibilis gátlása                        | 410        |
| 9.3.2.   | Enzimek reverzibilis gátlása                          | 412        |
| 9.3.3.   | Aktivátorok   | 414        |
| 9.4.     | A szerkezet és a működés kapcsolata a biokatalízisben | 414        |
| 9.4.1.   | Az aktív centrum szerepe a biokatalízisben            | 415        |

|  |            |
|--|------------|
| 9.4.2. A katalízis mechanizmusa  | 417        |
| 9.4.3. Enzimműködés és molekulaméret   | 421        |
| 9.4.4. Enzimpreparátumok   | 422        |
| 9.4.5. Az enzimműködés szabályozása  | 424        |
| 9.5. Az élelmiszer-tudomány szempontjából legfontosabb enzimek   | 430        |
| 9.5.1. Oxidoreduktázok   | 430        |
| 9.5.2. Transzferázok   | 437        |
| 9.5.3. Hidrolázok  | 439        |
| 9.5.4. Liázok  | 457        |
| 9.5.5. Izomerázok  | 458        |
| 9.5.6. Ligázok (szintetázok)   | 460        |
| 9.6. Az enzimek kimutatása és meghatározása  | 460        |
| 9.6.1. Az alanin aminoszferáz (ALT) aktivitásának meghatározása  | 461        |
| 9.6.2. Az aszparaginsav transzamináz (AST) aktivitásának meghatározása   | 462        |
| 9.6.3. A glutamát-dehidrogenáz (GLDH) aktivitásának meghatározása  | 462        |
| 9.6.4. Az alkalikus foszfatáz (ALP) aktivitásának meghatározása  | 463        |
| 9.6.5. Az $\alpha$ -amiláz aktivitásának meghatározása   | 463        |
| 9.6.6. A laktáz ( $\beta$ -galaktozidáz) aktivitásának meghatározása   | 463        |
| 9.6.7. A celluláz aktivitásának meghatározása  | 464        |
| 9.6.8. A karboxipeptidáz A aktivitásának meghatározása   | 464        |
| 9.6.9. A tripszin aktivitásának meghatározása  | 464        |
| 9.6.10. A lipáz aktivitásának meghatározása  | 465        |
| 9.6.11. A szója ureázaktivitásának meghatározása   | 465        |
| 9.7. Az enzimek összefoglalása   | 466        |
| 9.7.1. A reakciók lejátszódásának feltételei, reakciósebesség és biokatalizátorok, gátlások, a szerkezet és a működés kapcsolata | 466        |
| 9.7.2. Az élelmiszer-tudomány szempontjából legfontosabb enzimek összefoglalása  | 468        |
| <b>10 Élelmiszer-technológiai adalékok</b>   | <b>470</b> |
| 10.1. Tartósítószer  | 470        |
| 10.1.1. A tartósítószer hatásmechanizmusa  | 470        |
| 10.1.2. Szervetlen tartósítószer   | 471        |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 10.1.3. | Szerves tartósítószer   | 472 |
| 10.1.4. | Antibiotikumok  | 475 |
| 10.1.5. | Fitoncidok  | 476 |
| 10.2.   | Antioxidánsok   | 477 |
| 10.2.1. | Természetes antioxidánsok   | 478 |
| 10.2.2. | Mesterséges antioxidánsok   | 478 |
| 10.3.   | Ízesítőanyagok  | 479 |
| 10.3.1. | Édes ízű adalékok   | 479 |
| 10.3.2. | Sós ízű adalékok  | 483 |
| 10.3.3. | Keserű ízű adalékok   | 483 |
| 10.3.4. | Savanyú ízű adalékok  | 484 |
| 10.3.5. | A fűszerek hatóanyagai  | 484 |
| 10.4.   | Mesterséges színezékek  | 489 |
| 10.5.   | Állományjavító adalékok   | 491 |
| 10.5.1. | Szénhidrát alapú gélképzők  | 491 |
| 10.5.2. | Fehérje alapú gélképzők   | 496 |
| 10.5.3. | Szervetlen állományjavító adalékanyagok   | 497 |
| 10.5.4. | Emulgeátorok  | 497 |
| 10.6.   | Tápértéket növelő adalékok  | 500 |
| 10.6.1. | Vitamindúsítás  | 501 |
| 10.6.2. | Fehérjekomplettálás   | 503 |
| 10.6.3. | Mikroelem-, makroelemkiegészítés  | 504 |
| 10.7.   | Néhány tartósítószer és mesterséges színezék meghatározása  | 506 |
| 10.7.1. | A bor kénessavtartalmának meghatározása   | 506 |
| 10.7.2. | A hangyasavtartalom meghatározása   | 507 |
| 10.7.3. | A benzoésav-tartalom meghatározása  | 507 |
| 10.7.4. | A szorbinsav-tartalom meghatározása   | 508 |
| 10.7.5. | Mesterséges színezékek meghatározása  | 508 |
| 10.7.6. | A szacharin és a ciklamát kimutatása és meghatározása   | 509 |
| 10.7.7. | A szacharin meghatározása nagy hatékonyságú folyadék-kromatográfiával   | 509 |
| 10.7.8. | A ciklamátok mennyiségi meghatározása   | 510 |
| 10.8.   | A tartósítószer, az antioxidánsok, az ízesítőanyagok, a mesterséges színezékek, az állományjavító-anyagok és a tápértéket növelő anyagok összefoglalása | 510 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>11 Méregző anyagok</b>  | <b>512</b> |
| 11.1. Természetes mérgek   | 513        |
| 11.1.1. Méregző alkaloidok   | 513        |
| 11.1.2. Méregző aminosav-származékok   | 515        |
| 11.1.3. Méregző glikozidok   | 517        |
| 11.1.4. Méregző illóolaj-komponensek   | 519        |
| 11.1.5. Antinutritív anyagok   | 520        |
| 11.2. A mikroorganizmusok által termelt mérgek                                   | 523        |
| 11.2.1. Baktériumtoxinok   | 523        |
| 11.2.2. Mikotoxinok  | 525        |
| 11.3. Peszticidek  | 530        |
| 11.3.1. Inszekticidek  | 530        |
| 11.3.2. Fungicidek   | 533        |
| 11.3.3. Herbicidek   | 534        |
| 11.3.4. Állattenyésztési és gyógyászati maradékok                                | 534        |
| 11.4. Egyéb mérgek   | 535        |
| 11.4.1. Fémszennyeződések  | 535        |
| 11.4.2. Műanyagokból származó mérgek   | 537        |
| 11.4.3. A szennyezett természeti környezet ártalmi                               | 538        |
| 11.5. Néhány méregző anyag kimutatása és meghatározása                           | 541        |
| 11.5.1. A cián-hidrogén-tartalom meghatározása                                   | 541        |
| 11.5.2. Olajos magvak kéntartalmú glükozinolát-tartalmának meghatározása         | 542        |
| 11.5.3. A szója és a szójatermékek tripszininhibitor-aktivitásának meghatározása | 543        |
| 11.5.4. A mikotoxinok meghatározása  | 544        |
| 11.5.5. A peszticid- és herbicidmaradványok meghatározása                        | 546        |
| 11.5.6. A különböző fémnyomok kimutatása   | 547        |
| 11.6. A méregző anyagok összefoglalása   | 549        |
| <b>12 Csomagolóanyagok</b>   | <b>552</b> |
| 12.1. Üveg   | 553        |
| 12.2. Fémlemezek   | 553        |
| 12.2.1. Acéllemez  | 553        |
| 12.2.2. Alumínium  | 554        |
| 12.3. Papír  | 554        |
| 12.4. Műanyagok  | 555        |
| 12.4.1. Csomagolásra alkalmas fontosabb műanyagok                                | 555        |
| 12.4.2. Egyéb műanyagok  | 559        |

---

|  |            |
|--|------------|
| 12.5. A csomagolóanyagok összefoglalása              | 560        |
| <b>13 Tisztító- és fertőtlenítőszer</b>              | <b>561</b> |
| 13.1. Tisztítószer                                   | 561        |
| 13.1.1. Szennyoldó anyagok                           | 562        |
| 13.1.2. Komplexképző tisztítószer                    | 563        |
| 13.1.3. Felületaktív anyagok                         | 563        |
| 13.1.4. Egyéb tisztítószer                           | 565        |
| 13.2. Fertőtlenítőszer                               | 566        |
| 13.2.1. Klórtartalmú fertőtlenítőszer                | 566        |
| 13.2.2. Jód tartalmú fertőtlenítőszer                | 567        |
| 13.2.3. Kvaterner ammóniumvegyületek                 | 567        |
| 13.2.4. Amfolitszappanok                             | 568        |
| 13.3. A tisztító- és fertőtlenítőszer összefoglalása | 568        |
| <b>Szakirodalom</b>                                  | <b>570</b> |
| <b>Gyakrabban előforduló rövidítések</b>             | <b>596</b> |

## BEVEZETÉS

---

Az *Élelmiszer-kémia* jegyzet a korábban a Kaposvári Egyetem Állattudományi Kar hallgatói számára írt *Élelmiszer-kémia* és *Élelmiszer- és takarmányanalitikai gyakorlatok* jegyzetek átdolgozásával készült a SAPIENTIA Erdélyi Magyar Tudományegyetem Csíkszeredai Karok hallgatói számára. Reményeink szerint e jegyzetet a Tudományegyetemen tanulókon kívül a leendő agrárfeldolgozó-ipari technológus és a táplálkozástudományi mérnök szak hallgatói is használni fogják. A könyv megírásakor figyelemmel voltunk arra, hogy a tárgyalt anyag tartalmi és didaktikai szempontból is illeszkedjen az egyetemen korábbi szemeszterekben tanult általános, szerves- és biokémiához. A könyv megírásához alapnak a Gasztonyi Kálmán és Lásztity Radomir által írt és szerkesztett *Élelmiszer-kémia 1.* és *Élelmiszer-kémia 2.* tankönyveket tekintettük. E két kötetben lévő hatalmas tudásanyag jó részét el kellett hagyni, hisz figyelemmel kellett lenni arra, hogy a legtöbb karon csak egy féléven keresztül heti két-három óra elmélet és egy-két óra bemutató jellegű gyakorlat keretében tanulják a hallgatók az élelmiszer-kémiát.

A könyv első fele az ásványi anyagokkal és a vízzel foglalkozik, amelyet a szénhidrátok, a fehérjék és építőkövek, a lipidek, valamint a vitaminok fejezet tárgyalása követ. E fejezetekben az élő szervezetet felépítő biogén elemekkel, az aminosavakkal, a peptidokkal, a fehérjékkel, azok elsődleges, másodlagos, harmadlagos és negyedleges szerkezetével, a szénhidrátokkal, ezen belül a mono- és poliszacharidokkal, a lipidekkel, ezen belül a foszfogliceridekkel, a lipoproteinekkal, a membránok felépítésével, valamint a zsír- és vízoldható vitaminokkal foglalkozunk. A következő fejezetekben a természetes színezékeket, az íz- és aromaanyagokat, valamint az élelmiszerek egyéb szerves anyagait tárgyaljuk.

A kötet további részének fontosabb fejezetei a biológiai folyamatok és a biokatalízis, az élelmiszer-kémiában nagyobb jelentőségű enzimek

ismertetése, majd ezeket az élelmiszer-technológiai adalékok fejezetben a tartósítószeres, az antioxidánsok, az ízesítőanyagok, a mesterséges színezékek, az állományjavító és tápértéket növelő adalékok tárgyalása követi. A mérgező anyagok fejezetből a természetes és a mikroorganizmusok által termelt mérgeket, valamint a peszticideket ismerhetik meg a hallgatók. A könyv végén a csomagolóanyagokkal, valamint a tisztító- és fertőtlenítőszerrel foglalkozunk. Minden fejezet végén rövid áttekintést kap az Olvasó a fejezetben tárgyalt összetevők analitikájáról. A módszerek leírásakor nem törekedtünk teljességre, hanem csak az elvet, a módszer által elérhető pontosságot és az eredmények gyakorlatban való felhasználhatóságát tartottuk szem előtt. Az egyes eljárásokat úgy próbáltuk csoportosítani, hogy a Olvasó az egyszerűbb vizsgálatoktól folyamatosan jusson el a bonyolultabbakig, megismerve az élelmiszerek kémiai analízisének fontosabb lépéseit.

A fejezeteket próbáltuk egymásra építeni, ezért javasoljuk a tisztelt Olvasónak, hogy a későbbi fejezetek tanulmányozásának csak akkor kezdjen neki, ha a könyv első részében lévő anyaggal tökéletesen tisztában van, mert e nélkül nem fogja megérteni az élelmiszer-kémiát.

Végül hálás köszönetünket szeretnénk kifejezni *lektorainknak*, Győri Zoltán, Lásztity Radomir és Szigeti Jenő professzoroknak a kézirat átnézéséért, értékes tanácsaikért, Stanics Juditnak és Szabó Ágnesnek a lelkiismeretes gépelésért és a könyvben lévő képletek szerkesztéséért, Salamon Rozáliának, Vargáné Cseresnyés Eszternek és Bukovics Ildikónak a kézirat megírásában nyújtott segítségéért.

A könyvben maradt hibák kizárólag a szerzők „érdemei”. Kérjük a tisztelt Olvasókat, szíveskedjenek ezekre felhívni a figyelmünket.

**A szerzők**

Kaposvár, 2004. május 1.



## A VÍZ ÉS AZ ÁSVÁNYI ANYAGOK

### 1.1. A víz

A víz a földi élet egyik legalapvetőbb feltétele, mert

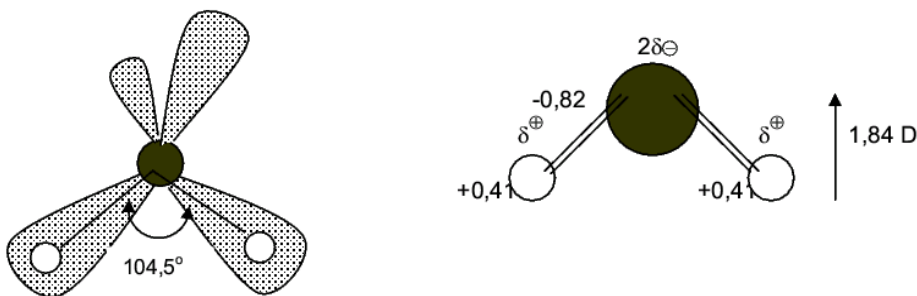
- oldószerként reakcióközeg és szállítóanyag szerepet tölt be a sejtekben és a szövetekben,
- reakciópartnerként részt vesz számos biokémiai folyamatban,
- hozzájárul számos bioaktív makromolekula konformációjának kialakulásához,
- nagy fajhője és párolgáshője révén fontos szerepet játszik a szervezet hőháztartásában,
- jelentős mértékben hozzájárul az élő szervezetek számára elengedhetetlen környezeti feltételek biztosításához.

Az emberi szervezet legfontosabb szervetlen alkotórésze a víz, amely a testnek 60–70%-át képezi, sőt egyes szervek (vese, agyvelő, szem) ennél több vizet is tartalmaznak. Az ember napi átlagos vízszükséglete 2,5–3,0 liter, amihez főként ivóvízzel és különböző folyadékokkal, részben pedig élelmiszerek, illetőleg kismértékben a tápanyagok biológiai oxidációjával jut hozzá. A vízszükséglet kielégíthetlensége a szervezet gyors legyengüléséhez és pusztulásához vezet, mert az ember az éhezést több mint 60 napig képes elviselni, a szervezet 15%-os vízvesztése viszont már néhány napon belül halált okoz. A víz az élelmiszereknek is fontos alkotórésze. Az egyes élelmiszerek víztartalma rendkívül különböző; a zöldségek és gyümölcsök 70–90%-a víz, a növényi olajok, az állati zsírok és a cukor viszont csak nyomokban tartalmaznak nedvességet.

#### 1.1.1. A vízmolekula szerkezete és tulajdonságai

A víz összképlete  $H_2O$ ; a vízben az oxigénatom két hidrogénatommal létesít kovalens kötést. Az oxigén vegyérték-elektronhéjának szerkezete alapállapotban  $2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$ . A két hidrogén  $1s$  elektronjai az oxigén  $2p_y^1$ - és  $2p_z^1$ -pályáin lévő párosítatlan elektronokkal hozzák létre az O–H kötést.

seket. Ha az O–H kötések a  $p_y$ - és  $p_z$ -orbitálok alapállapotának megfelelő irányultság szerint jöttek volna létre, akkor a vízmolekulában a H–O–H kötésszög  $109,48^\circ$  lenne. A vizsgálatok szerint azonban H–O–H kötésszög a vízben  $104,5^\circ$  (1.1. ábra), ami azzal magyarázható, hogy az oxigén  $2s$ - és három  $2p$ -pályája  $sp^3$ -hibridpályákká alakul át. A két párosítatlan elektront tartalmazó hibridpálya kötést létesít egy-egy hidrogénatommal, a másik két hibridpálya pedig egy-egy nemkötő elektronpárt tartalmaz. A nemkötő elektronpárok közelebb vannak az oxigénhez a kötő elektronpároknál, és taszító hatást gyakorolnak egymásra is, valamint a kötést létesítő elektronpárookra is. Ennek következtében az O–H kötések közelebb kerülnek egymáshoz, ami a tetraéderes kötésszög torzulását és a  $104,5^\circ$  H–O–H kötésszög kialakulását magyarázza.

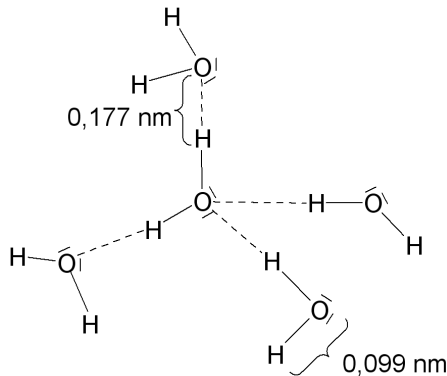


1.1. ábra. A vízmolekula geometriája és poláris kötése

Az oxigén nagy elektronegativitása a vízmolekula O–H kötéseit létesítő elektronpárok oxigénhez közelebbi elhelyezkedését okozza. A kötő elektronpárok eltolódása az O–H kötések polárisá teszi; az oxigén részlegesen negatív ( $-0,82$ ), a hidrogén pedig részlegesen pozitív ( $+0,41$ ) töltésű lesz. Végső soron a poláris kötések és a molekula geometriája miatt a vízmolekulák nagy állandó dipólusmomentummal ( $1,84$  D) rendelkeznek (1.1. ábra).

A vízmolekulák egymással hidrogénkötéssel kapcsolódhatnak. A vízmolekula oxigénatomjának nemkötő elektronpárjai és részleges negatív töltése vonzzák a másik vízmolekula egyik hidrogénatomját. Egy vízmolekula négy másik vízmolekulával létesíthet hidrogénkötést. A kialakult hidrogénkötés igen erős, mivel a kötést létesítő atomok egy egyenes mentén helyezkednek el (1.2. ábra).

A természetben előforduló vízben megtalálható a 2-es tömegszámú hidrogénizotóp, a deutérium (D) és a 3-as tömegszámú trícium (T).



1.2. ábra. A vízmolekulák között kialakuló hidrogénkötések

Az oxigénizotópok közül a 17-es és a 18-as tömegszámúak is előfordulnak, így a vízmolekulák felépítésében a hidrogén hatféle ( $H_2$ , HD,  $D_2$ , HT, DT,  $T_2$ ), az oxigén háromféle ( $^{16}O$ ,  $^{17}O$ ,  $^{18}O$ ) izotóp formában vehet részt. Ennek alapján elvileg 18-féle vízmolekula létezik, amelyek közül természetes vízben csak az utóbbi négy változat mennyisége számottevő:  $H_2^{16}O$  (99,76%),  $H_2^{18}O$  (0,037%),  $H_2^{17}O$  (0,17%),  $HD^{16}O$  (0,032%).

A nehézvíz valójában a  $D_2^{16}O$ , tágabb értelemben azonban a víznek minden olyan változatát nehézvíznek hívják, amely a hidrogénnek vagy az oxigénnek valamelyik nehéz izotópját tartalmazza. A nehézvíz tulajdonságai eltérnek a víztől, ugyanis fagyáspontja  $+3,8\text{ }^\circ\text{C}$ , forráspontja pedig  $+101,4\text{ }^\circ\text{C}$ , tehát számottevően nagyobb, mint a közönséges vízé. Sűrűsége  $+4\text{ }^\circ\text{C}$ -on  $1,11\text{ g/cm}^3$ . A különböző izotóp-összetételű vizek élettani szempontból is eltérően viselkednek, ugyanis például a nehézvízben nem csíráznak a magvak, elpusztulnak a halak, és nagyobb mennyiségben mérgező az emberi szervezet számára is.

### 1.1.2. A víz és a jég szerkezete, tulajdonságai

A vízmolekulák dipólusos jellege következtében a molekulák ellentétes töltésű részükkel egymás felé fordulnak, és így közöttük vonzóerők lépnek fel. A vízmolekulák között hidrogénhíd-kötések is vannak, amelyek úgy alakulnak ki, hogy a vízmolekulában lévő hidrogén nemcsak a vele közvetlenül kapcsolatos oxigénatom elektronfelhőjét húzza maga felé, hanem kisebb mértékben a szomszédos vízmolekula elektronjait is,

amelynek során öt vízmolekulából álló, tetraédes elrendeződésű molekulahalmaz jön létre. A vízmolekulák között kialakuló hidrogénkötések miatt a víz folyékony állapotban is részleges rendezettséget mutat. A víz a hidrogénkötések által összetartott molekulaasszociátumokból és szabad vízmolekulákból áll, amelyek között adott hőmérsékleten dinamikus egyensúly van, azaz az asszociátumokban lévő és a szabad vízmolekulák folyamatosan cserélődnek, miközben az asszociátumok és a szabad vízmolekulák száma nem változik. A folyékony víz tehát olyan szuszpenzióknak tekinthető, amelyben tetraédes vízmolekula-halmazok helyezkednek el a rendezetlen, magányos vízmolekulák között. A rendezett és rendezetlen molekulák aránya függ a hőmérséklettől, ugyanis melegítés hatására csökken a halmazokban lévő vízmolekulák száma.

A víz megfagyását követően a jégben a vízmolekulák nagyfokú rendezettséget mutatnak; minden oxigénatomot négy hidrogénatom vesz körül, amelyek közül kettő kovalens kötéssel, kettő pedig hidrogénkötéssel kapcsolódik az oxigénhez. Az oxigén a négy hidrogénatomon keresztül másik négy oxigénatomhoz kapcsolódik, amelynek során kialakul a jégre jellemző, háromdimenziós szerkezet. A jég sűrűsége ( $0,91680 \text{ g/cm}^3$ ) kisebb, mint a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -os víz sűrűsége ( $0,99984 \text{ g/cm}^3$ ), a víz fagyása ezért térfogat-növekedéssel jár. Ezzel magyarázható, hogy a vizet tartalmazó üvegedények fagyáskor szétrepednek. A víz sűrűségének hőmérsékletfüggése anomális, azaz nem követi azt a törvényszerűséget, miszerint a folyadékok sűrűsége a hőmérséklet növekedésével általában csökken. A víz sűrűsége  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -on  $0,99984 \text{ g/cm}^3$ ; a hőmérsékletet növelve  $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$ -on éri el a maximumát  $0,99997 \text{ g/cm}^3$ -rel, majd a további hőmérséklet-emeléssel a sűrűség csökken. A fenti anomáliának köszönhetően télen a tavak és a folyók összes vízállománya nem fagy meg, hisz télen a vizek először egész tömegükben  $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűlnek le. További lehűlés esetén az alacsonyabb hőmérsékletű, de kisebb sűrűségű vízréteg a felszínen marad, és így a fagyás a felső vízrétegben indul meg. A felszínen képződő jégréteg jó hőszigetelő, védi az alatta lévő vízréteget a további lehűléstől, megakadályozva ezzel a fenékgig való befagyást. A jégben és a vízben lévő hidrogénhidak miatt a molekulák közötti kölcsönhatás erős, amely kölcsönhatásokat csak viszonylag nagy energiabefektetéssel lehet legyőzni. Ennek következtében a víz olvadáspontja  $0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ , és forráspontja  $0,1 \text{ MPa}$  nyomáson  $100,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Olvadáshője ( $6,02 \text{ kJ/mol}$ ) és párolgáshője ( $40,70 \text{ kJ/mol}$ ) sokkal nagyobb, mint a hasonló szerkezetű, de hidrogénkötéseket nem alkotó vegyületeké (pl. kén-hidrogén). A víz nagy hőkapacitása ( $75,20 \text{ J/K}\cdot\text{mol}$ ) miatt jelentős mennyiségű hőt képes elnyelni vagy

leadni anélkül, hogy hőmérséklete lényegesen megváltozna. Ennek következtében szabályozza a környezet hőmérsékletét, mérsékelve ezzel a szélsőséges hőmérséklet-változásokat. Az állatok és az ember bizonyos hőmérséklethatárokon belül hasonlóképpen szabályozza testhőmérsékletét a testfolyadékok segítségével. A víz elpárolgotatásával a szervezet a felesleges hőt leadja, hisz a víz nagy párolgáshője miatt az izzadás nagy hővesztéssel jár.

A víz hővezető képessége csekély, a jég hővezető képessége viszont a vízénél négyszer nagyobb. Hőstabilitása igen jó, mivel csak 2000 °C feletti hőmérsékleten kezd jelentős mértékben elemeire bomlani. Az elektromosságot a tiszta víz nagyon rosszul vezeti, dielektromos állandója viszont rendkívül nagy, ami lehetővé teszi a víztartalmú élelmiszerek gyors felmelegítését nagyfrekvenciás térben.

A víz és a jég felszínén a molekulák egy része folyamatosan kiszakad a cseppfolyós, illetve szilárd fázisból, és légnemű halmazállapotba megy át. A környező levegőbe jutó vízgőz mennyiségét kétféleképpen szokás megadni: az abszolút nedvesség a levegő 1 m<sup>3</sup>-ében lévő vízgőz mennyiségét adja meg grammban, a relatív nedvesség viszont százalékban adja meg, hogy a levegőben lévő vízgőz hányad része annak a vízgőzmennyiségnek, amely a levegőt a vizsgált hőmérsékleten telítené.

$$RP\% = \frac{AP}{TP} \cdot 100,$$

ahol:  $RP$  = a relatív páratartalom,

$AP$  = az abszolút páratartalom,

$TP$  = a telített levegő páratartalma.

### 1.1.3. Vizes oldatok

A víz nagyon sok anyagnak jó oldószere, ami lehetővé teszi, hogy különböző molekulák és ionok vizes oldatban továbbíthatók legyenek. Egy anyag oldhatóságát az oldandó anyag molekulái, az oldószer molekulái és az oldandó anyag, valamint az oldószer molekulái között kialakuló vonzóerők határozzák meg. Apoláris anyagok vízben csak igen kis mértékben oldódnak, mivel a vízmolekulák között ható vonzóerők lényegesen nagyobbak, mint az apoláris oldandó anyag és a vízmolekulák közötti erő. Mivel a víz poláris molekula, könnyen lép kölcsönhatásba ionokkal, valamint dipólusmomentummal rendelkező molekulákkal különösen akkor, ha a molekula hidrogénkötések kialakítására is képes.

Az ionok és molekulák oldódása vízben a következő módon megy végbe. A kristályok felületén és csúcsain elhelyezkedő részecskékre a rácsot összetartó erők csak részben hatnak, ezért a kristályrácsból könnyebben eltávolíthatók. Ezek a részecskék dipólus-dipólus kölcsönhatásokat alakítanak ki a vízmolekulákkal, és amikor a vízmolekulák és a részecskék közötti vonzóerő nagyobbá válik, mint a részecskékre a kristályrácsban ható vonzóerő, akkor a részecskék a kristályrácsból leszakadnak. A részecske leszakadása után újabb részecskék válnak hozzáférhetővé a vízmolekula számára, és ez a folyamat addig folytatódik, amíg az egész kristály fel nem oldódik (1.3. ábra).

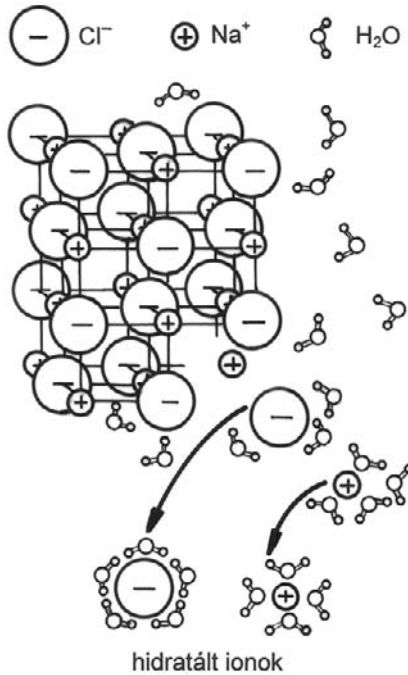
A kristályos anyagok oldódását kísérő hőváltozás ( $\Delta H_{\text{oldás}}$ ) két hőeffektus algebrai összegeként értelmezhető. Az egyik ezek közül a rácsenergia abszolút értékével egyenlő energiabevitel, amely ahhoz szükséges, hogy a kristályt összetartó kötések felbomoljanak ( $\Delta H_{\text{rács}} > 0$ ). A másik az ún. szolvatációshő (víz esetében hidratációshő), amely az oldatba jutott részecskék szolvátburkának (hidrátburkának) kialakulását kíséri ( $\Delta H_{\text{szolvatáció}} < 0$ ).

Ennek megfelelően:

$$\Delta H_{\text{oldás}} = \Delta H_{\text{rács}} + \Delta H_{\text{szolvatáció}}$$

Így végső soron azt, hogy az oldás során energia ( $\Delta H_{\text{oldás}}$ ) szabadul fel vagy nyelődik el, mindig az endoterm ( $\Delta H_{\text{rács}}$ ) és az exoterm ( $\Delta H_{\text{szolvatáció}}$ ) részfolyamat együttesen határozza meg.

Oldáshőnek nevezzük az egységnyi tömegű vagy mólnyi mennyiségű anyag oldásakor felszabaduló vagy elnyelődő hőmennyiséget. Kristályos szilárd anyagok oldásakor tehát az előzőek értelmében a rácsenergiának megfelelő energiát kell befektetni, az oldás során pedig a hidratációs hő szabadul fel. NaCl esetében a rácsenergia 769 kJ/mol, a hidratációshő  $-769$  kJ/mol, aminek következtében a számított oldáshő 0 kJ/mol. Ha az ionok hidratációshője nagyobb, mint a rácsenergia, akkor az oldás során hő szabadul fel, az oldat felmelegszik, az oldódás exoterm energiaváltozással jár. Ha a hidratációshő kisebb, mint a rácsenergia, akkor az oldás során hő nyelődik el, az oldat lehűl, az oldás endoterm folyamat. A gyakorlatban a rácsenergia és a hidratációshő különbségéből számított oldáshő nem mindig egyezik meg a mért értékkel, aminek az az oka, hogy az oldódás során a rács felbomlásán és a hidratált ionok képződésén túl más, energiaváltozással járó folyamatok is lejátszódnak. Megváltozik pl. a vízmolekulák közötti kölcsönhatás, ami az oldószer-molekulák rendezettségének megváltozását eredményezi.



1.3. ábra. Az ionkristály oldása vízben

A hidratáció hő függ az ionok méretétől és töltésétől; minél nagyobb az iontöltés/ionsugár hányados, annál nagyobb lesz az ion hidratációja során felszabaduló hő.

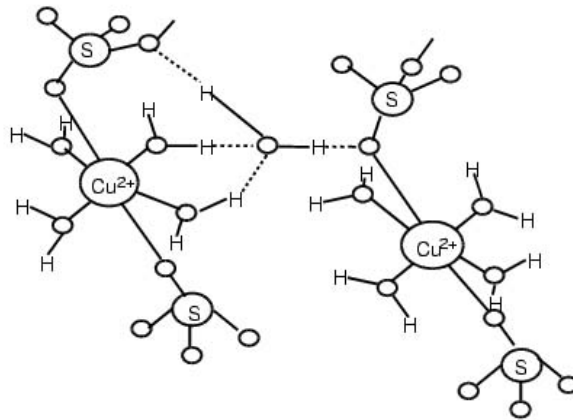
#### 1.1.4. Hidrátburok és kristályvíz

Az ionok méretüktől és töltésüktől függően különböző mennyiségű vízmolekulát kötnek meg dipólus-dipólus kölcsönhatással, hidrogénkötéssel vagy datív-kovalens kötéssel. Egy ionhoz annál erősebben kötődnek a hidratált molekulák, minél közelebb tudnak férkőzni az ionhoz. A legbelső koordinációs gyűrűben lévők kapcsolata a legerősebb az ionnal, az iontól távolodva pedig a kapcsolat lazul. A megkötött vízmolekulák száma a legtöbb esetben határozatlan, ezért nem vagy csak aq-val jelezzük a hidratburkot. Vannak azonban olyan fémionok, amelyeknél ez a szám határozott, pl. a  $\text{Be}^{2+}$  és a  $\text{Cu}^{2+}$  négy vízmolekulát,

a  $Mg^{2+}$  és az  $Al^{3+}$  hat vízmolekulát kapcsol magához. Ilyenkor az ion belső koordinációs gyűrűjét viszonylag kevés vízmolekulából építi fel, amelyeket azonban erősen magához köt. Ezek a kötések elég erősek ahhoz, hogy az ionok a hidratburokkal együtt mozogjanak, ezért esetenként az ion képletének írásakor a koordinált vízmolekulák számát is jelöljük ( $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ ).

A vízmolekulák beépülnek a kristályos anyagokba is; ezeket a víztartalmú kristályos anyagokat hidratoknak hívjuk, és a kristályban lévő vizet, a kristályvizet, a vegyület képletében és kémiai elnevezésében is feltüntetjük, pl.  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , réz(II)-szulfát pentahidrát (1.4. ábra),  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , vas(II)-szulfát heptahidrát,  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , kálium-alumínium-szulfát dodekahidrát. A hidratok melegítés hatására elveszítik kristályvizüket, ami a kristály szerkezetének és színének elvesztésével járhat. A vízmentes kristály akár a levegőből is könnyen felvehet vizet, aminek során visszaalakul kristályvizes formába. Azokat az anyagokat, amelyek a levegőből is képesek vizet felvenni ( $Na_2SO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $MgSO_4$ ), higroszkópos anyagoknak hívjuk. Ezek alkalmasak a levegő, gázok, valamint folyadékok víztartalmának csökkentésére.

Vannak olyan ionok is, amelyek hidratációja már kovalens (datív) kötéssel megy végbe. Ilyen erős ion–víz kapcsolatra példa az  $[Al(H_2O)_6]^{3+}$  és az  $[Fe(H_2O)_3]^{3+}$  komplex ion. Ezeket akvakomplex ionoknak is nevezik. A datív kötésű akvakomplex ion képződése a központi ion elektron-



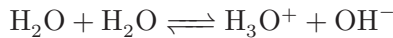
1.4. ábra. A réz(II)-szulfát pentahidrát szerkezete



hiányos szerkezetével magyarázható. Akvakomplexek főleg a telítetlen d-pályákkal rendelkező fémionoknál alakulnak ki ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ).

### 1.1.5. A víz disszociációs egyensúlya, a víz ionszorzata, a pH és a pOH

A tapasztalat szerint még a kémiai szempontból legtisztább víz is vezet valamennyire az elektromos áramot. Ennek az az oka, hogy a víz



autoprotolízis (vagy a megszokottabb *Arrhenius*-féle terminológiát használva disszociáció) révén ionokat is tartalmaz. A folyamat egyensúlyi állandója:

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2}.$$

A víz disszociációjának mértéke nagyon csekély, ezért a disszociálatlan vízmolekulák koncentrációja az öndisszociáció folyamán nem változik számottevően, összevonható az egyensúlyi állandóval:

$$K \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-].$$

A  $K \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = K_v$ -t nevezzük a víz ionszorzatának:

$$K_v = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-].$$

Ez az összefüggés minden híg vizes oldatra, az oldott anyag anyagi minőségétől függetlenül igaz.  $K_v$  értéke csak a hőmérséklettől függ; 25 °C-on  $1,00 \cdot 10^{-14}$ .

$$K_v = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1,00 \cdot 10^{-14} \text{ (25 °C-on)}.$$

Mivel a víz öndisszociációja azonos koncentrációjú  $\text{H}_3\text{O}^+$ - és  $\text{OH}^-$ -ionokat eredményez, ezért a két ion koncentrációja szobahőmérsékletű, kémiailag tiszta vízben, valamint a sav-, illetve bázisfunkcióra képtelen anyagok ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  stb.) vizes oldataiban egyenlő:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1,00 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

Az olyan vizes oldatokat, amelyekben az oxónium- és a hidroxidionok koncentrációja is  $1 \cdot 10^{-7}$  mol/dm<sup>3</sup>, semleges vagy neutrális oldatoknak nevezzük. Savas oldatokban az oxóniumion-koncentráció nagyobb, mint  $1 \cdot 10^{-7}$  mol/dm<sup>3</sup>, míg lúgos (bázikus) oldatokban kisebb ennél. A víz ionszorzatát alkalmazhatjuk savak vagy bázisok vizes oldataira is. Sav bevitele megnöveli az oxóniumion-koncentrációt, ezért az egyensúly a H<sub>2</sub>O képződése irányába tolódik el, csökkentve ezzel a hidroxidionok koncentrációját. Lúg bevitelével a hidroxidionok koncentrációja növekszik, míg a hidroxóniumionok koncentrációja csökken a disszociációs egyensúlyi állandó változatlanul maradása mellett.

A vízben lévő hidroxid- és oxóniumionok koncentrációjával kapcsolatban fennáll az a kényelmetlenség, hogy túl kis számokkal (a 10 negatív kitevőjű hatványaival) vagyunk kénytelenek számolni. Az ezekkel kapcsolatos függvények ábrázolása is némi nehézséget okozhat, mivel a szóban forgó ionok koncentrációtartománya több nagyságrendet ölel fel. Ezek figyelembevételével tisztán praktikus megfontolás alapján vezették be a pH és a pOH fogalmát, amelyek definíciója híg oldatok esetén:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]},$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = \log \frac{1}{[\text{OH}^-]}.$$

*Tehát a pH a hidroxóniumion-koncentráció negatív logaritmus, a pOH pedig a hidroxidion-koncentráció negatív logaritmus. A fentiek szerint semleges kémhatású vizes közeg esetén:*

$$\text{pH} = \text{pOH} = 7,$$

savas és lúgos oldatok esetén pedig:

$$\text{pH} < 7, \text{ illetve } \text{pH} > 7.$$

A pH és pOH mellett bevezethetjük a  $\text{p}K_v = -\lg K_v$ -t, amelynek segítségével a víz ionszorzata ( $K_v = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1,00 \cdot 10^{-14}$ ; 25 °C-on) helyett a következőt is felírhatjuk:

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_v.$$

25 °C-on  $\text{p}K_v = 14$ .

A pH jelentése hidrogénkitevő, amely a hatványkitevőre utal, ennek megfelelően a hidroxóniumion-koncentráció 10-szeres változása 1 pH egységnek felel meg. Különböző oldatok pH és pOH értékeit az 1.1. táblázat tartalmazza.

**1.1. táblázat.** Savas, semleges és lúgos vizes oldatok pH és pOH értékei 25 °C-on

| $[H^+]$ mol/dm <sup>3</sup> | pH |          | pOH | $[OH^-]$ mol/dm <sup>3</sup> |
|-----------------------------|----|----------|-----|------------------------------|
| $10^1$                      | -1 | ↑        | 15  | $10^{-15}$                   |
| $10^0$                      | 0  | ↑        | 14  | $10^{-14}$                   |
| $10^{-1}$                   | 1  | ↑        | 13  | $10^{-13}$                   |
| $10^{-2}$                   | 2  |          | 12  | $10^{-12}$                   |
| $10^{-3}$                   | 3  | savas    | 11  | $10^{-11}$                   |
| $10^{-4}$                   | 4  | ↓        | 10  | $10^{-10}$                   |
| $10^{-5}$                   | 5  | ↓        | 9   | $10^{-9}$                    |
| $10^{-6}$                   | 6  | ↓        | 8   | $10^{-8}$                    |
| $10^{-7}$                   | 7  | semleges | 7   | $10^{-7}$                    |
| $10^{-8}$                   | 8  | ↑        | 6   | $10^{-6}$                    |
| $10^{-9}$                   | 9  | ↑        | 5   | $10^{-5}$                    |
| $10^{-10}$                  | 10 | ↑        | 4   | $10^{-4}$                    |
| $10^{-11}$                  | 11 |          | 3   | $10^{-3}$                    |
| $10^{-12}$                  | 12 | lúgos    | 2   | $10^{-2}$                    |
| $10^{-13}$                  | 13 | ↓        | 1   | $10^{-1}$                    |
| $10^{-14}$                  | 14 | ↓        | 0   | $10^0$                       |
| $10^{-15}$                  | 15 | ↓        | -1  | $10^1$                       |

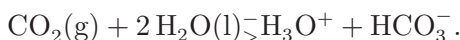
### 1.1.6. A természetes vizek és az ivóvíz

A Földön található összes vízmennyiségnek mintegy 2,7%-a az emberi fogyasztásra alkalmas ivóvíz. Ennek nagy része sarkvidéki gleccsekben, jéghegyekben, mélyen a föld alatt vagy a lakott területektől messze eső tavakban, folyókban tárolódik. Ezek figyelembevételével az ember által elérhető ivóvíz mennyiségét a Föld összes vízmennyiségének 0,003%-ára becsülik. Minden természetes víz tartalmaz ionokat; a tengervízben a legnagyobb koncentrációban a kloridionok (19 g/dm<sup>3</sup>), a nátriumionok (10,6 g/dm<sup>3</sup>) és a magnéziumionok (1,39 g/dm<sup>3</sup>) fordul-

nak elő. Az ivóvizek elsősorban az ásványokból kioldott ionokat tartalmazák, de sokkal kisebb koncentrációban, mint a tengervíz.

Az ivóvízben leggyakrabban előforduló kationok:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , a leggyakrabban előforduló anionok:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ .

A természetes vizek mindig tartalmaznak oldva különböző gázokat, amelyek közül legnagyobb jelentősége a szén-dioxidnak és az oxigénnek van. A szén-dioxid egyensúlyt tartva a víz  $\text{HCO}_3^-$ -ionjaival a vizet enyhén savassá teszi:



A vízben oldott oxigén rendkívül fontos a vízi élővilág szempontjából, de ez teszi pl. képessé a vizet bizonyos öntisztulásra, amelynek során az oldott gázokat vagy illó szennyeződések az oxigén úzi ki. A szilárd szennyező anyagok az öntisztulás során ülepedéssel távoznak vagy a vízben lévő mikroorganizmusok bontják el azokat.

### 1.1.7. A víz keménysége és sómentesítése

Technológiai, élelmiszer-ipari és egyéb szempontok miatt számos esetben kedvezőtlen, ha a víz „kemény”, azaz túl sok kalcium- és/vagy magnéziumionot tartalmaz. A kemény vizek legismertebb kedvezőtlen tulajdonsága az, hogy bennük a szappanok mosó hatása lecsökken, mivel a hosszú szénláncú karbonsavak nátrium- és káliumsói (szappanok) vízben rosszul oldódó alkáliföldfém-sókká alakulnak.

A hatályos Magyar Szabvány szerint egységnyi az ún. *összes keménysége* annak a víznek, amely literenként 1 mg CaO-dal egyenértékű  $\text{Ca}^{2+}$ - és  $\text{Mg}^{2+}$ -iont tartalmaz. (Az egység jele CaO mg/dm<sup>3</sup>.) Ennek ellenére ma is inkább az ún. *német keménységi fokot* (NK°) használjuk mértékegységként: 1 NK° = 10 mg CaO egy dm<sup>3</sup> vízben.

*Az összes keménységen belül megkülönböztetünk ún. változó és állandó keménységet.* A változó keménység elnevezés arra utal, hogy a  $\text{HCO}_3^-$ -ionokhoz rendelhető kalcium- és magnéziumionok a víz melegítése során, karbonátok képződése közben kicsapódnak kazánkö vagy vízkő formában:

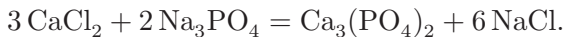


A többi anionhoz rendelhető kalcium- és magnéziumionok a víz felforralása esetén is oldatban maradnak, ezért az összes és változó keménység különbségét állandó keménységnek hívjuk. A természetes vizeket német keménységi fokban kifejezett összes keménységük alapján a következők szerint lehet osztályozni:

- nagyon lágy: 0–4 fok,
- lágy: 4–8 fok,
- közepesen kemény: 8–18 fok,
- kemény: 18–30 fok,
- nagyon kemény: 30 fok felett.

A jó ivóvíz közepes keménységű, optimálisan 8–15 NK°-ú, azonban még az 5–25 határértékek is elviselhetők. Az ennél lágyabb víz íztelen, nem oltja a szomjat, az ennél keményebb pedig hashajtó hatású. A kemény vízben a hüvelyesek nehezen főzhetőek, mert a főzés közben keletkező karbonátcsapadék a szemek pórusait eltömíti és megnehezíti a víz behatolását, ezenkívül a kalcium- és magnéziumsók a hüvelyesek fehérjéivel oldhatatlan, kemény származékot alkotnak. Ilyen vízben a hús is nehezebben puhul, a kávé és a tea íze romlik, a kakaóból pedig pelyhes csapadék válik ki.

A vízlágyítás a keménységet okozó kationok vízből való eltávolítását jelenti. Korábban ezt általában *kicsapásos módszerekkel* végezték. Ezek közé tartozott az ún. *meszes-szódás* (mész, pontosabban oltott mész,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  és szóda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  segítségével) és a trinátrium-foszfátos (trisó,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) eljárás. Az utóbbi lényegét a következő reakcióegyenlet mutatja:



Manapság a vízlágyítást általában *ioncserélő technikával* végzik. Ennek a lényege az, hogy a vizet  $\text{Na}^+$  formára hozott kationcserélő oszlopon (kationcserélő műgyanta vagy zeolit) engedik át, miközben a vízben lévő alkáliföldfém-ionok nátriumionokra cserélődnek. Az oszlopokat konyhasóoldattal regenerálják.

A kémiailag tiszta víz előállításának klasszikus, ámde ma is sok esetben használatos módja a *desztillálás*. Ha a desztillált vizet analitikai laboratórium számára állítjuk elő, csak egészen jó minőségű üvegből vagy kvarcból gyártott berendezést szabad alkalmazni. Bizonyos analitikai feladatok (mikroelemek meghatározása) esetén a tisztasági követelmények olyan magasak lehetnek, hogy csak kétszer desztillált vizet (bidesztillált víz) használhatunk.

Az utóbbi évtizedekben ezen a téren is tért hódított az ioncserélő technika. Ez esetben azonban először a fémionokat  $H^+$ -ionokra kell kicserélni egy megfelelően előkészített kationcserélő műgyanta oszlop segítségével, majd az arról távozó sósavat, kénsavat és egyéb savakat tartalmazó folyadékot  $OH^-$  formára hozott anioncserélő műgyanta oszlopon kell átengedni. A kationcserélő regenerálását sósavoldattal, az anioncserélőt nátrium-hidroxid-oldattal kell végezni.

Az ionmentes víz minőségét legegyszerűbben úgy ellenőrizhetjük, hogy megfelelő elektromos műszerrel (konduktométer) mérjük a fajlagos vezetőképességét. Minél kisebb a fajlagos vezetőképesség, annál kisebb a víz iontartalma. A közönséges desztillált víz fajlagos vezetőképessége  $0,5-1 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

### 1.1.8. Ásványvizek és gyógyvizek

A természetes vizek speciális fajtái az ásványvizek és a gyógyvizek. A *melegforrások*  $20^\circ\text{C}$ -nál melegebb, de egyébként szokásos összetételű vizet adnak. Az *egyszerű savanyú vizek* nagy szénsavtartalmúak. Az *alkalikus és meszes szénsavas forrásvizek* főleg nátrium-, kálium-, kalcium- és magnézium-hidrogénkarbonátot, valamint szabad szénsavat tartalmaznak. A *konyhasós forrásvizek* fő összetevője a nátrium-klorid; ha mennyisége 1,5%-nál kisebb, akkor ivásra és fürdésre is használható. A *glaubersós forrásvizek* nátrium-szulfát-, a *keserűvizek* nátrium-szulfát- és magnézium-szulfát-tartalmukról nevezetesek. A *kénes vizek* kén-hidrogént ( $H_2S$ ) és karbonil-szulfidot ( $COS$ ) tartalmaznak.

A *mesterséges ásványvizek* különböző sók és szén-dioxid ivóvízben való feloldása útján készülnek. Legismertebb ezek közül a *szódavíz*, amely ivóvizek szén-dioxiddal való telítésével készül. Gyakran a természetes ásványvizeket is telítik szénsavval. A tengervíz 3,5% körüli sótartalma miatt sem ivóvízként, sem élelmiszer-ipari célokra nem használható. Sótalanítása desztillációval, kifagyasztással, elektrodialízissel, ioncserével, fordított ozmózissal végezhető el, amelyek rendkívül eszköz- és energiaigényes folyamatok.

### 1.1.9. A víz kötése az élelmiszerekben

Az élelmiszerekben lévő víz különböző módon kapcsolódhat a szárazanyagokhoz; a kötés módja alapján megkülönböztetünk kémiaiilag, fizikai-kémiaiilag és mechanikailag kötött vizet.

A kémiai vízmegkötés elsősorban kémiai reakciók eredményeként, másodsorban kristályosodáskor, kristályvízként jön létre. Ez a típusú víz a hidratált anyaghoz fővegyértékkel vagy mellékvegyértékkel kapcsolódik, ezért a kötés rendkívül erős. A kémiai vízmegkötés eredményeként új vegyületek is képződhetnek, mert a víz belép a keletkező anyag molekulaszervezetébe, és a vízmentes anyag tulajdonságai is jelentősen megváltoznak, mivel a víz a kristályszerkezet része lesz.

Az élelmiszer-ipari nyersanyagokban a fizikai-kémiailag kötött víz fordul elő leggyakrabban. Ebben a vízkötésben az arányok nem szigorúan meghatározottak, a víz mennyisége a körülmények változásától függően különböző lehet. A fizikai-kémiailag kötött víz adszorpciós kötéssel vagy ozmózis kötéssel kapcsolódhat a szárazanyaghoz. Az adszorpciós vizet az élelmiszerek hidrofíl kolloidjai kötik meg, aminek során hófejlődéssel járó hidrátburok alakul ki. Az ozmózis vízmegkötés olyan élelmiszerekre jellemző, amelyek különböző molekulatömegű frakciók keverékei. A nagymolekulájú részek vízben nem oldhatók, a kismolekulájúak viszont általában oldódnak. Víz hatására a nagymolekulájú alkotórészek által határolt mikroüregekben a kismolekulájú frakciók oldata alakul ki, aminek az ozmózisnyomása nagyobb, mint a külső folyadéké. Az ozmózis nyomáskülönbség hatására víz diffundál be ezekbe az üregekbe egészen addig, amíg a külső és a belső nyomás ki nem egyenlítődik. Az előbbi folyamat során duzzadás következik be, amely lehet korlátozott akkor, ha a mikroüreget határoló összekapcsoló erők elég nagyok; korlátlan duzzadásról akkor beszélünk, ha az összekapcsoló erőket legyőzve az anyag teljesen feloldódik.

Mechanikailag kötött víz esetében a kötés arányai meghatározatlanok. A nedvesség szerkezeti vízként, kapilláris nedvességként vagy egyszerű nedvesítési vízként lehet jelen. A szerkezeti vizet az élelmiszer mikroüreges szerkezete tartja körülzárva, mozgékonyaságától nagymértékben megfosztva. A kapilláris erőkkal megkötött víz az élelmiszerek  $10^{-5}$  cm-es nagyságrendhez közelálló részeiben található. A leggyengébb kötési forma a nedvesítési víz, ahol a vízmolekulák adhézióval tapadnak az élelmiszer felületére.

Az élelmiszer-technológiában általában elegendő, ha a víztartalom szabad és kötött mennyiségét ismerik. Szabad víznek a víztartalom azon részét tekintjük, amely oldóképességében és mozgékonyaságában nincs korlátozva. A kötött víz viszont mozgásában korlátozott, és nem képes annyi oldandó anyagot befogadni, mint a tiszta víz.

Az élelmiszer-ipari nyersanyagok és a különböző élelmiszerek víztartalma a tároláskor, illetve feldolgozáskor rendszerint megváltozik. *Víztartalom-változást* előidézhethet mechanikai hatás (préselés, centrifugálás), víz párologhat el az élelmiszerből, ha az élelmiszert olyan levegőben tároljuk, amelynek relatív páratartalma nincs egyensúlyban az anyag víztartalmával. Víz távozik melegítés hatására és fagyasztáskor, a jégkiválás során is. A víztartalom kíméletes eltávolításának ma még kissé drága módja a liofilezés vagy fagyasztva szárítás, melynek során a szárítandó élelmiszert lehűtik  $-35$ -től  $-170$  °C-ig, majd a víztartalmat nagy vákuumban elpárologtatják, szublimálják.

Zárt rendszeren belül az élelmiszer nedvességtartalma és a környező levegő páratartalma között bizonyos idő elteltével egyensúlyi állapot alakul ki. Ennek során vagy az élelmiszerben lévő víz egy része párolog el, vagy az élelmiszer vesz fel vizet a környező levegő páratartalmából. A kialakuló egyensúlyi állapot adott hőmérsékleten jellemző az élelmiszere. A rendszerhez tartozó levegő páratartalmát ekkor egyensúlyi abszolút páratartalomnak, az élelmiszer nedvességtartalmát pedig egyensúlyi nedvességtartalomnak nevezzük. Ha a páratartalmat az adott hőmérsékletekhez tartozó telített páratartalomhoz viszonyítjuk, akkor megkapjuk az egyensúlyi relatív páratartalmat (*ERP*).

Az élelmiszerek vízállapotát egy adott hőmérsékleten a *vízaktivitással* is szokás jellemezni, ami az egyensúlyi relatív páratartalom része, ezért értéke 0 és 1 között lehet.

$$a_w = \frac{ERP}{100},$$

ahol:  $a_w$  = a vízaktivitás.

A vízaktivitás az élelmiszerben lévő víz és a tiszta víz gőznyomásának viszonyával is kifejezhető:

$$a_w = \frac{P}{P_o},$$

ahol:  $P$  = a vízgőz parciális nyomása az élelmiszerben adott hőmérsékleten,

$P_o$  = a tiszta levegő gőznyomása telített térben, azonos hőmérsékleten.

Az élelmiszerek vízaktivitását elsősorban nem víztartalmuk abszolút nagysága határozza meg, hanem a bennük lévő víz kötési módja, valamint a szabad és a kötött víz aránya. Általánosságban elmondható,



hogy minél nagyobb a kötött víz aránya az élelmiszerben, annál kisebb annak vízakтивitása.

Az egyensúlyi nedvességtartalom adott légnedvesség mellett jelentősen függ a hőmérséklettől. Általában az egyensúlyi nedvességtartalom minden relatív páratartalomnál a hőmérséklet emelkedésével csökken. Az élelmiszerek vízakтивitásának meghatározására a *kristályelfolyósítási módszert* dolgozták ki. Ennek az eljárásnak az a lényege, hogy légmentesen záró, kis légterű üvegedénybe a vizsgálandó anyag egy darabját és 8–10 különböző vegyület kristályát tartalmazó tárgylemezt helyezünk. Az egyes kristályok egyre növekvő, ismert páratartalom mellett folyósodnak el. Az egyensúly beállta (kb. 24 óra) után leolvassuk, hogy a kristálysorozat mely tagjai folyósodtak el és melyek maradtak változatlanok. Ebből megállapítható, hogy a vizsgált élelmiszer milyen páratartalmú térrel van egyensúlyban, vagyis mennyi a vízakтивitása.

Az élelmiszer-ipari nyersanyagok tárolása, feldolgozása és a kész élelmiszerek forgalomba hozatala során ismernünk kell az anyag higroszkopikus tulajdonságait, mert a raktározás során az élelmiszerek nem kívánt mértékű beszáradása vagy nedvességfelvétele következhet be. A vízakтивitás az eltarthatóság szempontjából is nagyon jelentős, mert bizonyos vízakтивitás alatt a mikroorganizmusok nem tudnak az élelmiszerekben elszaporodni. A baktériumok 90%, az élesztők 80%, a penészek pedig 75% relatív légnedvességtartalmat igényelnek életműködésükhöz. Azt a nedvességtartalmat, amely fölött mikrobiológiai romlás következik be, kritikus nedvességtartalomnak, illetve kritikus vízakтивitásnak nevezzük. *A kritikus vízakтивitás változik a tárolás hőmérsékletével, általában azonban 0,6–0,9 közöttinek adódik. Az élelmiszerek 0,2–0,4 vízakтивitás mellett tárolhatók a legbiztonságosabban.*

Ha egy élelmiszer száraz légtérbe kerül, víztartalmának egy részét párologás során elveszíti. Ekkor felületén szárazabb réteg alakul ki, amelynek nedvességtartalma különbözik a belső rétegektől. Ha az élelmiszereken belül ilyen nedvességkoncentrációbeli különbség (nedvességgradiens) alakul ki, akkor a nagyobb víztartalmú helyről *vízvándorlás* indul meg a szárazabb hely felé. Ha a mechanikusan és ozmotikusan kötött víz mennyisége nagy, a nedvesség folyadék alakjában vándorol, ezzel szemben kis nedvességeknél, amikor már csak adszorpciós víz van jelen, a vándorlás gőz alakjában történik. Ha valamilyen élelmiszer belsejében hőmérséklet-különbség jelentkezik, akkor a nedvesség az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé vándorol, amely vízmozgást a nedvesség termo-

diffúziójának hívjuk. Az élelmiszeren belüli nedvességvándorlást mind a nedvességgradiens, mind a hőmérséklet-gradiens befolyásolja.

## 1.2. Az ásványi anyagok

Az élelmiszer-kémiában azokat az alkotórészeket nevezzük ásványi anyagoknak, amelyek a növényi és állati eredetű élelmiszerek elhamvasztása után visszamaradnak. Ez a meghatározás nem tesz különbséget az eredetileg is szervetlen vegyületek, valamint a szerves vegyületekből származó hamu alkotórészek között. *A szervetlen anyagok nélkülözhetetlenek az élővilágban. Híg elektrolitok alakjában részt vesznek az élő szervezet elektrokémiai, ozmózisos, valamint sav-bázis egyensúlyának fenntartásában, elősegítik a különböző kolloidok állapotváltozását, aktiválják vagy gátolják az enzimreakciókat, részt vesznek a támasztószövet felépítésében.* A növényeknél az ásványi anyag mennyisége és minősége fajonként és fajtánként változik, függ a termőhelytől és a talaj összetételétől. Ezzel szemben az ember és az állatok szervezetének ásványianyag-készlete viszonylag szűk határok között változik.

Az emberi szervezet felépítésében részt vevő elemek közül azokat, amelyek a szervezet tömegének 0,005%-ánál nagyobb mennyiségben vannak jelen, *makroelemeknek*, amelyek ennél kisebb arányúak, *mikroelemeknek* nevezzük. A makroelemek az emberi szervezet ásványianyag-tartalmának több mint 99%-át teszik ki. *A mikroelemeket biológiai jelentőségük alapján esszenciális és nem esszenciális elemekre oszthatjuk.* Az esszenciális mikroelemek nélkülözhetetlenek az emberi szervezet zavartalan működéséhez, míg a nem esszenciálisak biológiai szerepe még tisztázatlan.

### 1.2.1. Fémes makroelemek és vegyületeik

A makroelemek értelemszerűen esszenciális elemek is, mert viszonylag nagy mennyiséget kell belőlük a táplálékkal a szervezetünkbe juttatni. A fémes makroelemek közé a nátrium, a kálium, a magnézium és a kalcium tartozik.

*A nátrium. Az emberi szervezetben kilogrammonként átlagosan 1,4 g nátrium van, tehát egy 70 kg-os ember nátriumtartalma átlagosan 100 g. Nagyrészt kationként, általában kloridanion mellett, a sejten kívüli testnedvekben az ozmózisos nyomást és a vízegyensúlyt szabályozza. A*

*sejten kívül a Na:K arány 28:1, míg a sejteken belül 1:10.* Ha a sejtekben rendellenesen megnövekszik a nátriumion-koncentráció, ödéma képződik, ami annak a következménye, hogy a Na-ionhoz nyolc, a K-ionhoz négy molekula víz kapcsolódik. A nátriumnak *szerepe van az idegimpulzusok átvitelében, a membrántranszport folyamatokban, a tápcsatornában aktiválja az amilázt, segíti a glükóz felszívódását.* A vékonybélben a nátrium pufferhatású vegyületei ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) található. Hazai étrendünk mellett naponta 5–10 g nátriumot is beviszünk szervezetünkbe, s ez a túlzott nátriumbevitel magas vérnyomás kialakulásához vezet, ugyanis 5–6 g NaCl kb. 1 liter sejteken kívüli vizet köt meg, és ezáltal jelentősen megnöveli a keringő vér térfogatát.

*A kálium.* Az emberi szervezet káliumtartalma kilogrammonként átlagosan 2 g, azaz egy felnőtt emberben mintegy 150 g található. *A káliumnak több mint 90%-a a sejtekben van, ahol az ozmózis nyomás és a sav-bázis egyensúly fenntartásán kívül az enzimátikus folyamatokban is részt vesz. Különösen fontos szerepe van a fehérje- és glikogénszintézisben, valamint az energiatermelésben.* A magnéziummal együtt az izmok nyugalmi állapotba jutását segíti elő. Vegyes táplálkozás mellett napi 2–6 g kálium jut a szervezetbe, ami fedezi a napi 1,6–3,0 grammra becsült szükségletet.

*A magnézium.* A felnőtt ember szervezetében 20–28 g magnézium található, amelynek 50–60%-a a csontokban van jelentős mennyiségben az izmokban, a májban és az idegrendszer sejtjeiben is. Olyan *enzimek felépítésében, illetve aktiválásában vesz részt*, amelyek olyan fontos folyamatokat katalizálnak, mint az ATP-szintézis, az ATP–ADP átalakulás, a fehérjeszintézis, a tiroxinképződés és az oxidatív dekarboxileződés. Az izomzatra relaxáló hatást fejt ki. *A napi magnéziumszükséglet felnőtt embernél 250–350 mg, terhes és szoptató anyáknál kb. 450 mg, amit a vegyes étrend fedez.* Főként a növényi eredetű élelmiszerek, a tejtermékek, a halak és a máj tartalmaz sok magnéziumot.

A vérnyomás kedvező szinten tartása végett a táplálékban a Na, a K, a Ca és a Mg arányát a következő összefüggés szerint célszerű kialakítani:

$$\frac{\text{Na} + \text{Ca}}{\text{K} + \text{Mg}} = 1.$$

A jelenlegi hazai táplálkozási szokások mellett ez az érték 2,0–2,5, amelynek csökkentését zöldség-, főzelékfélék és gyümölcsök fogyasztásának növelésével, továbbá a konyhasóbevitel mérséklésével lehet elérni.

*A kalcium.* Az emberi test kilogrammonként 15–20 g kalciumot tartalmaz, vagyis egy felnőtt emberben 1200–1500 g kalcium található. Ennek *nagy része (98%) a csontokban és a fogakban halmozódik fel*, a csontok ugyanis nagyrészt hidroxipatitból  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot (\text{OH})_2]$  állnak, amelyet más, kalciumtartalmú vegyületek is kísérnek. A kalcium-anyagcsere dinamikus voltát mutatja, hogy az újraképződő csontokba felnőtt embernél napi 600–700 mg kalcium épül be. A testnedvekben és a szövetekben a kalcium ionos formában, nem ionizálódó komplex alakjában vagy fehérjéhez kötve található. Az alábbi, élettanilag fontos folyamatok szabályozásában vesz részt:

- a vérben segíti a véralvadást,
- segíti a B<sub>12</sub>-vitamin felszívódását,
- aktiválja a pankréász-lipáz enzimeket,
- részt vesz az acetil-kolin-képzésben és -bontásban,
- lecitinhez kötve szabályozza a sejthártyák permeabilitását,
- segíti az energiatermelő folyamatokat,
- szabályozza az izom-ideg kapcsolatot,
- elősegíti bizonyos hormonok képződését,
- fokozza a hasnyálmirigy működését.

A kalcium anyagcsereje bonyolult folyamat, amelyben több belső elválasztású mirigy hormonja és több vitamin is részt vesz. *Az ember napi kalciumszükséglete 800–1000 mg.* Élelmiszereink közül a tej és tejtermékek a leggazdagabb kalciumforrások. Említésre méltó mennyiségű kalcium van a zöldségekben, a gyümölcsökben, a halakban, a húsokban és a tojásban. A szervezet az előzőekben felsorolt feladatok megoldásához a kalciumot mindenképpen megszerzi magának, és ha a táplálékból nem jut hozzá, szükség esetén oldatba viszi a csontok kalciumtartalmát is.

### 1.2.2. A nemfémes makroelemek és vegyületeik

A nemfémes makroelemekhez a foszfor, a kén és a klór, illetve vegyületeik tartoznak.

*A foszfor.* A felnőtt ember szervezetében 600–700 g foszfor van szervesen és szervetlen foszfátok alakjában. A szervetlen foszfátok tartalmazzák a foszforkészlet 80–85%-át, főként kalciumhoz kötve a csontokban és a fogakban. Kis mennyiségben jelen vannak a *testnedvekben* is, ahol *pufferhatást fejtenek ki*. A szervesen kötött foszfor a nukleinsavakban, számos enzimben, a B-vitaminokban és a szénhidrátok, lipidek, fehérjék

foszforvegyületeiben található. Rendkívül *fontos szerepük van az energiátárolásban és -felszabadításban*. A felnőtt ember napi foszforszükséglete 800 mg. Étrendünkben a tej, a tojás, a hús, a hüvelyesek és a gabonafélék fontos foszforforrások, de szinte valamennyi élelmiszer tartalmaz több-kevesebb foszfort. Ennek köszönhető, hogy a táplálkozási eredetű foszforhiány a szervezetben nem figyelhető meg.

*A kén.* Az emberi szervezetben átlagosan 0,25% kén van, ami egy 70 kg-os felnőttél mintegy 175 g-ot tesz ki. Ez a kén főként szerves vegyületekbe épülve van jelen, de egyes peptidoglikánokban szulfát alakban is előfordul. A táplálékkal felvett kén az életfolyamatokban nem használandik fel, csak a szerves vegyületekből képződő kéntartalmú intermedierek járulnak hozzá a szervezet kéntartalmú építőköveinek kialakításához. *A napi szükséglet 0,8–1,2 g között van.* Sok a szerves kén a húspanban, a sajtban, a tojásban, a hüvelyesekben és az olajos magvakban.

*A klór.* A halogénelemek közül a klór a legfontosabb az ember számára. *A szervezet 0,15%-át teszi ki,* ami egy átlagos felnőttél 100–110 grammot jelent. Legnagyobb része a gyomorsavban található sósavként, a többi nátriumhoz, illetve kisebb mértékben káliumhoz kötött kloridionként. A sejteken kívüli és belüli terekben, a só- és vízháztartás kialakításában, valamint a sav-bázis egyensúly fenntartásában vesz részt. *A napi szükséglet 2–4 g.*

### 1.2.3. Mikroelemek

Azokat az elemeket soroljuk a mikroelemek közé, amelyek tömege az emberi szervezetben 50 mg/kg alatt van. A mikroelemek felosztása esszenciális és nem esszenciális csoportra szinte évente változik, mert a kutatás mind több elem élettani funkcióját ismeri fel. Jelenlegi tudásunk alapján 14 mikroelemről állíthatjuk, hogy esszenciálisak.

#### 1.2.3.1. Esszenciális mikroelemek

*A vas.* A felnőtt ember testében a 3–5 gramm szervesen kötött vas 60–70%-a a hemoglobinban és a mioglobinban, 20–25%-a a szervezet vasraktáraiban, 5–15%-a pedig a különböző testszövetekben, enzimek alkotórészeiként található. *Biológiai szerepe elsősorban a vérképzéssel és a légzési folyamatokkal függ össze.* A hemban levő Fe(II)-ionok szállítják az oxigént a tüdőből a szövetekbe, ahol a mioglobin vasa folytatja

az oxigéntranszportot. A szövetek vastartalmú enzimei redoxfolyamatokat katalizálnak.

Az ember napi vasszükséglete 1–3 mg. A szükségletnél azonban jóval több (5–28 mg) vasat kell felvennünk, mert a *felszívódás határfoka nagyon rossz*. A hemkötésű vas 20–30%-a, az egyéb vas 2–10%-a hasznosul. A vas felszívódását az aszkorbinsav jelenléte segíti, a tannátok és a fitátok oldhatatlan vaskomplekképzése viszont gátolja. Jelentős vasforrásnak számít a hús, a máj, a különböző belsőségek, néhány zöldség és gyümölcs. Vashiány megszüntetésére élelmiszer-adalékként  $\text{FeSO}_4$ , Fe(II)-glükonát és Fe(II)-glicerofoszfát használható, mert a szervezet a felszívódott szervetlen és szerves vasvegyületeket egyaránt hasznosítani tudja. A vas jelenléte az élelmiszerekben rontja a lisztek sütőipari értékét, katalizálja a zsírok oxidációját, elősegíti a bor zavarosodását és színezi az ivóvizet.

*A fluor.* Az emberi szervezet mintegy 2,5–3,5 g fluort tartalmaz, amelynek 95%-a a csontokban és a fogakban van. *Elősegíti a fejlődő szervezet csontosodását és az ép fogzománc kialakulását.* A biológiai hatás kifejtéséhez napi 1,0–1,5 mg fluor szükséges, amit a táplálék és az ivóvíz általában fedez. Hiánya zavart okoz a növekedésben és elősegíti a fogszuvasodást. Egyes országokban a konyhasó, az ivóvíz, illetve a tej mesterséges fluorozásával a hiánytüneteket meg tudták szüntetni. A fluor túladagolása a fogzománc foltos elszíneződését, márványos rajzolatossá válását és a csontok megkeményedését idézi elő.

*A cink.* A felnőtt ember szervezetében mintegy 2–3 g cink található, amely az izmokban, a szemben, a hajban, a májban, a vesében és a vérben oszlik meg. Mintegy 25 olyan enzim alkotórésze, illetve aktivátora, amelyek az emésztésben és az anyagcserében vesznek részt. Így többek között az inzulinnak is fontos komponense. Hiánya elhúzódó sebgyógyulást, növekedési zavart, a bőr hámrétegének túlzott elszarusodását és a szervek ellenálló képességének csökkenését okozza. Változatos étrend esetén napi 10–22 mg cinket viszünk be a szervezetünkbe, ami még akkor is elegendő, ha a felszívódás hatékonysága csak 20–30%. Élelmiszereink közül a hús, a máj, a tojás, a száraz hüvelyesek és a gombák a legjobb cinkforrások.

*A szilícium.* A szilíciumból az emberi szervezet mintegy 1 grammot tartalmaz, amely a csontokban és a kötőszövetekben halmozódik fel. Biológiai funkciója a szervezet növekedésével kapcsolatos.

*A réz.* Az ember szervezetében 80–100 mg szervesen kötött réz van, amely a májban, a vesében, a szívben, az izmokban és az agyban talál-

ható. Számos oxidoreduktáz enzim alkotórésze, és szerepe van az elasztin, a kollagén és az egysejtűek foszfolipidjeinek szintézisében is. A napi szükséglet 1,5–5,0 mg, amelyet a vegyes étrend általában fedez. A legtöbb réz a májban, a barna kenyérben, a búzacsírában, valamint a hüvelyesekben van. A vas és a réz biológiai hasznosulása akkor a legkedvezőbb, ha 4–6-szor több vasat juttatunk a szervezetbe, mint rezet. Az ionos állapotban lévő réz az ember számára mérgező. A réz katalizálja többek között a C-vitamin bomlását, ezért a növényi nyersanyagokkal érintkező technológiai berendezések nem készülhetnek rézből.

*A vanádium.* Az emberi test vanádiumkészletét 20–40 mg-ra becsüljük. A növekedésben és a csontképzésben vesz részt, jelenléte a fogzománcot keményebbé teszi, és jelentős szerepe van a zsírsavcsereben is. *A szervezet napi szükséglete 1–2 mg.*

*A szelén.* Az emberi szervezetben 10–15 mg szelén van, amely antioxidánsként rendszerint a tokoferollokkal együtt vesz részt a metabolizmusban. *A szeléntartalmú glutation-peroxidáz enzim védi a telítetlen lipideket, sejtthártyákat az oxidációtól.* Vegyes étrend mellett az átlagos szelénbevitel 0,05–0,1 mg naponta. A szelénellátottságban a geológiai adottságoktól függően az egyes területek között lényeges különbségek vannak. Európában például Skandinávia rendkívül szegény szelénben.

*A mangán.* Egy felnőtt ember testében 12–20 mg mangán van, főként az enzimekben. *Az enzimek aktiválása során részt vesz a szénhidrát- és lipidadanyagcsereben, a koleszterin és a nukleinsavak szintézisében,* a porcok képződéséhez nélkülözhetetlen. A napi szükséglet 2–8 mg, amit a változatos étrend általában fedez.

*A jód.* Az emberi szervezet jódtartalma 15–20 mg, amelynek 75–80%-a a pajzsmirigy hormonjainak felépítésében vesz részt, így közvetve szerepe van az anyagcsere és a növekedés szabályozásában, valamint az idegrendszer és a vérkeringés zavartalan működésének fenntartásában. *A jód hiánya a pajzsmirigy megnagyobbodásához, golyva kifejlődéséhez vezet. A napi jódszükséglet 0,10–0,15 mg.* Sok jódot tartalmaznak a tengeri halak, a tej, a tojás, és megfigyelték azt is, hogy a 2–15  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  jódtartalmú ivóvíz fogyasztása esetén a golyva teljesen ismeretlen. Számos országban jódozott konyhasó (5–20 mg KI/kg só) forgalomba hozatalával gondoskodnak a lakosság jódszükségletének kielégítéséről.

*Az ón.* Az ón az emberi test minden részében kimutatható; a szervezet ónkészletét 15–20 mg-ra becsülik. Valószínűleg a szervezet növekedését és megújulását segíti elő.

*A nikkelt.* Az emberi szervezet 5–8 mg nikkelt tartalmaz. Valószínűleg a máj működésének szabályozásában vesz részt, növeli az inzulin hatását.

*A molibdén.* Egy felnőtt testében 8–10 mg molibdén található. Több enzim (xantinoxidáz, aldehidoxidáz) felépítésében vesz részt, szerepe van a vas hasznosulásában és a köszvény létrejöttében. Ez utóbbinál húgysav rakódik le az ízületekben, és a molibdén megtalálható a húgysavat képző enzimekben. A különböző húskok és a száraz hüvelyesek tartalmaznak sok molibdént.

*A króm.* Nagyon kis koncentrációban (0,02 mg/kg) van jelen az emberi szervezetben. Elsősorban a cukoranyagcserében játszik szerepet, mert elősegíti az inzulin hatását. *Hiányában csökken a glükóztolerancia és növekszik az érelmeszesedés,* valamint a koszorúér-betegség kifejlődésének veszélye. Élelmiszereinkkel (barna kenyér, hüvelyesek magja, hús, máj, sajt) mintegy 50–200  $\mu\text{g}$  króm jut a szervezetünkbe, ami a rossz hatásfokú felszívódás ellenére is fedezi a napi szükségletet (120  $\mu\text{g}$ ).

*A kobalt.* Mint a B<sub>12</sub>-vitamin központi alkotórésze, létfontossága nyilvánvaló. Kobaltból szervezetünk mindössze 1–2 mg-ot tartalmaz. Az ember szükségletét az elfogyasztott máj, vese, tej, paraj és száraz hüvelyesek fedezik.

### 1.2.3.2. Nem esszenciális mikroelemek

A nem létfontosságú elemek egy része állandó kísérője különböző esszenciális elemeknek. Így például a lítium a nátriumot, a rubídium pedig a káliumot kíséri. Vannak olyan elemek is, amelyeket kifejezetten *toxikusnak* tekintünk (*ólom, arzén, kadmium, higany*). A nem létfontosságú elemek közül az alumíniumról és a bórról a fontosabb tudnivalók az alábbiak:

*Alumínium.* Az emberi testben 50–120 mg alumínium található, ez a mennyiség azonban idősebbeknél a 150 mg-ot is elérheti. Változatos étrend mellett naponta 10–35 mg alumínium jut a szervezetünkbe. Az alumíniumsók az ember számára gyakorlatilag nem mérgezők, ami azzal is összefügg, hogy az emésztőcsatornából alig szívódnak fel, döntő mennyiségük a széklettel kiürül. Az alumíniumeszközök használatának hátránya, hogy az alumíniumionok éppúgy katalizálják a C-vitamin bomlását, mint a rézionok. Az utóbbi években nagyon sok termék csomagolására alumíniumfóliát alkalmaznak, mert zsíráteresztő képessége nagyon



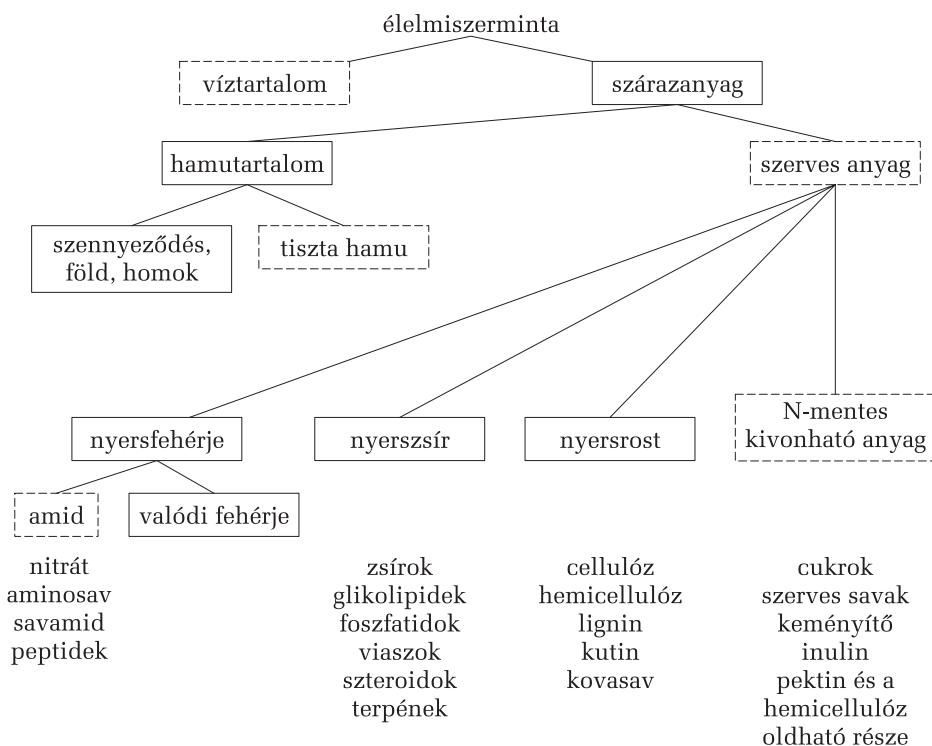
kicsi, ezért zsírtartalmú tartósított készítmények csomagolására is jól használható.

A bór. Biokémiai szerepe ismeretlen, annak ellenére, hogy az emberi és állati szervezetben szinte mindenhol jelen van. Számos növény számára esszenciális mikroelem, hiánya barnulási, rothadási tüneteket okoz. Gyümölcsökben, zöldségekben, gabonafélékben, tojásban, tejben és borban 0,1–30 mg/kg koncentrációban található. Változatos étrend mellett naponta 10–40 mg bór jut a szervezetünkbe.

### 1.3. Élelmiszerek nedvességtartalmának és ásványi alkotórészeinek meghatározása

Az emberi és az állati test, valamint a növények 95%-a szénből, oxigénből, hidrogénből és nitrogénből áll, a maradékot pedig kb. 12–15 létfontosságú elem alkotja. Az ezekből felépülő szerves anyagok a fehérjék, a szénhidrátok és a zsírok. Az élőlények csoportjainak hasonló a felépítése; az összetételben a leglényegesebb különbség az, hogy az állati szervezet nem tartalmaz cellulózt vagy más rostot alkotó anyagot. Mind az állatok, mind a növények tömegének 70–80%-át a víz teszi ki, amely az élet nélkülözhetetlen anyaga, hiszen minden életjelenség vizes közegben végbemenő kémiai-biokémiai reakciók sorozata. A fejlődéssel párhuzamosan mind az állatokban, mind a növényekben csökken a víztartalom, és a szárazanyagban nő a zsírok aránya. A víz eltávolítása után visszamaradó szárazanyag fehérjékből, cukrokból, poliszacharidokból, lipidekből, valamint szerves és szervetlen kötésű ásványi anyagokból áll. Ezen utóbbiak alkotják a magasabb rendű állatok csontjának szilárd vázát.

Napjainkban még mindig a 19. században kidolgozott módszereket használják élelmiszerek tápláléértékének meghatározására, aminek során az élelmiszereket alkotó anyagokat tulajdonságaik alapján főbb csoportokba sorolják. A vizsgálati műveletek során szárítással meghatározzák a szárazanyag-tartalmat, hamvasztással a hamutartalmat, Kjeldahl módszerével a nitrogéntartalmat, zsíroldő szerekkel való extrahálással a zsírtartalmat, valamint híg savval és lúggal való főzéssel a nyersrost-tartalmat. A szerves savakat és a szénhidrátokat számítással határozzák meg úgy, hogy a szárazanyagból levonják az előbbi frakciók összegét, így megkapják a nitrogénmentes kivonható anyagot, amelyek közé



1.5. ábra. Az élelmiszerek tápláléértékének meghatározása

a cukrok, a szerves savak, a keményítő, az inulin, valamint a pektin és a hemicellulóz oldható része tartoznak.

A 19. század vége óta az élelmiszer-analitikai módszerek sokkal gyorsabbak és érzékenyebbek lettek, az élelmiszerek tápláléértékének meghatározása azonban a makroösszetételt illetően elviekben nem sokat változott. Az élelmiszerek összetételét, a klasszikus módszerek szerinti felosztását az alábbi összeállítás tartalmazza. Az összeállításban a folyamatos vonallal bekeretezett komponenst mérésével, a szaggatott vonallal bekeretezettet pedig számítással határozzuk meg.

Az élelmiszer minőségének megállapítása céljából végzett vizsgálat a *mintavétellel* kezdődik, amely során a minősítendő anyagnak azt az egyértelműen elkülöníthető részét, amelynek jellemzői egységesek, *tételnek* hívjuk. Az egy tételhez tartozó élelmiszer vagy élelmiszer-alapanyag azonos fajtájú, azonos termő- vagy termelési helyről származik.

zik, egy évben termett vagy termelték, és egy tárolóhelyen raktározták. Vásárolt alapanyag esetén egy szállítmány állhat egy vagy több tételből is. Hogy a vizsgálandó tétel homogenitásáról meggyőződjünk, a tételt két vagy több mintavételi alapra bontjuk. A *mintavételi alap* egyetlen helyéről vett mintát *elemi mintának* nevezzük. Egy mintavételi alapról annak nagyságától függően több elemi minta is vehető; ilyen esetben az elemi minták egyesítésével nyerjük az *összesített* vagy *átlagmintát*. Az elemi vagy összesített minták egy részét küldjük csak el vizsgálatra, amelyet *laboratóriumi mintának* hívunk. Hivatalos mintavételkor – a felmerülő minőségi viták eldöntéséhez – *ellenmintát* veszünk, amelynek összetétele és tulajdonságai a laboratóriumi mintáéval azonosak. A mintavétel jellege szerint lehet:

- *hivatalos mintavétel*, amelyet hatósági jogkörrel rendelkező, hivatalos személy végez a termék minőségének ellenőrzésére,
- *kereskedelmi mintavétel*, amikor az alapanyag adásvételében érdekelt valamennyi fél vagy az egyik fél és egy hivatalos személy van jelen a mintavételnél,
- *üzemi mintavétel*, amelyet a gyártó végez az élelmiszer minőségének megállapítása és folyamatos ellenőrzése érdekében,
- *tájékoztató mintavétel*, amelyet a minőség tájékoztató jellegű megállapítása céljából vesznek.

A mintavétel végrehajtását szabványok írják elő. Lényeges, hogy a laboratóriumi minta jól reprezentálja a mintavételi alap átlagos minőségét; minél koncentráltabb és minél homogénebb egy minta, annál kevesebb elemi minta szükséges a jó átlagminta kialakításához. A laboratóriumi minta legalább 500–600 g szárazanyagot tartalmazzon, amely még akkor is elegendő, ha nagyszámú komponens meghatározására kerül sor.

A mintát úgy kell csomagolni, hogy a szárazanyag-tartalma a laboratóriumba érkezésig ne változzon, valamint meg kell akadályozni a minta romlásnak indulását. A mintát a lehető legrövidebb időn belül jutassuk el a laboratóriumba, különösen akkor, ha mikrobiológiai vizsgálatot is végeztetünk.

A laboratóriumba beérkező mintát *érzékszervi bírálatnak* vetjük alá, amelynek során vizsgáljuk a külső megjelenést, a színt és a szagot, az egyenmőséget, az aprítottságot, az egészségi állapotot, a szennyezettséget, ezen belül a gyomnövények, az állati kártevők, a por, a föld, a gombás fertőzőtséget és az idegen anyag mennyiségét és arányát.

Szükség esetén elvégezhetjük a szemcseméret meghatározását megfelelően kiválasztott szitasorozattal, majd kiszámíthatjuk a különböző frakciók százalékos mennyiségét.

A fenti vizsgálatokat követheti az élelmiszerek mikroszkópos vizsgálata, amely külön tudományág, aminek tárgyalása nem tartozik e könyv feladatkörébe.

A minőség megállapítását célzó vizsgálatok közül elsőként a mikrobiológiai vizsgálatokat végezzük el, mert a vizsgálati anyag mikrobiológiai állapota folyamatosan változhat. Az élelmiszer mikrobiológiai állapota igen sokoldalúan befolyásolhatja a felhasználhatóságát, mert hatással van az élelmiszer értékére, a tárolhatóságra és a konzerválhatóságra. Az élelmiszerek mikrobiológiai vizsgálata is külön tudomány, amelynek tárgya nem tartozik e könyv feladatkörébe.

A különböző mintákat a vizsgálatokat megelőzően aprítani kell, aminek során különféle darálókat és homogenizátorokat használunk. A legtöbb vizsgálathoz elegendő, ha a minta 98%-a átesik a 0,2 mm lyukméretű szitán.

### **1.3.1. A nedvességtartalom meghatározása**

A nedvességtartalom-meghatározás leggyakrabban alkalmazott módja az, hogy a mintát 103 °C-on, szárítószekrényben a tömegállandóság eléréséig szárítjuk, majd a mért értékekből számítással határozzuk meg a szárazanyag-, illetve a nedvességtartalmat. A 14–20% víztartalmat meghaladó és emiatt nem darálható anyagokat két fázisban szárítjuk meg. Az előszárítás hőmérséklete 55–60 °C, ami után a mintát szobalevegőn hagyjuk kiegyenlítődni, lemérjük, ezt követően aprítjuk, és az újra bemért mintát 103 °C-on tömegállandóságig szárítjuk. Az élelmiszerek illékony anyagai a szárítás során elillanhatnak, ezért ezeket az anyagokat a nedves mintából kell meghatározni.

#### *1.3.1.1. A nedvességtartalom meghatározása előszárítás nélkül*

A homogenizált, szilárd mintából legalább 150 g-t olyan méretűre darálunk, hogy 10%-nál több ne maradjon fenn az 1 mm lyukbőségű rostán. Ismételt homogenizálás után 2 g őrleményt mérünk be 1 mg-os pontossággal ( $m$ ), majd egyenletesen szétterítjük a szárítóedényben. Ezután 0,2 mg-os pontossággal lemérjük a szárítóedényt a fedelével és a 2 g mintával együtt ( $E$ ), majd az edényt nyitott fedővel 103 °C-ra

### 1.3. A NEDVESSÉGTARTALOM ÉS ÁSVÁNYI ALKOTÓRÉSZEK MEGHATÁROZÁSA 45

( $\pm 2$  °C) melegített szárítószekrénybe helyezzük, és 4 órán keresztül száradni hagyjuk. Szárítás után az edény fedelét zárjuk és exsikkátorban lehűtjük, majd 0,2 mg pontossággal lemérjük ( $Sz$ ). A nedvességtartalmat a következő képlettel számítjuk ki és tömeg%-ban adjuk meg:

$$\text{nedvességtartalom } \% = \frac{E - Sz}{m} \cdot 100,$$

ahol:  $E$  = a minta és a szárítóedény tömege szárítás előtt (g),

$Sz$  = a minta és a szárítóedény tömege szárítás után (g),

$m$  = a szárításra bemért minta tömege (g).

A minta nedvességtartalmát két, párhuzamos mérés középértékeként, egytizedes pontossággal adjuk meg. A meghatározás pontossága  $\pm 0,6\%$ .

#### 1.3.1.2. A nedvességtartalom meghatározása előszáritással

Legalább 500 g nagy nedvességtartalmú mintát mérünk le táramérlegen, 0,01 g pontossággal ( $e$ ), és 60–70 °C-on tömegállandóságig szárítjuk. Ezt követően szobahőmérsékleten nyitott edényben 2 órán át hűlni hagyjuk, majd lemérjük ( $M$ ). A lehűlt minta nedvességtartalmát az 1.3.1.1. pontban leírtak szerint meghatározzuk, a nedvességtartalmat a következő képlettel számítjuk ki és tömeg%-ban fejezzük ki:

$$\text{nedvességtartalom } \% = 100 \cdot \left(1 - \frac{M \cdot sz}{e \cdot m}\right),$$

ahol:  $e$  = az első szárításra bemért minta tömege (g),

$M$  = az első szárításra bemért minta szárítás után (g),

$m$  = aprítás és őrlés után a 2. szárításhoz bemért minta tömege (g),

$sz$  = a 2. szárításra bemért minta tömege szárítás után (g).

A minta nedvességtartalmát két, párhuzamos mérés középértéke szerint, egytizedes pontossággal adjuk meg.

#### 1.3.2. Az ásványi alkotórészek meghatározása

##### 1.3.2.1. A nyershamu és a sósavban oldhatatlan hamutartalom meghatározása

**A nyershamutartalom meghatározása.** A hamutartalom meghatározása céljából a mintát izzítótégelyben, laboratóriumi főzőlapon, majd

izzítókemencében 550 °C-on elhamvasztjuk addig, amíg a hamu fehér, illetve szürkésfehér nem lesz. Amennyiben a hamu sok ásványi anyagot (nehézfémet) tartalmaz, akkor színe sötétszürke is lehet. Ha a hamu formában visszamaradó szerves anyagok mennyiségét levonjuk a szárazanyag-tartalomból, akkor megkapjuk a szerves anyagok mennyiségét.

A vizsgálóeljárás menete a következő: mérjük be 5 g vizsgálati anyagot ( $m_o$ ) 1 mg pontossággal, és tegyük be a már előzőleg legalább 30 percig 550 °C-on kiizzított, exszikkátorban lehűtött és 0,2 mg pontossággal lemért hamvasztótégelybe ( $m_2$ ). Helyezzük a mintát elektromos főzőlapra, és fokozatosan égessük el elszenesedésig, ezt követően tegyük a tégelyt 550 °C-os hőmérsékletű izzítókemencébe, és ott három órán keresztül izzítva szénrészecskétől mentes hamut kapunk. Ha további egy órán keresztül izzítva még mindig előfordulnak szénrészecskék a hamuban, akkor hagyjuk lehűlni, és néhány csepp desztillált vízzel való nedvesítés után további egy órán át hamvasztjuk. Exszikkátorban való lehűlés után mérjük le a hamu és a tégely együttes tömegét 0,2 mg pontossággal ( $m_1$ ). A nyershamutartalmat a következő képlettel számíthatjuk ki tömeg%-ban kifejezve:

$$\text{nyershamu } \% = \frac{m_1 - m_2}{m_o} \cdot 100,$$

ahol:  $m_o$  = a vizsgálatához bemért minta tömege (g),

$m_1$  = a tégely és a minta tömege hamvasztás után (g),

$m_2$  = a tégely tömege (g).

A nyershamutartalmat két, párhuzamos mérés középértékeként, egytizedes pontossággal adjuk meg.

**A sósavban oldhatatlan hamutartalom meghatározása.** A sósavban oldhatatlan hamutartalom meghatározásakor a mintát elhamvasztjuk, a hamut sósavban forraljuk, az oldhatatlan maradékot szűrjük, szárítjuk, hamvasztjuk és lehűlés után mérjük.

A vizsgálati eljárás a következő: miután az előzőekben leírtak szerint meghatároztuk az élelmiszer hamutartalmát, a hamut mossuk át 75 cm<sup>3</sup> 3M-os sósavval egy 400 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárban, lassan forrásba hozzuk, és 15 percig enyhén forraljuk. Hamumentes szűrőpapíron szűrjük a meleg oldatot, és meleg vízzel a maradékot kloridmentesre mossuk. Tegyük a szűrőpapírt tartalmával együtt a már előzőleg kiizzított, lehűtött és 0,2 mg pontossággal lemért hamvasztótégelybe ( $m_2$ ). Ezt követően először

szárítjuk, majd kiizzítjuk 550 °C-on. Exsikkátorban való lehűlés után 0,2 mg pontossággal mérjük ( $m_1$ ). A sósavban oldhatatlan hamutartalmat a következő képlet szerint számítjuk és tömeg%-ban fejezzük ki:

$$\text{sósavban oldhatatlan hamutartalom \%} = \frac{m_1 - m_2}{m_o} \cdot 100,$$

ahol:  $m_o$  = a vizsgálatra bemért minta tömege (g),

$m_1$  = a tégely és a sósavban oldhatatlan hamu tömege (g),

$m_2$  = a tégely tömege (g).

A sósavban oldhatatlan hamutartalmat két, párhuzamos vizsgálat középértékeként, egytizedes pontossággal adjuk meg.

### 1.3.2.2. Az ásványi alkotórészek meghatározása spektroszkópai módszerekkel

*Spektroszkópai módszereknek nevezzük az elektromágneses sugárzás és az anyag kölcsönhatásán alapuló analitikai eljárásokat.* Két fő ága közül az *emissziós eljárás* a fénykibocsátáson, az *abszorpciós eljárás* pedig a fényelnyelésen alapszik. Mindkét eljárás alapja az a felismerés, amely szerint az atomok és molekulák elektronrendszerében az elektronoknak pontosan meghatározott energiaértékei vannak, aminek következtében energiafelvétel vagy -leadás csak meghatározott (diszkrét) energiamennyiségek formájában mehet végbe. Gerjesztés során az energia-közlés hatására egy elektron magasabb szintre kerül, amelyet követően – mivel a gerjesztett állapot instabil – az elektronok fölös energiájukat leadva alapállapotba jutnak (rekombináció). A gerjesztés és a rekombináció azonban csak akkor szolgáltat analitikai információt, ha az energia-leadás fény formájában történik. Az emittált (kisugárzott) fény energiáját a következő képlet szerint számolhatjuk:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda},$$

ahol:  $h$  = a Planck-féle állandó (6,63 J/Hz),

$\nu$  = az emittált fény rezgésszáma (frekvenciája),

$\lambda$  = az emittált fény hullámhossza,

$c$  = a fény terjedési sebessége ( $3 \cdot 10^8$  m/s; 300 000 km/s).

Az energiaszintek közötti lehetséges elektronátmenetet ábrázolva kapjuk az ún. termdiagramot. A termdiagramon minden gerjesztési ál-

lapot közötti energiakülönbségnek megfelel a fény jól megkülönböztethető hullámhossza. A legalsó szintnek megfelelő energiakülönbség adja az ún. alapvonalat, amely a kérdéses elemre a legjellemzőbb és a legintenzívebb. A fontosabb elemek alapvonalait az alábbi összeállítás tartalmazza:

|           |                    |
|-----------|--------------------|
| nátrium   | 589,0 és 589,6 nm, |
| kálium    | 766,5 nm,          |
| kalcium   | 422,7 nm,          |
| magnézium | 285,2 nm,          |
| réz       | 324,7 nm,          |
| cink      | 213,9 nm,          |
| vas       | 248,3 nm,          |
| mangán    | 279,5 nm.          |

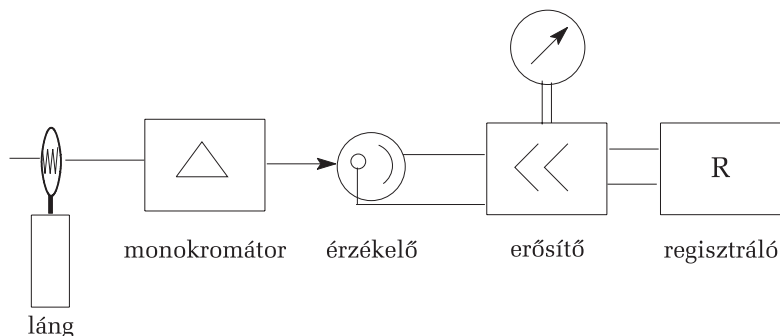
A molekulák esetében az elektronok energiaállapotai mellett módosulnak a forgási és rezgési energiák is, azonban ezek energiái az elektronok energiájához képest nagyságrendekkel kisebbek. Az elektromágneses spektrum optikai tartománya az, amit a makro- és mikroelemek mennyiségének meghatározására fel tudunk használni. *A kibocsátott vagy az elnyelt fény hullámhossz szerinti felbontása után nyerjük a színeképet, amelynek értékelésével a színeképelemzés foglalkozik.* Vonalas színeképet kapunk atomos gázok vagy gőzök gerjesztése esetében, sávós színeképet molekulák gerjesztésekor, folytonos színeképet adnak az izzó, szilárd testek vagy folyadékok. *Atomokat – mivel a fény emittálására és abszorbeálására is képesek – emisszióban és abszorpcióban is vizsgálhatunk, molekulákat viszont (mivel a gerjesztés során legtöbbször elbomlanak) abszorpciós módszerekkel tudunk analizálni.*

### **Emissziós színeképelemzés.**

*Lángfotometria. A lángfotometria a lángban való gerjesztéssel végzett mennyiségi színeképelemzés.* Az eljárás során a mintát lángba porlasztjuk, majd az emittált fény erősségét spektrális felbontás után közvetlenül mérjük. A lángba beporlasztott anyagból az oldószer elpárolog, majd a gőz állapotban lévő fémsó termikusan disszociál. A kapott szabad atomok és gyökök, esetleg molekulák gerjesztődnek, egy részük ionizálódik. A lángba jutó részecskék elpárolgását és disszociációját elősegíti a magas hőmérséklet, a kis mennyiségű anyag adagolása és a viszonylag



hosszú idejű lángban való tartózkodása. Gáz halmazállapotban egyensúly áll be a molekulák, az atomok és az elektronok között. *Az eljárás során a gerjesztődött atomok által kisugárzott fény intenzitását mérjük.* A lángfotométer elvi felépítését az 1.6. ábra mutatja.



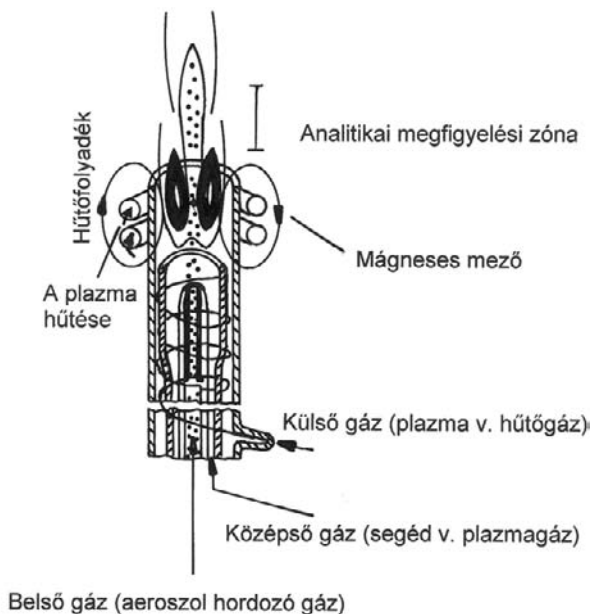
1.6. ábra. A lángfotométer elvi felépítése

A folyamat menete összefoglalva a következő: az oldószer (legtöbbször víz) elpárolgása, szilárd köd keletkezése, párolgás, disszociáció, gerjesztődés és emisszió. *Az emittált fény különböző lencséken, prizmákon keresztüljutva színképvonalakat hoz létre, amelyek közül kiválasztjuk a mérendő elem alapvonalát. Ennek intenzitása arányos a koncentrációval, tehát e módszerrel minőségi és mennyiségi analízist is tudunk végezni.* Ha pl. a színképben azonosítani tudjuk az 589,6 nm-es hullámhosszú vonalat, ez azt jelenti, hogy a mintában volt nátrium, mert ez a hullámhossz kizárólag a nátriumatomok  $3p \rightarrow 3s$  elektronátmenetének megfelelő sugárzás hullámhossza. Amennyiben több elemet akarunk a mintából meghatározni, mindig ki kell választani a mérendő elem alapvonalának megfelelő karakterisztikus hullámhosszt. A lángfotometria az 5 eV-nál kisebb gerjesztési energiájú elemek mennyiségi meghatározását teszi lehetővé, hisz a levegő-acetilén vagy a levegő-propánbután gáz hőmérséklete nem elegendő a nagyobb gerjesztési hullámú elemek magasabb energiaszintre kerüléséhez.

A lángfotometriát sok környezeti hatás zavarja. Az érzékenységet rontja a gerjesztés mellett végbemenő nagyfokú ionizáció, és zavarólag hathat az önabszorpció is (amikor a láng magasabb hőmérsékletű belső részein kibocsátott sugárzást a láng külső, hidegebb részén lévő atomok elnyelik), amelynek során csökken a karakterisztikus hullámhosszú fénysugár intenzitása. A fentieken túl a mátrixhatás következ-

tében a meghatározást olyan oxigéntartalmú anionok zavarhatják, mint a szilikát vagy foszfát, a szerves anyagok hidroxil- és cianidcsoportok jelenlétében pedig folytonos háttérsugárzást adnak, amelyek a mérési eredményeket megghamisíthatják.

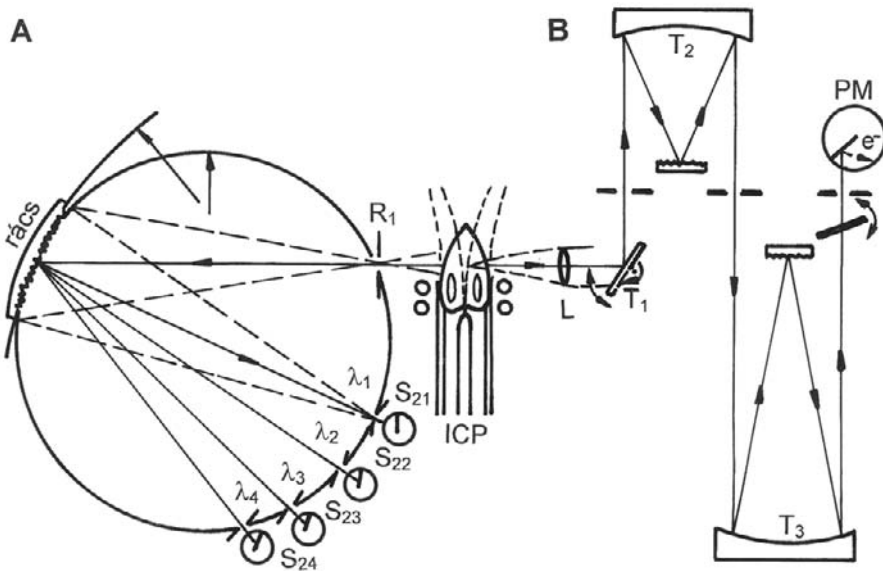
*Plazmaemisszió.* Az induktív csatolású plazma (ICP) két-három menetből álló tekercsbe vezetett nagyfrekvenciás árammal, legtöbbször *argonatmoszférában létesített plazmát jelent*, amelynek hőmérséklete 6000–8000 K. A mérendő elem oldatát az ICP-méréstechnika során perisztaltikus pumpával juttatjuk be a ködkamrába, ahonnan a vivőgázzal porlasztva jut a plazmaégőbe. A plazmagáz a vízűtött nagyfrekvenciás tekercs belsejében ionizálódik, aminek következtében a tekercs belsejében az elektronszám rendkívüli módon megnövekszik, az elektronok mozgási energiája pedig akkorára nő, hogy az argonatomokkal ütközve azokról elektronokat szakít le. *A nagyfrekvenciás plazmában való mérés rendkívüli előnye, hogy gyakorlatilag nem kell a mátrixhatással számolni*, és a lángfotometriánál fennálló zavaró körülmények is minimálisak. A kis gerjesztési energiájú alkálifémek a nagyméretű ionizáció miatt



1.7. ábra. A plazma és szerkezete

viszont nem vagy csak nehezen mérhetők ICP-vel. A módszer érzékenysége rendkívül nagy, kedvező esetben elérheti a néhány század  $\mu\text{g}/\text{kg}$ -ot is. A plazma egyidejűleg sugározza a mintában lévő valamennyi elem karakterisztikus vonalait, így megfelelő berendezéssel, plazmaemissziós spektrométerrel 20–40 elem mérhető egyidejűleg (1.7. ábra).

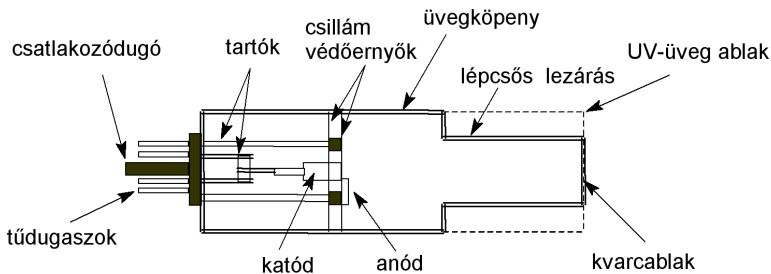
A kisugárzott fény mérése történhet monokromátoros vagy polikromátoros elrendezésben (1.8. ábra). A monokromátorba jutott fényből tükrök és rácsok segítségével kiválasztjuk a kívánt hullámhosszúságú fényt, amelynek intenzitását valamilyen fénymérő berendezésben mérjük. A berendezés segítségével a plazmát elhagyó spektrumból tehát kiválasztjuk a keresett hullámhosszt, azaz a fényt monokromatikussá tesszük. A polikromátoros berendezésben a belépőre érkező fényt az optikai rács – a prizmaéhoz hasonlóan, csak annál nagyobb felbontásban – összetevőire bontja, amelyek intenzitását egy fotomultipliernek nevezett berendezés méri. A polikromátoros elrendezés segítségével számítógépes értékeléssel pár  $\text{cm}^3$  mintából 40–50 elem minőségi és mennyiségi analízise végezhető el fél perc alatt.



1.8. ábra. A kisugárzott fény mérése polikromátoros (A) és monokromátoros (B) elrendezésben

### Abszorpciós színeképelemzés.

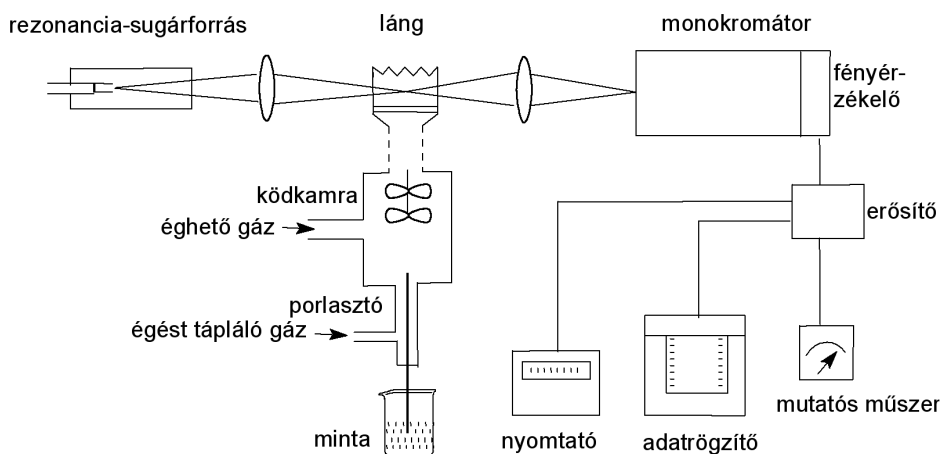
*Atomabszorpciós fotometria.* Az abszorpciós színeképelemzés az atomok és vegyületek fényelnyelésének mérésén alapuló analitikai módszer, amelynek alapja, hogy a különböző atomok és vegyületek az összetett fény más és más hullámhosszúságú sugarait abszorbeálják. A fényabszorpció az atomokra és vegyületekre nézve szelektív, tehát az anyag minőségére ad információt, a fényelnyelés mértéke pedig az anyag koncentrációjával arányos, ezért az abszorpció mértékéből a vizsgálandó anyag mennyiségére is következtetni lehet. Az abszorpciós mérések közül az *atomabszorpciót elsősorban fémek kis mennyiségének pontos meghatározására alkalmazzák*; szinte minden élelmiszer és takarmány szempontjából fontos fém- és nehézfémnyom meghatározható ezzel a technikával. *Az atomabszorpció olyan analitikai módszer, amely a gáz halmazállapotú atomok fényelnyelését méri, az atomok ugyanis képesek mindazon hullámhosszúságú fény elnyelésére, amelyet önmaguk is ki tudnak bocsátani.* A szabad atomok csak a rájuk jellemző hullámhosszú fényt képesek abszorbeálni, azt, amely a megfelelő elektronátmenethez szükséges, ezért ha egyetlen hullámhosszú sugárzást bocsátunk át az atomgőzön, akkor ezt csak egyetlen elem atomjai képesek elnyelni.



1.9. ábra. A vájtkatód lámpa felépítése

A karakterisztikus sugárzás előállítására az ún. vájtkatód lámpák (1.9. ábra) alkalmasak, amelyeknek henger formájú üreges katódja a mérendő elemből készül. A vájtkatód lámpa valójában egy kis nyomáson működő kisülési cső, amely csakis a katódfém alapvonalát sugározza igen nagy intenzitással. Kis áramerősséget át bocsátva a katódra, arról fématomok kerülnek a gáztérbe, amelyek ott ütközéssel gerjesztődnek, majd ismét alapállapotba jutva kisugározzák az elektronátmenet-

nek megfelelő fényt. A kisugárzott fényt átbocsátják a mérendő elemet tartalmazó atomos gőzökön, amelyek közül csak a mérendő atomok képesek ezt a fényt abszorbeálni, hisz ez ezek alapvonalát gerjeszti. Így pl. a magnéziumlámpa csak a 285,2 nm-es hullámhosszú sugárzást bocsátja ki, amelyet csak a magnéziumatomok képesek abszorbeálni. A fényelnyelés mértéke arányos a meghatározandó atomok számával, azok koncentrációjával. A módszer szelektív és nagy érzékenységgű, kellő számú vájtkatód lámpával gyakorlatilag 30–60 fémes elem egymást követő meghatározását teszi lehetővé. Az atomos gőzök előállítása szempontjából kétfajta eljárás ismeretes: *atomizáció lángban* és *elektrotermikus* vagy más néven *grafitküvettás atomizáció*. Az atomabszorpciós fotométer felépítését az 1.10. ábra mutatja.



1.10. ábra. Az atomabszorpciós fotométer felépítése

Az atomos gőzök lángba juttatása a lángfotometriához hasonlóan történik, aminek során a mérendő anyagot a levegő a ködkamrába juttatja, amely ott az éghető gázzal keveredik, és együttesen viszik tovább a lángig. A lángban megtörténik a vájtkatód lámpa által kisugárzott fény abszorpciója, amelynek mértékét a fényérzékelő méri. Az érzékelő a jelet kijelzi a nyomtatóba vagy az adattároló komputerhez juttatja el.

A lángot leggyakrabban az acetilén levegőben vagy az acetilén dinitrogén-oxidban való égetésével állítják elő. A dinitrogén-oxid-acetilén láng magasabb hőmérsékletű, kevesebb benne a zavaró hatás, jelentősebb viszont az ionizáció. E lángot a nagyobb gerjesztési energiával

rendelkező elemek meghatározásánál használják. Az atomabszorpciós mérésrel egy elem meghatározása egy mintából 5–10 másodpercig tart, ezért a módszer alkalmas nagyszámú minta gyors mennyiségi analízisére. A módszerrel a jól mérhető elemekre a kimutatási határ 0,01 mg/kg.

*A grafitküvettás atomizálásakor nemesgáz atmoszférában tartott, elektromos árammal felmelegített grafitküvettát használunk, amelyen keresztülhalad a vájtkatód lámpa által kibocsátott sugárzás. A nagy ellenállású grafitküvettát kis feszültségű (10 V) és nagy áramerősségű (80–100 A) árammal felmelegítjük, amelynek során be tudjuk állítani a pontos hőmérsékletet, ami lehetővé teszi az optimális mérési paraméterek kialakítását. A meghatározás során elsőként az oldószert párologtatjuk el, az ezt követő előkezelés során a szennyező- és zavaróanyagok eltávolítása következik, majd végül az atomizáció során a mérendő elem atomos gőzének előállításával elvégezzük a tényleges mérést.*

Az elektrotermikus atomizálás rendkívüli előnye, hogy az elemek egyedi fűtési programja segítségével a zavaró hatások nagyrészt kiküszöbölhetők. A módszer érzékenyebb és pontosabb, mint a láng esetében, hátránya viszont, hogy lassabb és drágább. A grafitküvettás méréstechnikával a mérendő elemek kimutatási határa 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

**Ultraibolya és látható abszorpciós fotometria.** A vegyületek kémiai kötése gerjesztéséhez az ultraibolya és a látható színek tartomány energiája elégséges. A  $\sigma$ -kötést a 180 nm-nél kisebb hullámhosszú, a  $\pi$ -kötést pedig a 180 nm-nél nagyobb hullámhosszú fény gerjeszti, amiből az is következik, hogy a módszer leginkább a különféle szerves vegyületek meghatározására alkalmazható. *A hullámhossz függvényében felvett fényelnyelés mértéke adja az abszorpciós spektrumot vagy színeképet, amelyben az egyes kötéstípusokhoz jellegzetes elnyelési tartományok rendelkeznek, amelyek alapján a vegyületek azonosíthatók. A különböző vegyületek spektruma egymástól annyira különbözik, hogy a különbség alapján a vegyületek egymástól elválaszthatók. A meghatározás során a spektrumok felvételét nem abszorbeáló oldószerben feloldott anyagokkal végezzük úgy, hogy a mintaoldat elnyelését az oldószerhez mint vakértékhez hasonlíttjuk. A leggyakrabban használt oldószer a víz, az alkohol, a hexán és a benzol. A vegyület fényelnyelése során mért intenzitáscsökkenés logaritmus arányos a mérendő elem koncentrációjával, amit abszorbanciának hívunk. A Lambert–Beer-törvény alapján az abszorbancia a következő képlettel fejezhető ki.*

$$A = \log \frac{I_o}{I} = \varepsilon \cdot c \cdot l,$$

ahol:  $I_o$  = a belépő fény intenzitása,  
 $I$  = a mintaoldatot elhagyó fény intenzitása,  
 $l$  = a fény útja az oldószerben,  
 $c$  = a mol/dm<sup>3</sup>-ben kifejezett koncentráció,  
 $\varepsilon$  = a moláris abszorpciós koefficiens.

Fenti képlet segítségével, ha megmérjük az abszorpciót, a koncentráció számolható. Az abszorbancia mérésére olyan fotométert használunk, amelyen a mérendő vegyület abszorpciós maximumának megfelelő hullámhossz beállítható. Erre azért van szükség, mert az abszorpciós maximumon a legérzékenyebb a mérés.

Az ultraibolya tartományban végzett mérés, az UV-spektroszkópia, szerves vegyületek beazonosítására és mennyiségi meghatározására is alkalmazható.

### Speciális vizsgálatok.

A tehéntej ásványianyag-tartalma és annak megváltozása a tőgygyulladás következtében. A tőgygyulladás hatására a tehéntej összetétele lényegesen megváltozik a normális tej összetételéhez képest. Az összetételében megváltozott tej ipari és táplálkozásbiológiai értéke lényegesen kisebb a normális tejénél, mert csökken a gyulladással összefüggő tejszármarék képződésének mértéke, a tejszármarék hőstabilitása, erjedőképessége, pufferkapacitása, a belőle készült alvadék szilárdsága és savóleadó képessége, megnyúlik az oltós alvadási ideje, nagyobb lesz a redukáz, proteínáz és lipáz aktivitása, valamint a szabad zsírsavak mennyisége. Kisebb lesz a tej zsír- és fehérjetartalma, megváltozik a fehérjefrakciók mennyisége és aránya, csökken a vitamin- (különösen az A- és C-vitamin-) tartalma. A tej kazeintartalmának csökkenésével kevesebb lesz az ún. sajtkitermelési százalék, nő a savó zsír- és fehérjetartalma. A masztitiszes tej részarányának meghatározására különböző istállópróbák (kataláz-próba, brómtimol-próba, white-side-próba, masztitisz-próba vagy CMT-próba) terjedtek el. Ezek a próbák a tej kémhatásának megváltozásán, illetve a tej megemelkedett sejttartalmának kimutatásán alapulnak. Jelentős mértékben megváltozik a tej laktóz- és ásványianyag-tartalma is tőgygyulladás hatására. A laktóztartalom 4,9%-ról 3,3%-ra, a káliumtartalom 1300 mg/kg-ról 600–700 mg/kg-ra csökken, a nátriumtartalom 400 mg/kg-ról 1500 mg/kg-ra, a kloridion-tartalom 1000 mg/kg-ról 1700–1800 mg/kg-ra nő a –

masztiteszt-próba alapján – +++ és ++++ keresztes tejben a negatív tejhez képest. Hasonló, bár talán nem ennyire szembeötlő változások történnek a többi makro- és mikroelem-tartalomban is, azaz az egészséges tőgyből származó tej több szárazanyagot, laktózt, káliumot, foszfort, cinket és rezet, ezzel szemben kevesebb nátriumot, kloridot, kalciumot, vasat és mangánt tartalmaz.

Az előzőekből nyilvánvaló, hogy ha az ásványianyag-tartalom alapján akarjuk a tőgygyulladást kimutatni, akkor a kloridion-tartalomra, a nátrium- és káliumtartalomra kell koncentrálnunk, esetleg az összes makro- és mikroelemet bevonhatjuk az értékelésbe.

*A kloridion-tartalom meghatározása.* A tehéntej tőgygyulladás hatására megnövekedett kloridion-tartalmát egyrészt *Volhard* szerint, másrészt potenciometriásan, kloridion-szelektív elektróddal is meg lehet határozni.

*Volhard* szerint vizsgálva a kloridion-tartalmat meghatározott mennyiségű tejhez ismert mennyiségű ezüst-nitrát oldatot adunk, és Fe(III)-ammónium-szulfát indikátor jelenlétében az ezüst-nitrát-felesleget ammónium-rodanid mérőoldattal visszatitráljuk. A tej kloridion-tartalmát  $100 \text{ cm}^3$  teje vonatkoztatva g-ban az alábbi képlettel számolhatjuk ki:

$$c = \frac{(a - b) \cdot 0,00355 \cdot 100}{m},$$

ahol:  $0,00355$  = kloridion-egyenérték (g),

$a$  = a  $10 \text{ cm}^3$  tejhez adott  $0,1 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú  $\text{AgNO}_3$ -oldat mennyisége ( $\text{cm}^3$ ),

$b$  = a titrálásakor fogyott  $0,1 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú ammónium-rodanid-oldat mennyisége ( $\text{cm}^3$ ),

$m$  = a bemért tej mennyisége ( $\text{cm}^3$ ).

A tej kloridion-tartalmának meghatározását *potenciometriásan*, kloridion-szelektív elektróddal is elvégezhetjük. A meghatározáshoz szükséges egy potenciométer vagy pH-mérő készülék, egy kloridion-szelektív membránelektrod és egy vonatkoztatási kalomelektrod. A vizsgálat során  $100 \text{ cm}^3$ -es főzőpohárban  $10 \text{ cm}^3$  tejet  $90 \text{ cm}^3$  desztillált vízzel elegyítünk, az oldatot két-három percig kevertetjük, majd kloridion-szelektív és vonatkoztatási elektród segítségével leolvassuk az elektródpotenciált (E). A meghatározáskor ismert kloridion-koncentrációjú oldatokkal elkészítjük a kalibrálóegyenest, amelynek segítségével a leolvasott elektródpotenciál-értékekből felvett  $\lg[\text{Cl}^-]$ –E függvény alapján a minta



kloridion-koncentrációja meghatározható. A kapott értékeket a hígítással megszorozva megkapjuk a tej kloridion-tartalmát.

*A nátriumtartalom meghatározása.* A tej megnövekedett nátrium-tartalmát lángfotometriásan, illetve ionszelektív membránelektrod segítségével is meghatározhatjuk. A lángfotometriás meghatározás során a vizsgálandó tejmintát beszárítjuk, majd elhamvasztjuk. A hamut híg salétromsavban feloldjuk, és az oldat megfelelő hígítása után a nátriumion-koncentrációt lángfotometriásan mérjük. A lángfotometriás mérés hullámhossza 598 nm. A tejből készült oldat intenzitásértékeit megfelelő koncentrációjú kalibrálóoldatok intenzitásértékeihez viszonyítjuk. A kalibrálóoldatok intenzitásértékeiből kalibrálóegyenest készítünk, amelynek segítségével az ismeretlen nátriumion-koncentráció meghatározható.

A tej nátriumtartalmát meghatározhatjuk ionszelektív membránelektrod segítségével is, amely eljáráshoz szükségünk van potenciométerre vagy pH-mérő készülékre, a nátriumion-szelektív membránelektrodra és egy vonatkoztatási kalomelektrodra. A vizsgálati eljárás során hasonló módon járunk el a kloridtartalomnál leírtakhoz, azzal a különbséggel, hogy nátriumion-szelektív membránelektroddal mérjük meg a tej elektródpotenciálját. A kiértékeléshez ismert nátriumion-koncentrációjú oldatokkal kalibrálóegyenest készítünk; az elektródpotenciálértékeket a nátriumion-koncentráció logaritmusának függvényében ábrázoljuk, majd az így kapott kalibrálóegyenes segítségével a nátriumion-koncentráció meghatározható.

*A tej ásványi alkotórészeinek meghatározása.* A tej és tejtermékek kálium- és nátriumtartalmát lángfotometriával vagy ionszelektív membránelektroddal, kloridion-tartalmát klasszikus módszerekkel vagy potenciometriásan, kalcium-, magnézium-, cink-, réz-, vas-, mangán-, kobalt-, nikkel-, ólom-, kadmium-, arzén-, ón- stb. tartalmát pedig atomabszorpciós spektrofotométerrel, illetve induktív csatolású plazmaemissziós fotométerrel határozzuk meg.

A vizsgálat során a tejből 50 cm<sup>3</sup>-t mérünk be 1 mg-os pontossággal porcelán vagy kvarc hamvasztótégelybe, majd a tégely tartalmát 103 °C (±2 °C) hőmérsékletű szárítószekrényben tömegállandóságig szárítjuk. Ezt követően izzítókemencében annak hőmérsékletét óránként 30 °C-kal emelve 450 °C-on elhamvasztjuk, a lehűlt hamuhoz 10 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>-oldatot adunk, majd 50 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba szűrjük, jelre töltjük, és ebből a törzsoldatból hígítunk az atomabszorpciós és az ICP-méréshez. A mérési hullámhosszokat az 1.2. táblázat tartalmazza.

**1.2. táblázat.** *A tej ásványi alkotórészeinek meghatározásakor használt hullámhosszok*

| Elem      | Atomabszorpció | ICP   |
|-----------|----------------|-------|
| Kalcium   | 422,7          | 393,4 |
| Magnézium | 285,2          | 279,5 |
| Cink      | 213,9          | 213,9 |
| Réz       | 324,7          | 324,7 |
| Vas       | 248,3          | 238,2 |
| Mangán    | 279,5          | 257,6 |
| Kobalt    | 240,7          | 238,8 |
| Nikkel    | 232,0          | 231,6 |
| Molibdén  | 217,0          | 230,4 |
| Kadmium   | 228,8          | 214,4 |
| Arzén     | 193,1          | 189,0 |
| Stroncium | 460,7          | 407,8 |
| Bárium    | 553,5          | 455,4 |

A mintából mért abszorbanciaértékeket, illetve intenzitásokat a megfelelő koncentrációjú kalibrációs sorozathoz hasonlítva az aktuális koncentráció kiszámítható.

*A masztitiszes tej részarányának meghatározása elegytejből az ásványianyag-tartalom alapján.* A módszer alkalmas az egészséges tejhez hozzáfejt, tőgygyulladásos tőgyből származó tej kimutatására és mennyiségének meghatározására. A módszer a tej kémiai összetételének tőgygyulladás hatására bekövetkező megváltozásán alapszik. A masztitist-próba különböző fokozatainak megfelelő tőgyből származó tej összetételét az 1.3. táblázat mutatja.

Amennyiben egy olyan faktort képezzünk, ahol a számlálóban csak azok a komponensek szerepelnek, amelyek csökkennek, a nevezőben pedig csak azok, amelyek a tőgygyulladás hatására nőnek, akkor az így kapott faktor a normális tejure számolva 7–8-szor több, mint a +++, illetve ++++ keresztes minták esetében. Az ismeretlen tejminta  $f$  faktorának kiszámítása alapján az egészséges tejhez kevert kóros összetételű tej mennyisége meghatározható.

Mivel a módszer a tej ásványianyag-tartalmának meghatározásán alapszik, az alkalmazott eszközök és vegyszerek megegyeznek a korábban leírtakkal. Az ásványianyag-tartalomra kapott adatokból az  $f$  faktor

**1.3. táblázat.** *A tej összetételének megváltozása tőgygyulladás hatására*

| A vizsgált komponens | A vizsgált csoportok a masztiteszt-próba alapján |       |       |       |       |
|----------------------|--|-------|-------|-------|-------|
|                      | Negatív  | +     | ++    | +++   | ++++  |
| Laktóz, g/100g       | 4,92   | 4,57  | 3,99  | 3,42  | 3,35  |
| Száranyag, g/100g    | 11,64  | 11,44 | 11,33 | 10,89 | 10,82 |
| Kálium, mg/kg        | 1327   | 1169  | 911   | 700   | 627   |
| Nátrium, mg/kg       | 372  | 678   | 954   | 1246  | 1559  |
| Klorid, mg/kg        | 1090   | 1317  | 1554  | 1770  | 1773  |
| Kalcium, mg/kg       | 911  | 975   | 990   | 1052  | 1136  |
| Foszfor, mg/kg       | 833  | 811   | 742   | 680   | 654   |
| Magnézium, mg/kg     | 122,3  | 121,4 | 119,8 | 117,4 | 118,0 |
| Cink, mg/kg          | 4,74   | 4,22  | 4,06  | 3,80  | 3,78  |
| Vas, mg/kg           | 1,01   | 1,90  | 2,93  | 3,56  | 3,11  |
| Réz, mg/kg           | 0,322  | 0,302 | 0,283 | 0,266 | 0,245 |
| Mangán, mg/kg        | 0,106  | 0,131 | 0,157 | 0,210 | 0,198 |

számolása során a laktóz- és a kloridtartalmat tömeg%-ban, a képletben feltüntetett többi elemet pedig mg/kg-ban adjuk meg. Az így számolt  $f$  faktor a következő:

$$f = \frac{K \cdot P \cdot Zn \cdot Cu \cdot \text{laktóz}}{Na \cdot Fe \cdot Mn \cdot Cl}$$

A számítás eredményeképp a különböző betegcsoportokra a következő faktorokat kapjuk (1.4. táblázat).

**1.4. táblázat.** *A masztiteszt-próba alapján kapott  $f$  faktorok*

| Vizsgált csoportok a masztiteszt-próba alapján | Átlag | Szélső értékek |
|--|-------|----------------|
| Negatív  | 190,8 | 132–301        |
| +  | 24,9  | 16,7–37,0      |
| ++   | 4,62  | 2,87–7,44      |
| +++  | 1,00  | 0,66–1,51      |
| ++++   | 0,76  | 0,50–1,15      |

Az 1.5. táblázat az egészséges tejhez különböző arányban hozzákevert kóros tejminták befolyását mutatja az  $f$  faktor alakulására az elegytejben.

**1.5. táblázat.** Az egészséges tejhez különböző arányban hozzákevert kóros tejminták befolyása az  $f$  faktor alakulására

| Az egészséges<br>tej aránya (%) | Az 1, 2, 3 és 4<br>keresztes tej %-a | $f+$  | $f++$ | $f+++$ és<br>$f++++$ |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|----------------------|
| 95                              | 5                                    | 168,3 | 146,5 | 128,8                |
| 90                              | 10                                   | 148,5 | 116,4 | 89,5                 |
| 85                              | 15                                   | 131,3 | 92,0  | 62,8                 |
| 80                              | 20                                   | 117,9 | 73,4  | 44,7                 |
| 75                              | 25                                   | 104,1 | 59,1  | 33,3                 |
| 70                              | 30                                   | 93,1  | 59,1  | 33,3                 |

A táblázat alapján a kóros összetételű tej százalékos mennyisége az  $f$  faktor segítségével határozható meg. Még pontosabb eredményeket érhetünk el, ha az  $f$  faktort az egészséges tejhez hozzákevert kóros összetételű tej százalékanak függvényében ábrázoljuk. Az így kapott kalibrációs egyenes segítségével a kóros összetételű tej részaránya közvetlenül leolvasható.

*Szeléntartalom meghatározása fluorimetriás módszerrel.* Mivel a szeléntartalom rendkívül érzékeny a roncsolási körülményekre, ezért a szeléntartalom meghatározásánál nedves roncsolással végezzük a fel-tárást. Az így roncsolt minta savas oldatához 2,3-diamino-naftalin reagens oldatot adunk, és a kapott piazzselenol-komplexet fluorimetriásan mérjük. A fluorimetriás mérés során a gerjesztési hullámhossz 380 nm, a mérési hullámhossz 519 nm.

A meghatározás során 250 cm<sup>3</sup>-es csiszolatos gömblombikba a szeléntartalomtól függően 2–5 g mintát mérünk be, amihez 20 cm<sup>3</sup> koncentrált salétromsavat adunk, és két napon át állni hagyjuk. Ezt követően 2 cm<sup>3</sup> cc. perklórsavat adunk a rendszerhez, és csiszolatos spirálhűtő segítségével homokfürdőn, 180 °C-on 16 órán át hevítjük, majd 1 cm<sup>3</sup> cc. kénsav hozzáadása után az elegyet óvatosan melegítve bepároljuk. Az oldatot lehűtve, 1 cm<sup>3</sup> cc. sósavat adunk hozzá, vízfürdőn 10 percig melegítjük, majd a roncsolmányt desztillált vízzel 100 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárba mossuk át, mintegy 50 cm<sup>3</sup> végtérfogatra. Az elroncsolt oldat-hoz 5 cm<sup>3</sup> maszkírozóoldatot (mely Na-oxalátot, Na-fluoridot, EDTA-t és hidroxil-ammónium-kloridot tartalmaz) adunk, a pH-t ammónium-hidroxid-oldattal 2,0-re állítjuk be, hozzápipettázunk 5 cm<sup>3</sup> 0,1% 2,3-diamino-naftalin oldatot, és két órán át sötétben állni hagyjuk.

A komplex kialakulása után az oldatot desztillált vízzel rázótolcsérbe mossuk,  $2 \times 5 \text{ cm}^3$  ciklohexánnal extraháljuk, majd az egyesített szerves fázisokat a vakpróbával szemben 20 percen belül fluorimetráljuk 380 nm gerjesztési és 519 nm emissziós hullámhosszakon. A megfelelően elkészített kalibrációs görbe segítségével, amelyben 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 és 1,0  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  szelénkoncentrációt ábrázolunk a hozzá tartozó emisszióértékekkel, az ismeretlen szeléntartalom számolható. A minta szeléntartalmát  $\text{mg}/\text{kg}$  vagy  $\mu\text{g}/\text{g}$  mértékegységben adjuk meg.

*Kéntartalom meghatározása élelmi anyagokból induktív csatolású plazmaemisszióval.* A módszer alkalmas különböző szárazanyag-tartalmú élelmiszerek és takarmányok összes kéntartalmának meghatározására. A különböző vizsgálandó mintákat 100–300 °C-os hőmérsékleten, 100–150 bar nyomáson salétromsavval elroncsoljuk, majd a feltárt oldatból megfelelő hígítás után a kéntartalmat ICP-módszerrel meghatározzuk. Mivel a hagyományos roncsolási módszereknél a kéntartalom nagy része elszökik a rendszerből, ezért a minta roncsolását komputer által vezérelt, nagynyomású roncsolóberendezésben, hőmérsékletprogram segítségével végezzük.

Ennek során 20 perc alatt 50 °C-ról 100 °C-ra, majd újabb 20 perc alatt 100 °C-ról 160 °C-ra melegítjük a mintát, és két órán át 160 °C-on tartjuk. Ezt követően egy órán át 160 °C-ról 40 °C-ra hűtjük, és az így kapott oldatot megfelelő módon hígítva alkalmazzuk az ICP-s kénmeghatározásra. Ennek során a 182,03 nm-en mért intenzitásértékből a különböző koncentrációjú kalibrálóoldatok segítségével az oldat kéntartalma meghatározható. A megfelelő hígítások figyelembevételével a minta eredeti kéntartalma kiszámítható.

## 1.4. A víz és az ásványi anyagok összefoglalása

A víz kémiai és fizikai tulajdonságainál fogva az élet legalapvetőbb eleme, amely az emberi testnek is 60–70%-át teszi ki. A vízmolekulák egymással hidrogénkötésekkel kapcsolódnak, amelyek alapvető szerepet játszanak mind a víz, mind a jég szerkezetének kialakításában. A hidrogénkötések által összetartott asszociátumok a víznek is bizonyos fokú rendezettséget kölcsönöznek. A víz sűrűsége 3,98 °C-on maximális, ami megakadályozza a folyóvizek és a tavak összes vízállományának megfagyását, segítve így a vízi élővilág áttelelését. Oldáshője és párolgáshője rendkívül nagy; óriási hőkapacitása miatt meghatározó szerepet tölt be

a hőmérséklet szabályozásában. Elektromosság- és hővezető képessége csekély, dielektromos állandója miatt nagyfrekvenciás térben felmelegíthető.

A víznek különleges jelentősége van az élőlények szempontjából, hisz a víz egyrészt közege a különféle átalakulási folyamatoknak, másrészt segítője a biológiai szervezetek kialakulásának. Benne oldódnak a különféle szerves és szervetlen molekulák, segítségével alakulnak ki a hidratburkok és a kristályvíztartalmú vegyületek. A természetes vizek és az ivóvizek jelentős mennyiségű szervetlen iont is tartalmaznak, amelyek közül a  $\text{Ca}^{2+}$ - és a  $\text{Mg}^{2+}$ -ionok okozzák a víz keménységét. A víz lágyítása különféle fizikai és kémiai módszerekkel (desztillálás, fordított ozmózis, ioncsere, vegyszerek) megoldható.

A vizet az élelmiszerek kémiaiilag, fizikai-kémiaiilag és mechanikailag köthetik meg. Az élelmiszer-előállítás során rendkívül fontos a szabad és a kötött víz mennyiségének ismerete, a víztartalom-változás, illetve a vízkaktivitás meghatározása, amelyek jelentős hatással vannak az élelmiszerek tárolhatóságára.

Az ásványi anyagok rendkívül fontos alkotórészei az élelmiszereknek. A legfontosabb makroelem a nátrium, a kálium, a magnézium, a kalcium, a foszfor, a kén és a klór. Az esszenciális mikroelemek közé tartozik a vas, a fluor, a cink, a réz, a vanádium, a mangán, a jód, az ón, a nikkell, a molibdén, a szelén, a króm és a kobalt. A nem esszenciális mikroelemek közé pedig az alumínium és a bór.

Az élelmiszerek nedvességtartalmát előszárítással vagy egy lépésben határozzuk meg. Az ásványi alkotórészek meghatározásakor a hamutartalmat és a sósavban oldhatatlan hamutartalmat izzítással, a hamu ásványi alkotórészeit pedig spektroszkópiai módszerekkel határozzuk meg. Ezek közül különös jelentőséggel bírnak az emissziós (lángfotometria, plazmaemisszió) és az abszorpciós (atomabszorpciós fotometria, ultravioleta és látható abszorpciós fotometria) spektroszkópiás módszerek.

## A SZÉNHIDRÁTOK

A szénhidrátok a bioszféra szerves anyagainak főtömegét alkotó vegyületek. Polihidroxi-aldehidek, polihidroxi-ke-tonok vagy származékaik, általános képletük  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , ahol  $n \geq 3$ . Leggyakoribb monoszacharid a hat szénatomos D-glükóz, ami valószínűleg a legősibb monoszacharid, amelyből talán az összes többi cukor keletkezett. Az oligoszacharidok 2–10 monoszacharid glikozidkötéssel való kapcsolódása útján jönnek létre. Nagyszámú cukoregység egyenes vagy elágazó láncú kapcsolódása útján keletkeznek a poliszacharidok, amelyekre többnyire az egyfajta, néha két, igen ritkán pedig több cukoregység váltakozó kapcsolódása a jellemző. Biológiai jelentőségük az alábbiakban foglalható össze:

- a sejtek üzemanyagai,
- polimer formában tartalék energiahordozók (keményítő, glikogén),
- támasztó- és vázanyagok, a növényi sejtfa-lak építőelemei (cellulóz), bakteriális és állati sejt-hártyák alkotórészei, fehérjékkel kapcsolódva glikoproteint képeznek,
- alkotórészei a nukleotidoknak, az alkaloidoknak, a mukopoliszacharidoknak és sok más egyéb vegyületnek,
- a szénhidrátok elemei a sejtek közötti felismerésnek, a vírusok sejthez való kapcsolódásának, a sejtek felületét és a fehérjéket károsító anyagokkal szemben védenek, komponensei az antibiotikumoknak, tumorellenes anyagoknak. A fentiekből következően rendkívüli fontossággal bírnak az élő szervezetek kialakulásában, annak ellenére, hogy ellentétben a fehérjékkel és polinukleotidokkal, nem információs makromolekulák.

## 2.1. Monoszacharidok

Általános képletük  $(CH_2O)_n$ , ahol  $n$  értéke 3–6, ritkán 7 vagy 8. Aszerint, hogy aldehid- vagy ketocsoportot tartalmaznak, a monoszacharidok lehetnek *aldózok* vagy *ketózok* (2.4 és 2.6. ábra). A legegyszerűbb aldóz a gliceraldehid (aldotrióz), a legegyszerűbb ketóz pedig a dihidroxi-aceton (ketotrióz), amelyekből levezethetők a tetrózok, a pentózok, a hexózok, valamint a magasabb szénatomszámú monoszacharidok is. A természetben a hexózok a legelterjedtebb monoszacharidok, amelyek szabad állapotban is előfordulnak (glükóz). A pentózok (ribóz, dezoxiribóz) a nukleotidok és a nukleinsavak alkotórészei. A többi egyszerű cukor szabad állapotban csak ritkán található meg a természetben.

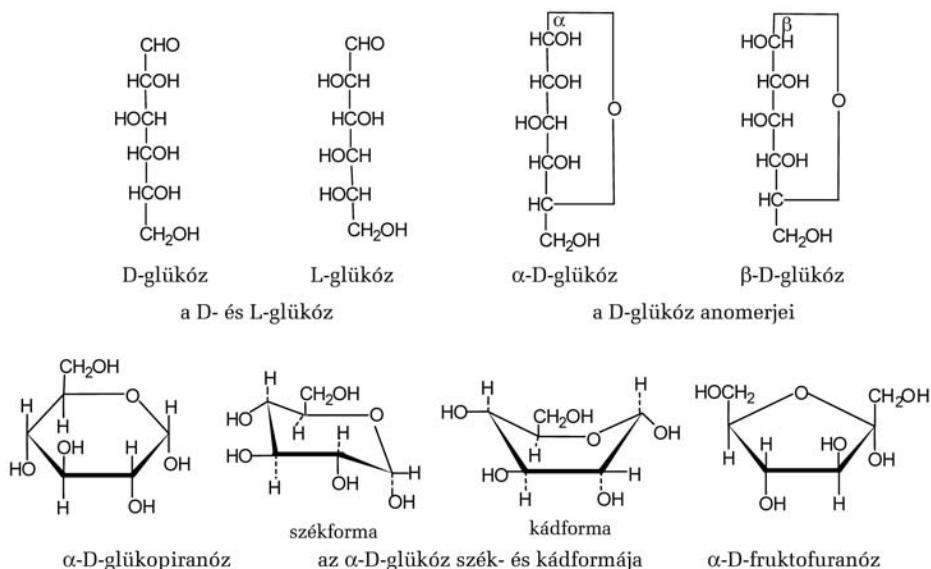
A cukrok kristályos, édes ízű anyagok, vízben jól, apoláros oldószerekben nem oldódnak. A dihidroxi-aceton kivételével minden monoszacharid tartalmaz egy vagy több aszimmetriás szénatomot, ami sztereoizomerek létezését teszi lehetővé. A lehetséges sztereoizomerek száma  $2^n$ , ahol  $n$  az aszimmetriás szénatomok száma. A természetes cukrok *D konfigurációjúak*, abszolút konfigurációjuk a D-gliceraldehidből vezethető le. A D és az L jelölés a karbonil szénatomtól legtávolabb eső aszimmetriás szénatom konfigurációját jelöli (2.1. ábra).



2.1. ábra. A gliceraldehid izomerei

Azokat a cukrokat, amelyek konfigurációja csak egy szénatomban különbözik, epimereknek nevezzük. A természetben előforduló cukrok L konfigurációjú alakjai a D konfiguráció tükörképei. A cukrok optikailag aktívak, azaz a poláros fény síkját jobbra vagy balra forgatják el. A természetben előforduló D-glükóz jobbra forgató ( $[\alpha]_D^{20} = +52,7^\circ$ ), míg a D-fruktóz balra forgató ( $[\alpha]_D^{20} = -92,4^\circ$ ). A vizes cukoroldat optikai forgatása nem állandó, feloldás után változhat, amiből arra lehet következtetni, hogy a számítottnál eggyel több aszimmetriacentrummal





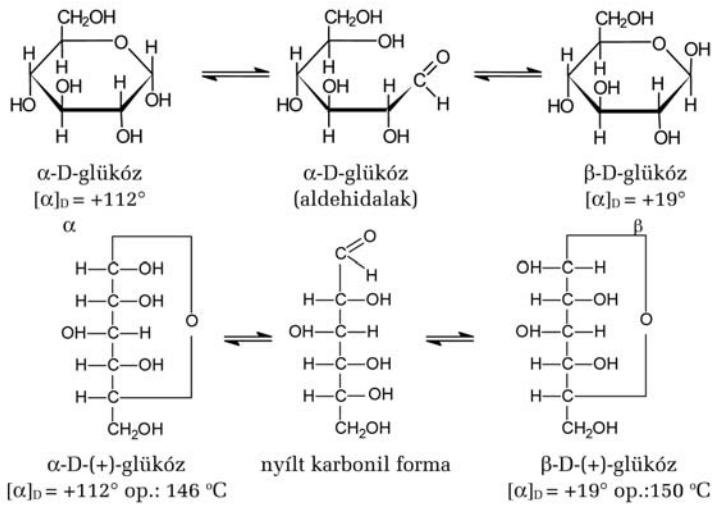
2.2. ábra. A glükóz és a fruktóz különböző módon írt képletei

rendelkeznek, azaz a D-glükóznak  $\alpha$ - és  $\beta$ -izomerjei (2.2. ábra) lehetnek. Az izomériának ezt a fajtáját anomériának hívják.

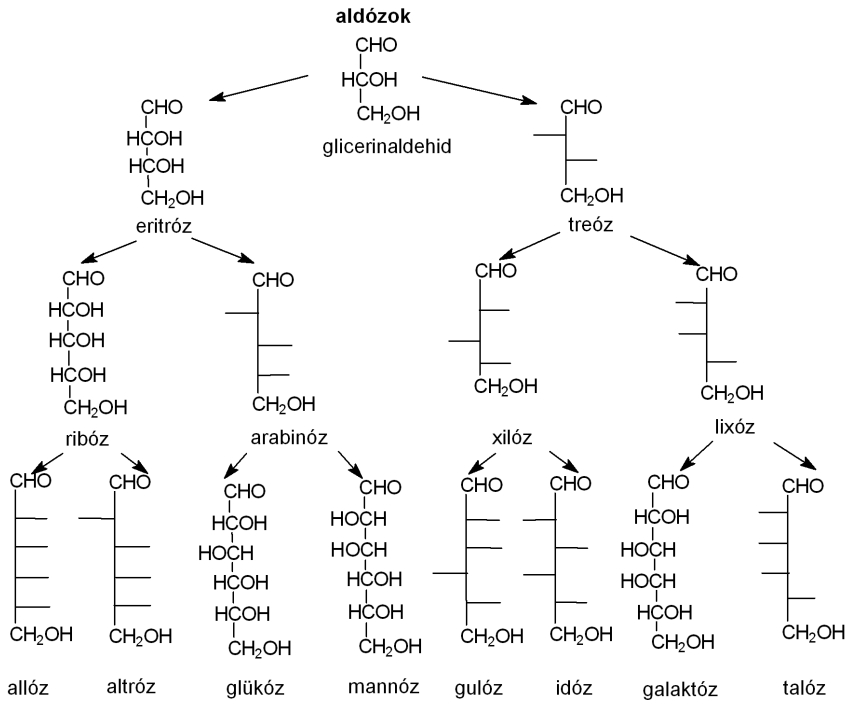
A D-glükóz  $\alpha$ - és  $\beta$ -anomerjének elemi összetétele megegyezik, de a specifikus optikai forgatásuk eltér. Az  $\alpha$ -D-glükóz esetében az  $[\alpha]_D^{20} = +112,2^\circ$ , a  $\beta$ -D-glükóz esetében az  $[\alpha]_D^{20} = +18,7^\circ$ . Ha bármelyik anomert vízben oldjuk, annak optikai forgatása mindaddig változik, amíg a  $+52,7^\circ$  egyensúlyi értéket el nem éri. Ezt a folyamatot *mutarotációnak* nevezzük (2.3. ábra).

Az egyensúlyi elegyben 1/3 rész  $\alpha$ -D-glükóz és 2/3 rész  $\beta$ -D-glükóz van jelen. A mutarotáció jelensége arra utal, hogy a karbonilcsoport szén-atomja is aszimmetriássá vált, ami zárt, gyűrűs forma kialakulásával magyarázható. A karbonil-oxigén ily módon „hidroxillá” alakul, amelyet glikozidos hidroxilnak hívunk. A glikozidos hidroxil az alkoholos hidroxiloknál sokkal reakcióképesebb, reaktivitása az alkohol és az aldehidcsoport közé esik. Az átalakulás a hemiacetál-képzéssel analóg, ahol az alkohol aldehiddel reagál, miközben a szénatom aszimmetriássá válik (2.5. ábra).

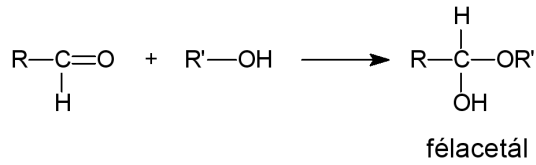
A félacetál-keletkezés következtében az aldohexózokból hatatamos, a piránnal analóg szerkezetű, zárt alak keletkezik, az ún. glükopiranoz,



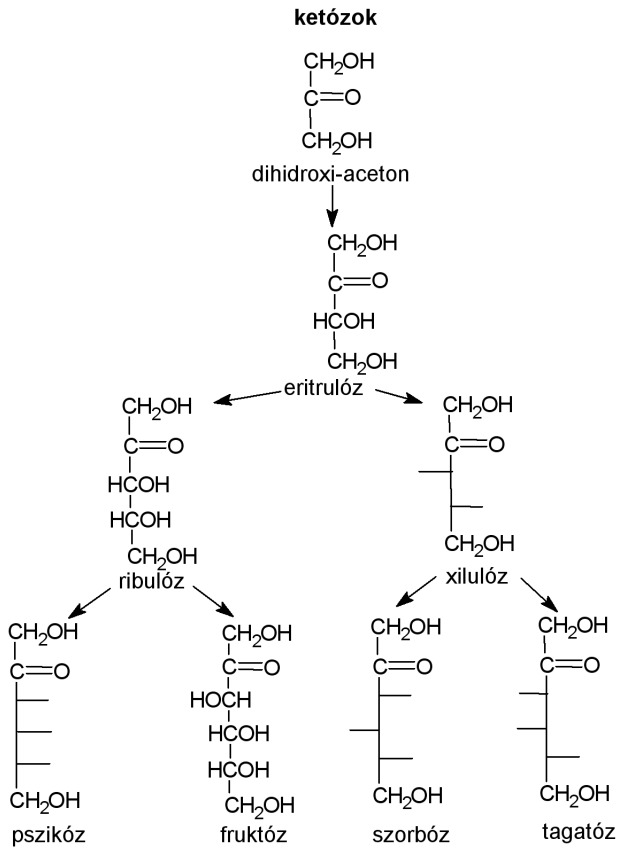
2.3. ábra. A glükóz mutarotációja



2.4. ábra. A D-aldózok szerkezete és neve



2.5. ábra. A félacetál szerkezet kialakulása



2.6. ábra. A D-ketózok szerkezete és neve

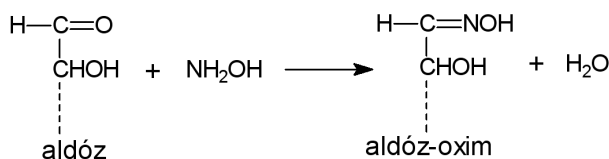
a ketohexózokból ötatomos, a furánra emlékeztető, zárt forma, a fruktofuranóz alakul ki. Csak az öt, vagy ötnél több szénatomos cukrokból alakul ki gyűrűs alak. A cukrok gyűrűs szerkezete nem sík, hanem szék vagy kád konfigurációjú, melyek közül a szék alak a stabilabb. A D-glicerinaldehid (aldocukor) és a dihidroxi-aceton (ketocukor) foszfátészterei a szénhidrátlebontás közti termékei. A négy szénatomos D-eritróz foszfátésztere a pentóz-foszfát kör tagja. A D-ribóz a ribonukleotidok és a ribonukleinsavak szénhidrát komponense, míg a 2-dezoxi-D-ribóz a dezoxi-ribonukleinsavak alkotórésze. Az L-arabinóz és a D-xilóz különféle növényi és bakteriális poliszacharidok építőeleme.

A D-glükóz (más néven szőlőcukor vagy dextróz) polimer formában a növényi és állati poliszacharidok (glikogén, keményítő, cellulóz) építőeleme. A D-mannóz a mannánok alkotórésze. A D-galaktóz a tejcukor, a glikozidok és a galaktán alkotórésze. Az agyban és az idegsejtekben előforduló szfingolipidek cukorkomponense a D-fruktóz (más néven levulóz vagy gyümölcscukor), a szacharóz egyik komponense. Fruktóz-egységekből épül fel az inulin, a fészkesvirágzatúak tartalék tápanyaga. A heptózok és az októzok foszfátészterei a pentóz-foszfát körben és a fotoszintézisben vesznek részt.

## 2.1.1. A monoszacharidok kémiai reakciói

### 2.1.1.1. Az oxocsoportok reakciói karbonilreagensekkel

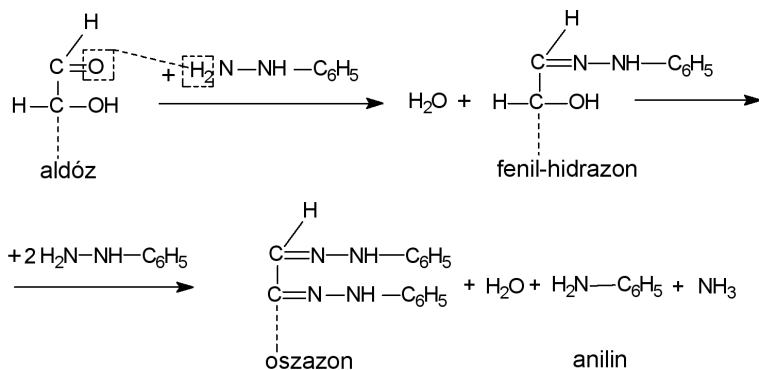
Az oxovegyületekre jellemző reakciók közül a monoszacharidok is adnak néhányat, ami azzal függ össze, hogy oldatukban, ha kis mennyiségben is, de mindig jelen van a nyílt szénláncú molekula. Hidroxil-aminnal az egyszerű cukrok vízben jól oldódó cukor-oximok képződése közben kondenzációs reakcióba lépnek (2.7. ábra).



2.7. ábra. Az aldózok reakciója hidroxil-aminnal

A cukor-oximokat redukálva glükaminok képződnek, a D-glükóz-oximból D-glükamin. A glükaminok a B<sub>2</sub>-vitamin és az ezzel analóg

típusú vegyületek szintézise, továbbá a nedvesítőszeres és a vízben oldódó gyógyszerek előállítására szempontjából fontosak.



2.8. ábra. Az aldózok reakciója fenil-hidrazinnal

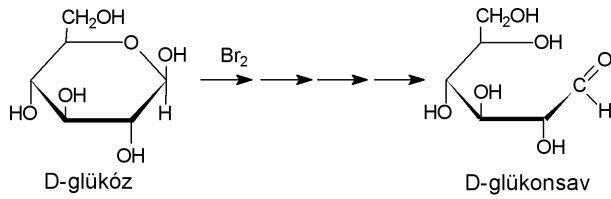
Fenil-hidrazinnal monoszacharidokat reagáltatva savanyú közegben kondenzációs reakció megy végbe, és az oxovegyületek fenil-hidrazonja képződik. Főlegesen adott fenil-hidrazinnal a reakció tovább megy, és oszazonhoz jutunk (2.8. ábra).

#### 2.1.1.2. Az egyszerű cukrok oxidációja

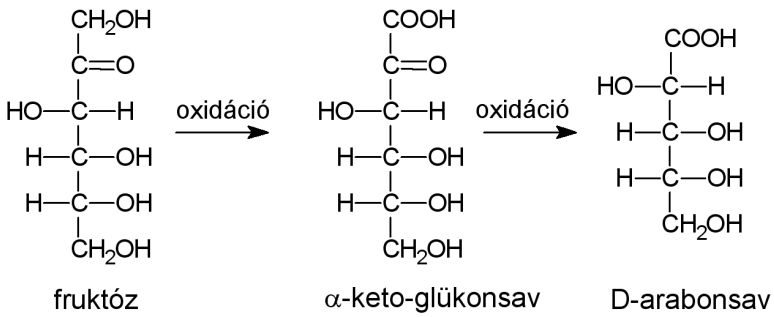
A monoszacharidok többféle származékká oxidálhatók. A végtermék függ az oxidálószerrel, az oxidáció körülményeitől és attól, hogy aldóz vagy ketóz a kiindulási vegyület. Élelmiszer-kémiai szempontból legfontosabb oxidált termékek a  $\text{C}_1$ -en, a  $\text{C}_6$ -on és a  $\text{C}_1+\text{C}_6$ -on oxidált savszármazékok. Savanyú közegben enyhe oxidációs hatásra vagy semleges, illetve lúgos közegben brómmal oxidálva az aldóz típusú vegyületekből a  $\text{C}_1$ -en oxidált savszármazékok, illetve laktonok keletkeznek. A  $\text{C}_1$ -en oxidált termék az aldonsav, amelynek nevét a szénhidrát tövéből az -onsavval képezzük. Így lesz például a glükózból glükonsav (2.9. ábra).

Ketózoknál az előzőekben ismertetett folyamat nem megy végbe. Erélyesebb oxidációnál keto-uronsav képződik, amely lánchasadással bomlik, kisebb szénatomszámú aldonsav keletkezése közben (2.10. ábra).

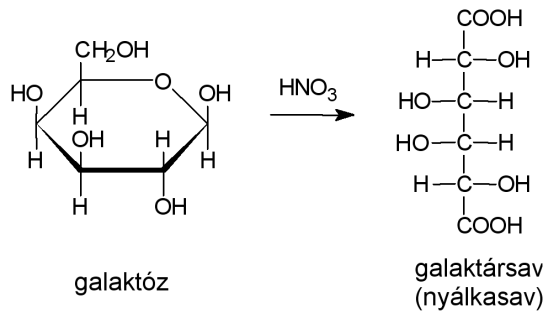
Az aldonsavak erélyesebb körülmények között a  $\text{C}_6$ -on is oxidálódnak, és 1,6 dikarbonsav, a cukorsavnak, illetve glikársavnak nevezett termék keletkezik. A galaktóz oxidálódását galaktársavvá a 2.11. ábra mutatja.



2.9. ábra. A D-glükóz oxidációja D-glükonsavvá

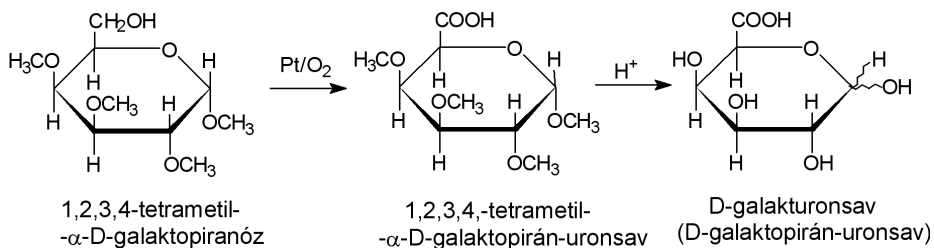


2.10. ábra. A fruktóz oxidációja

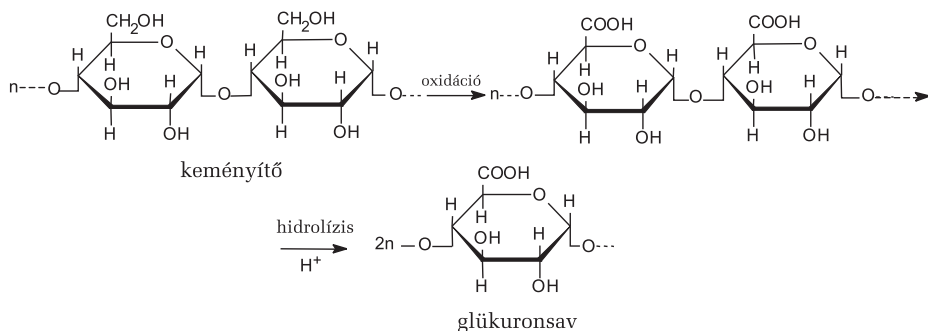


2.11. ábra. A galaktóz oxidációja salétromsavval

Fontos vegyületek a  $C_6$ -on oxidált monoszacharid-származékok, az uronsavak és a ketosavak. Uronsav előállítható az aldóz oxidációjával úgy, hogy az OH-csoportokat blokkolják, és csak a  $-CH_2OH$ -csoport marad változatlan. A 2.12. ábra a galakturonsav előállítását mutatja a galaktóz acetillel tetrametilezett származékának oxidációjával, majd az étercsoport hidrolízisével. A glükuronsav ipari előállítása során glükózpolimert oxidálnak, majd savas hidrolízis következik (2.13. ábra).



**2.12. ábra.** A galaktóz oxidációja tetrametil-származékon keresztül galakturonsavvá

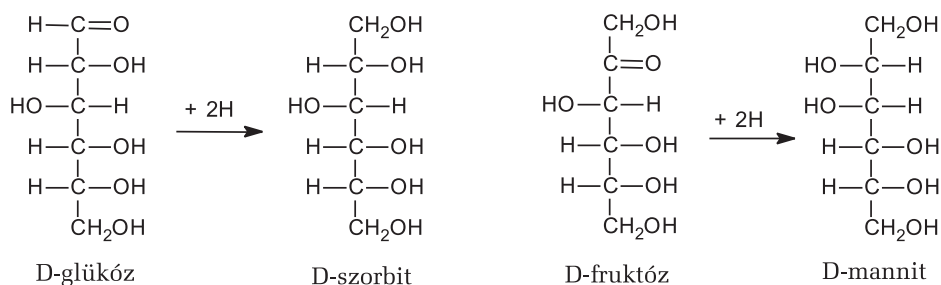


**2.13. ábra.** A keményítő oxidációja glükuronsavvá

A cukrok redukáló tulajdonságú vegyületek, amelyek alkalmas felletelek mellett képesek redukálni különböző fémvegyületeket, pl.  $\text{Ag}^+$ -ionokat fém-üstté vagy  $\text{Cu}^{2+}$ -ionokat  $\text{Cu}^+$ -ionokká. Ezen tulajdonságukat széles körben alkalmazzák kimutatásukra, illetve mennyiségi meghatározásukra.

### 2.1.1.3. Monoszacharidok redukciója

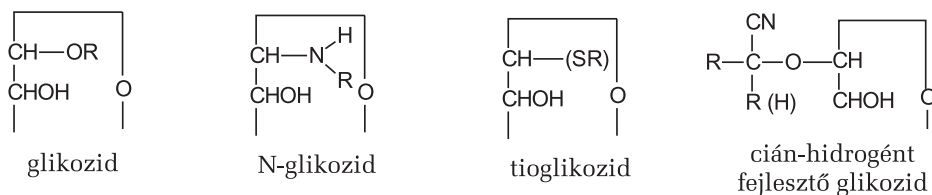
Az egyszerű cukrok enyhe redukív hatásra gyengén savanyú közegben polialkoholokká, ún. cukoralkoholokká redukálódnak. Aldóz típusú cukrok redukálásakor nem alakul ki új aszimmetriacentrum, a ketóz típusúaknál viszont igen. A hexózok redukcióját cukoralkoholokká a 2.14. ábra mutatja.



2.14. ábra. A D-glükóz és a D-fruktóz redukciója cukoralkohollá

### 2.1.1.4. Glikozidképzés

A glikozidképződés során a cukor glikozidos hidroxilcsoportja alkohollal, fenollal, tioalkohollal, tiofenollal vagy aminnal lép kondenzációs reakcióba. Az új molekulában a cukor részt glikonnak, a nem cukor részt aglikonnak hívjuk. Az aglikon típusától függően a glikozidos szénatomhoz kapcsolódó atom lehet oxigén, nitrogén vagy kén, s ettől függően nevezzük a vegyületet glikozidnak, illetve O-glikozidnak, N-glikozidnak vagy tioglikozidnak. A glikozidképzési reakcióban nyílt szénláncú cukormolekula vesz részt, majd kialakul a laktongyűrű, amely a cukrokhoz



2.15. ábra. A különböző szerkezetű glikozidok



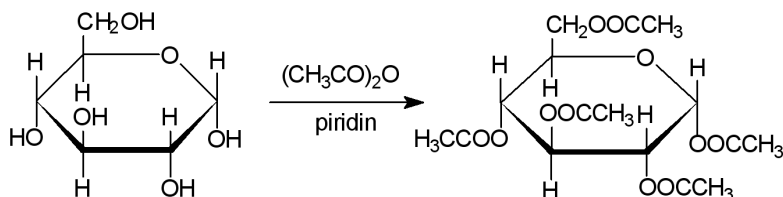
hasonlóan furanozid vagy piranozid, az aglikonrész konfigurációja pedig  $\alpha$ - vagy  $\beta$ -glikozid lehet. A glikozidok képződését és általános szerkezetét a 2.15. ábra mutatja.

### 2.1.1.5. Éterképzés

Alkalmas körülmények között az egyszerű cukrok hidroxilcsoportjai éteresíthetők. Legfontosabbak a metil-éterek, amelyeket cukrokból dimetil-szulfáttal vagy metil-jodiddal állíthatunk elő.

### 2.1.1.6. Észterképzés

A cukrok szerves és szervetlen észterei egyaránt előállíthatók. Az acetilészter-képzés ecetsavanhidriddel piridin jelenlétében a 2.16. ábra szerint megy végbe. A bemutatott reakción túl lehetőség van az egyes hidroxilcsoportok szelektív acetilezésére is, a többi hidroxilcsoport átmeneti védelmével. A szervetlen észterek közül különösen a foszfát- és szulfát-észterek a jelentősek.



2.16. ábra. Acetilészter-képzés ecetsavanhidriddel

### 2.1.1.7. Cukoranhidridek és anhidrocukrok képződése intramolekuláris vízvesztéssel

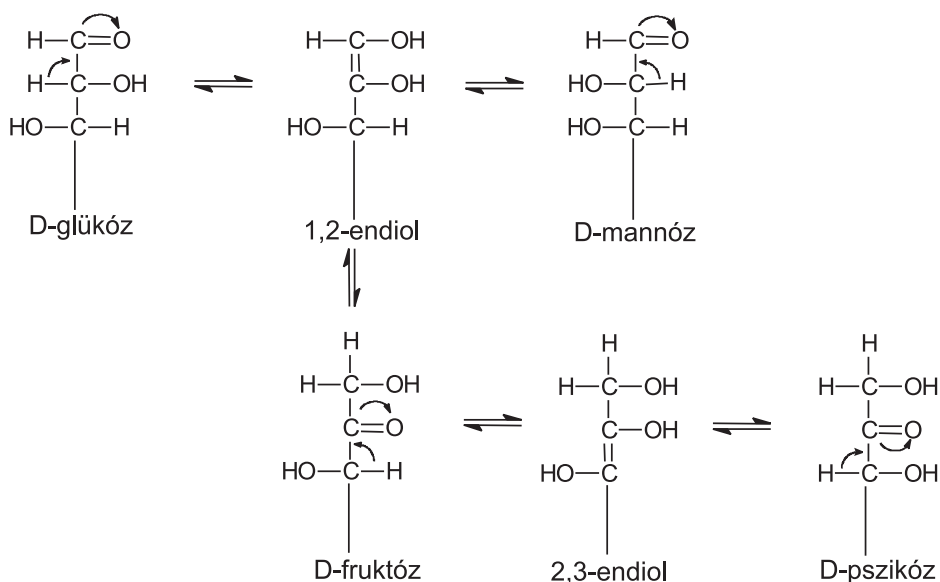
Alkalmas feltételek mellett a cukormolekula kedvező térállású csoportjaiból víz léphet ki. Ha a folyamatban a glikozidos hidroxilcsoport az egyik reakciópartner, akkor belső glikozid, cukoranhidrid képződik. Vízvesztés bekövetkezhet alkoholos hidroxilcsoportok között is, amelyek során anhidrocukrok vagy más néven belső észterek keletkeznek.

### 2.1.1.8. Reverzió

A reverzió a monoszacharidok intermolekuláris vízvesztése, valójában kondenzáció. A reverzió aldózoknál csak savanyú közegben megy végbe, ami egyensúlyhoz vezető folyamat. Az új termékre jellemző az 1→6 kötés, de előfordulhat az 1→3, az 1→2 és az 1→1 kapcsolódás is. A reverzió során ketózokból nem redukáló dianhidridek képződnek.

### 2.1.1.9. Endiolképződés, izomerizáció

Monoszacharidok és redukáló diszacharidok enyhén lúgos oldatában melegítés hatására a molekula oxo formája enolizálódik, aminek során endiol képződik. A dienolszerkezeten keresztül a cukorizomer átalakulhat, így egy cukorból több cukorizomerhez jutunk. Glükózból pl. az 1,2-dienolon át alakulhat ki mannóz, fruktóz, a fruktózból képződő 2,3-dienolból pedig pszikóz. Az átalakulásokat a 2.17. ábra mutatja.

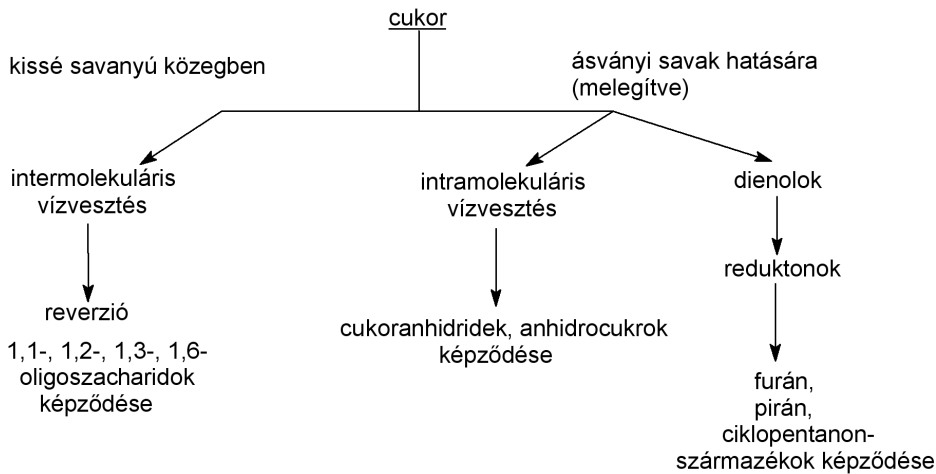


2.17. ábra. Cukorizomerek kialakulása dienolszerkezeten keresztül

### 2.1.1.10. A cukrok átalakulásai savanyú közegben

A monoszacharidok 3–7 pH-tartományban viszonylag stabil vegyületek. Savanyú közegben egymással párhuzamosan a 2.18. ábra szerinti három változás megy végbe:

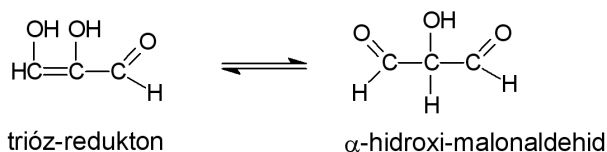
- a reverzió,
- az intramolekuláris vízvesztéssel cukoranhidridek és anhidrocukrok képződése,
- az enolizáció és a dienolok átalakulásai.



2.18. ábra. A cukrok átalakulásai savanyú közegben

A cukrok enolizációját valójában bázis katalizálja, azonban ha lassan is, de alacsony pH-n is megindul az átalakulás. A keletkezett enoldiolból savanyú közegben protonkatalízissal  $\beta$ -eliminációval könnyen víz hasad le, és több lépcsőben meg van a lehetősége a molekulák átrendeződéseinek. A fenti folyamatok a 2-ketózoknál gyorsabbak, mint az aldózoknál, ezért a fruktózból pl. több reakciótermék képződik, mint a glükózból. Ezt a tényt a fruktózok szélesebb körű élelmiszer-ipari felhasználásánál feltétlenül figyelembe kell venni. A képződött termékek közül kitüntetett szereppel bír a diacetil-formozin, egy olyan vegyület, amelyben a karbonilcsoport szomszédságában endiolcsoport található. Az ilyen típusú vegyületeket reduktonoknak nevezzük, amelyekre jellemző, hogy savanyú közegben hidegen is erőteljesen redukáló hatásúak, miközben dehidroszármazékká alakulnak. A reduktonokat az élelmiszer-

iparban antioxidánsként alkalmazzák; az egyik legjelesebb képviselőjük az aszkorbinsav. A trióz-redukton és az  $\alpha$ -hidroxi-malonaldehid tautomer egyensúlyát a 2.19. ábra mutatja.



**2.19. ábra.** A trióz-redukton és az  $\alpha$ -hidroxi-malonaldehid egyensúlya

#### 2.1.1.11. A cukrok változásai bázikus közegben

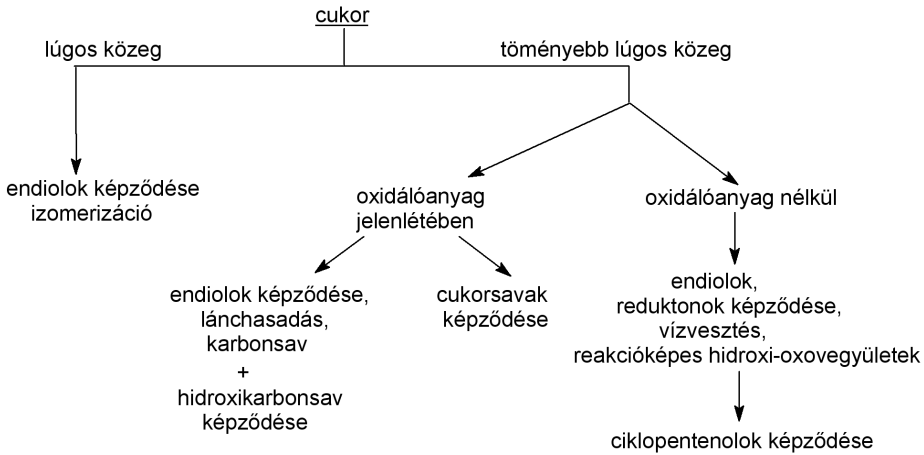
Lúgos közegben báziskatalízis hatására a cukrokból endiolok képződnek, majd ezek a pH-tól és a rendszerben lévő oxidálóanyagoktól függően három irányban alakulhatnak át. Ennek során végbemehet:

- izomerizáció,
- oxidációval kisebb szénatomszámú karbonsavak, oxikarbonsavak képződése,
- oxidáció nélkül vízvesztés, láncszakadás és egyéb szekunder reakciótermékek képződése.

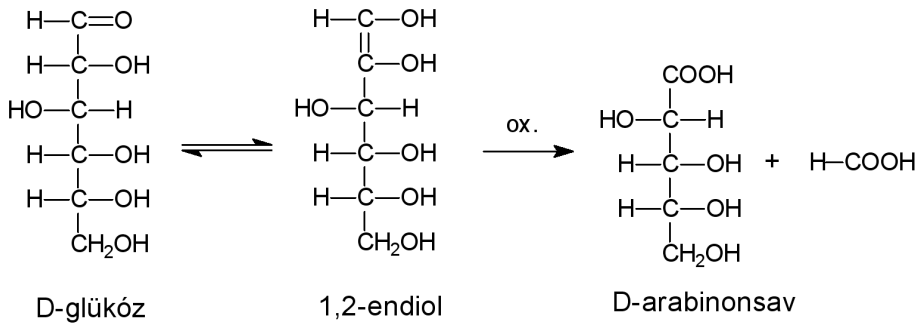
A cukrok főbb változásait lúgos közegben a 2.20. ábra mutatja.

Az oxidációs változások kiindulási termékei az endiolok, amelyek erős bázisos közegben oxidálóanyagok hatására felszakadnak, két új sav keletkezése közben. A glükóz oxidációs termékei a hangyasav és a D-arabinonsav; a reakció lejátszódását a 2.21. ábra mutatja.

Ha a 8–10 pH-jú közegben nincsenek meg az oxidáció feltételei és különösen melegítés hatására az endiolok a kettős kötés mentén felszakadnak, amelynek során nagyon reakcióképes hidroxialdehidek, illetve hidroxiketonek képződnek. Az enolizáció az egész cukormolekulán végigmehet, sőt enolizáció történhet az új hidroxialdehid és hidroxiketon molekulákon is, ezért nagyon sokféle hidroxioxo-bomlástermék képződhet. Jellemzőjük a nagy reakciókészség, könnyen kondenzálódnak, és két aldehidből lúg hatására egy alkohol és egy karbonsav jöhet létre. A keletkezett sok új vegyület közül legjelentősebbek a karamell aromájú ciklopentanol-származékok.



2.20. ábra. A cukrok átalakulásai lúgos közegben



2.21. ábra. A glükóz oxidációja lúgos közegben

### 2.1.1.12. Karamellizáció

A kristályos cukrot vagy vizes oldatát hevítve jellegzetes aromájú, barna színű termék, a karamell keletkezik. A folyamat különösen 130 °C felett intenzív, de már 100 °C alatt is elkezdődik. A karamellizálódáskor szóba jöhető folyamatok az inverzió, az oxo-ciklo-tautóméria, az aldózetőz-izomerizáció, az intramolekuláris vízvesztés (cukoranhidridek és anhidrocukrok képződése), az intermolekuláris vízvesztés (reverzió), endiolok dehidratációjá és reduktonok képződése. A reakció előrehaladásával különféle telítetlen származékok kondenzációjával a ciklizálódás során heteromolekulák keletkeznek. Így jönnek létre a különféle, barna színű, telítetlen polimerek, a furánszármazékok, a kifejezetten karamell aromájú diacetil-formozin és a ciklopentenolok.

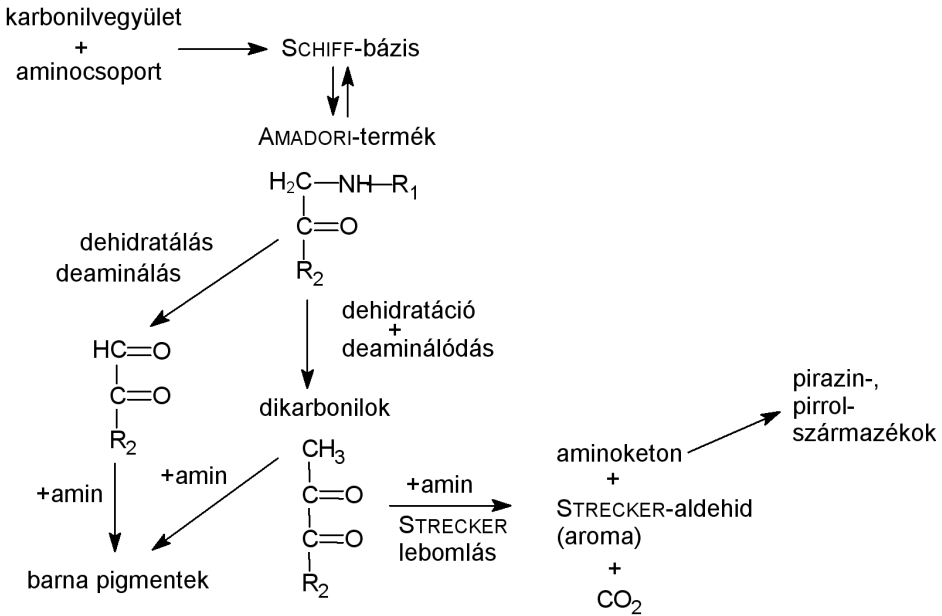
A karamellből mintegy 100 összetevőt azonosítottak; összetételére jellemző a nagy reduktontartalom, ezért erősen redukáló hatású. A karamell az élelmiszeriparban színezékként és aromának is használják. Színének mélysége és aromája a készítés körülményeivel befolyásolható. Glükózszirupot pl. ammónia jelenlétében kénsavval hevítve olyan karamell képződik, amely 1500-szoros hígításban is jó színező hatású. A karamell tehát cukorkák, italok ízesítésére és színezésére használható.

### 2.1.1.13. Maillard-reakció

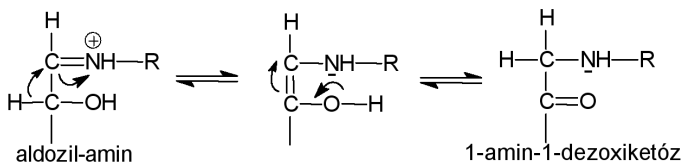
A monoszacharidok, általánosságban pedig a redukáló szénhidrátok szabad aminocsoporttal reagálva, megfelelő körülmények között, bonyolult, többirányú reakcióból álló változáson mennek keresztül, amelynek során aromakomponensek és barna színű pigmentek, melanoidinek keletkeznek. A folyamatot nem enzimés barnulásnak (NEB) vagy a reakció első tanulmányozójáról Maillard-reakciónak nevezzük. A nem enzimés barnulás folyamatainak vázlatos összefoglalása a 2.22. ábrán látható.

A reakció során első lépésként az amin a karbonilcsoportra addicionálódik, majd vízkilépéssel imin, ezt követően ciklizálódással glikozilamin képződik. Savas katalízis esetén végbemegy az *Amadori*-átrendeződésként ismert folyamat, melynek során az aldóz típusú vegyületek 1-amino-1-dezoxi-ketózzá alakulnak, amelyet *Amadori-vegyület*nek is hívunk. Az *Amadori*-átrendeződést a 2.23. ábra mutatja.

Az *Amadori*-vegyület számos élelmiszerben, különösen szárított gyümölcs- és zöldségfélében, valamint tejporban is kimutatható. Az *Amadori*-vegyületben kötött aminosavak az emésztőenzimek számára

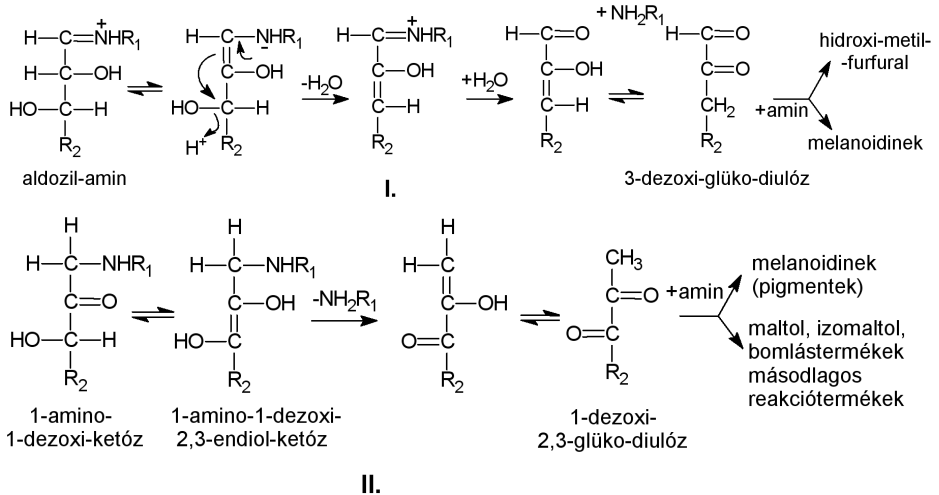


2.22. ábra. A nem enzimes barnulás folyamatai



2.23. ábra. Az aldózamin Amadori-átrendeződése

nem hozzáférhető, ezért rontják az élelmiszer fehérjeértékét. A glikozilamin és az *Amadori*-termék azonban csak kiindulási vegyületek a nem enzimés barnulásban. A *Maillard*-reakció legfontosabb átalakulásait a 2.24. ábra mutatja.



2.24. ábra. A *Maillard*-reakció fő folyamatai

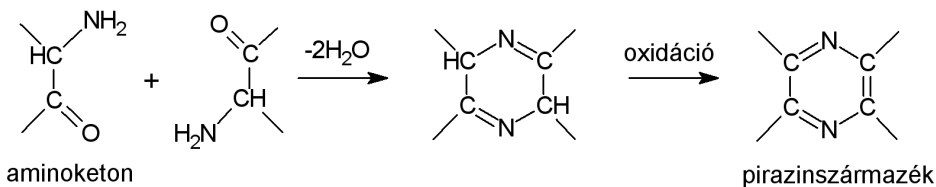
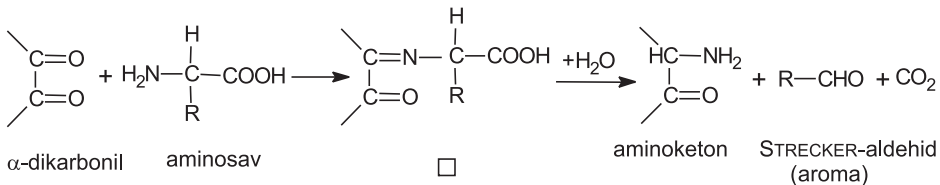
Az I-gyel jelölt reakcióban aldoszil-aminból 3-dezoxi-glükó-diulózra keresztül hidroxil-metil-furfural keletkezik. A diulóz a rendszerben jelen lévő aminokkal reagál, és barna pigmentek, melanoidinek képződnek.

A II. átalakulások során az 1-dezoxi-2,3-glükó-diulózból maltol, izomaltol és különböző egyéb bomlástermékek is keletkezhetnek, és még az aminokkal is reakcióba léphet színyanyagok képződése közben. Az ismertett két folyamat közül a I. a domináns.

Az átalakulásnál keletkezett  $\alpha$ -dikarbonil-származékok további reakciósort indítanak el. Aminosavakkal reagálva lejátszódik a *Strecker*-féle lebontás, amelynek során aldehidek és aminoketonok jelennek meg a rendszerben (2.25. ábra). A *Strecker*-aldehidek aroma jellegű vegyületek. Az aminoketonok rendkívül reakcióképes anyagok, amelyek könnyen átalakulnak pirazin- vagy pirrolszármazékokká, és további kémiai folyamatok kiindulási vegyületei is lehetnek. Az utóbbi években több száz *Maillard*-reakcióterméket sikerült izolálni, amelyek közül a nagyobb hányad pigment, a kisebb hányad pedig aroma jellegű. A nem



enzimes barnulási folyamatoknak az ad nagy jelentőséget, hogy minden olyan élelmiszerben végbemegy, ahol jelen van redukálószacharid és szabad aminosóport. A reakció megindulásához kedvező, ha a karbonil és az aminosóport mólaránya 3:1. Az átalakulásokat a rendszer hőmérsékletének emelkedése rendkívül felgyorsítja. A *Maillard*-reakció sebessége a pH-tól is függ; a barnulási minimum pH=3–5 között van.



**2.25. ábra.** Az aminosavak Strecker-lebontása (I.) és az aminoketon átalakulása (II.)

A nem enzimes barnulás sok élelmiszer-technológiai folyamat (kávépörkölés, kenyérsütés) során előnyös, más esetben viszont (száritott, pirított élelmiszerek tárolása) hátrányos a szín- és aromaváltozás, amelyet minden esetben fehérjevesztés is kísér. A *Maillard*-vegyületek alkalmazásával kísérleteznek pl. a hús és gabonai termékek ízének javítását célozva, és a redukáló hatású reakciótermékek antioxidánsként való alkalmazása is felmerült a hús- és húsiipari termékekénél. A glükóz és a hisztidin részvételével végbemenő folyamat végtermékei ugyanis a lipidek oxidációját szignifikánsan gátolják. A fentiekén túl a nem enzimes barnulási folyamat nagy mennyiségű termékei gátolják a patogén mikroorganizmusok szaporodását is.

### 2.1.2. Az élelmiszer-ipari szempontból fontosabb monoszacharidok ismertetése

A monoszacharidokat a szénatomok száma szerint csoportosítva ismertetjük. A monoszacharidok szintelen, szagtalan, többnyire kristályos vegyületek. Általánosságban jellemzi őket, hogy vízben és minden, nagy dielektromos állandójú oldószerben nagyon jól oldódnak, az anomerek oldhatóságában azonban nagy eltérés lehet, pl. a  $\beta$ -laktóz oldhatósága jóval nagyobb az  $\alpha$ -laktóznál. A monoszacharidok általában édes ízűek, de van közöttük íztelen és édes-keserű ízű is.

#### 2.1.2.1. A triózok

A triózok ( $C_3H_6O_3$ ) a legegyszerűbb szénhidrátok; lehetnek aldo- és ketotriózok. Az aldotriózok közül a *glicerin aldehid*, a ketotriózok közül pedig a *dihidroxi-aceton* ismert vegyület, amely az élő szervezetek működésének számos területén megtalálható.

#### 2.1.2.2. A tetrózok

A tetrózok ( $C_4H_8O_4$ ) kevésbé jelentős szénhidrátok; legismertebb képviselőjük a *D-eritróz*, amely csak az eritróz-4-foszfát intermedier anyagcseretermékként fordul elő. A *D-treóz* szintelen vegyület, szirup-szerű állapotban vagy tű alakú kristályok formájában jelentkezik.

#### 2.1.2.3. A pentózok

A pentózok ( $C_5H_{10}O_5$ ) szabad állapotban ritkán fordulnak elő; a pentozánok építőkövei. *Legfontosabb képviselőik a xilóz, az arabinóz és a ribóz.*

A *D-xilóz* aldopentóz a hemicellulózok építőelemeként van jelen a fában, szalmában; az elfásodott növényi képletek egyik jellemző poliszacharidjának, a xilánnak az alkotórésze, ezért facukornak is nevezzük. Glikozidjai is igen elterjedtek. *A hemicellulóz hidrolízisével állítják elő.*

Az *L-arabinóz* is aldopentóz, amely a növényvilágban nagyon elterjedt, könnyen előállítható a cseresznyemézga hidrolízise útján, de megtalálható egyéb mézgafeleségekben, a pektinben, a hemicellulózban, a glikozidokban és a gumifélékben is. A *D-arabinóz* a répaszeletben fordul elő.

A *D-ribóz* aldopentóz, a nukleinsavak, a nukleotidok és a nukleozidok fontos komponense, amelyekben N-glikozidos kötésekkel kapcsolódik. *Részt vesz a B<sub>12</sub>-vitamin felépítésében is, és a 2-dezoxi-ribóz származéka révén a dezoxiribonukleinsavak alkotórésze.*

#### 2.1.2.4. A hexózok

A hexózok (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) csoportjába tartoznak a legfontosabb egyszerű cukrok. Részben szabadon, főként azonban oligo- és poliszacharidok összetevőiként fordulnak elő. *A hexózok legfontosabb képviselői a glükóz, a mannóz, a galaktóz, a fruktóz és a szorbóz.*

A glükóz fehér színű, kristályos anyag. Vízből  $\alpha$ -D-glükopiranoz, piridinből  $\beta$ -D-glükopiranoz formában kristályosítható ki. Vizes oldatban 37,3%  $\alpha$ -piranoz, 62,6%  $\beta$ -piranoz, 0,1%  $\beta$ -furanóz és 0,002% aldehid formát mutat. Vízből monohidrátot, alkoholból vízmentes kristályokat nyerhetünk. *Oldata a poláros fény síkját jobbra forgatja, ezért a glükózt dextróznak is nevezik.* Édes ízű, de édesítőképessége nem éri el a répacukorét. Szabad állapotban édes gyümölcsökben, egyéb növényi részekben és a mézben található, valamint a vérnek is állandó komponense. Szőlőcukornak azért nevezik, mert a szőlő nagy mennyiségben tartalmazza, és a must bepárlásával kristályosan is kinyerhető belőle.

A *D-glükóz* sokkal nagyobb mennyiségben található kötött állapotban, mivel a két legelterjedtebb poliszacharidnak, *a keményítőnek és a cellulóznak az építőköve.* Az emberi és az állati szervezetben fontos szerepet betöltő glikogén *D-glükózból polimerizálódik, és D-glükózt tartalmaz a szacharóz, a maltóz és a tejcukor is.*

A *D-glükózt* nagyipari méretekben keményítóből, savas vagy enzim hidrolízissel, ritkábban cellulózból savas hidrolízissel állítják elő. A tiszta szőlőcukrot felhasználják a gyógyászatban, cukoráruk készítésére, gyümölcskonzervek, gyümölcszörpök ízesítésére. A glükóz számos erjedési folyamat, így a szeszgyártás, a tejsavas erjedés, a propionsavas erjedés és a butanol-aceton erjedés alapanyaga. A *D-glükóz* életteni szempontból is nagyon fontos vegyület, mert számos anyagcsere-folyamatban vesz részt. *Az ember glükózsüksége naponta 110–130 g, amely a szervezetben lebomolhat anaerob vagy aerob módon.* A szervezet glükózháztartását a máj szabályozza, hisz a glükózfőleg a májban raktározódik, glikogén formájában. Alacsony vércukorszint esetén a glikogénből glükóz szabadul fel.

A *D-mannóz* piranóz szerkezetű, kristályos vegyület, amelynek mind az  $\alpha$ -, mind a  $\beta$ -izomerje ismeretes. A természetben többnyire a poliszacharid mannánok építőköveként fordul elő. A mannánok nagyobb mennyiségben túlevelű fákban, csonthéjas magvak csonthéjában, a szentjánoskenyérben és egyes összetett fehérjékben található meg.

A *galaktóz* D és L formája egyaránt előfordul a természetben, a D-galaktóz jelentősége azonban nagyobb. A D-galaktóz piranóz szerkezetű, amelynek mind az  $\alpha$ -, mind a  $\beta$ -izomerje ismeretes. A D-galaktóz kötött állapotban igen elterjedt, az oligoszacharidok közül megtalálható többek között a laktózban és a raffinózban, ezenkívül a poliszacharidokban (galaktánokban), a cerebrozidokban és a mannóz mellett egyes szénhidrát-tartalmú fehérjékben is. Az L-galaktóz a karragén poliszacharidban mutatható ki.

A *D-fruktóz* (levulóz, gyümölcscukor) furanóz típusú ketóz, amelynek mind az  $\alpha$ -, mind a  $\beta$ -izomerje ismeretes. *Mindkét izomer balra forgatja a poláros fény síkját, ezért kapta a levulóz elnevezést is.* Gyümölcscukornak is nevezzük, mert a növényvilágban különösen a gyümölcsökben nagyon elterjedt, de megtalálható csaknem minden növényi részben, és nagy mennyiségű fruktózt tartalmaz pl. a méz is. A fruktóz jól oldódó, nehezen kristályosodó, a legédesebb cukorféleség. Kötött formában több oligoszacharid (szacharóz, raffinóz) építőköve, és fruktózmolekulák alkotják a fruktozánoknak nevezett poliszacharidokat is, amelyek legismertebb képviselője az inulin, ami a fészkesvirágúakban a tartalék szénhidrát szerepét tölti be. A fruktózt korlátozott mértékben a cukorbeteg is fogyaszthatja, és az egészségesek étrendjében is előnyösebb a szacharóznál, mert nagyobb édesítőképessége miatt ugyanaz az élvezeti érték kevesebb cukorral is elérhető. Magyarországon csicsókából állítják elő; megfelelő hidrolízis és tisztítás után mintegy 50% fruktózt tartalmazó szörpöt kapnak.

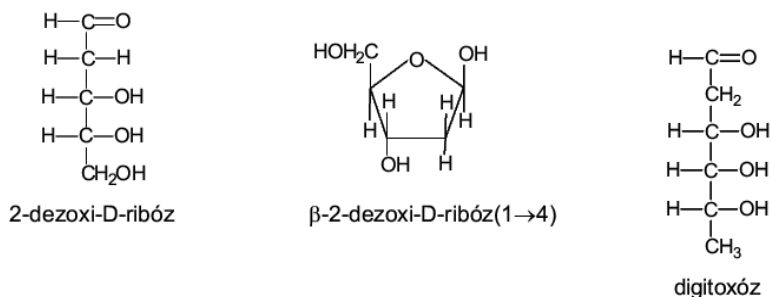
A hét és kilenc szénatomos cukrok a pentózoknál és a hexózoknál kisebb jelentőségűek.

## 2.2. Monoszacharid-származékok

A monoszacharid-származékok az egyszerű cukrokból levezethető vegyületek, amelyek a cukormolekulák karbonilcsoportjának (glikozidos-hidroxil) vagy alkoholos hidroxilcsoportjának reakciói révén keletkeznek.

### 2.2.1. Dezoxicukrok

A dezoxicukrok olyan monoszacharid-származékok, amelyekben egy alkoholos hidroxilcsoport hidrogénatommal van helyettesítve (2.26. ábra). Ha két alkoholos hidroxilcsoportot helyettesít hidrogén, bisz-dezoxicukrot kapunk. Elnevezésükkor az alapvegyület nevében azt a szénatomot tüntetjük fel, amelyről az oxigén hiányzik, pl. 2-dezoxi-D-glükóz, vagy ha a láncvégi szénatom metilcsoportot képez, akkor ezt szubsztituensnek tekintjük, és az elnevezés e szerinti. A legfontosabb dezoxicukrok a láncvégen redukált aldohexózok, a 2-dezoxicukrok és a 2,6-bisz-dezoxicukrok. Ezek közül a 2-dezoxi-D-ribóz a dezoxiribonukleinsavak alkotórésze.

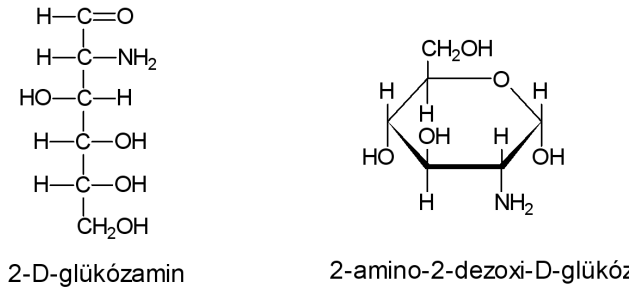


2.26. ábra. Dezoxicukrok

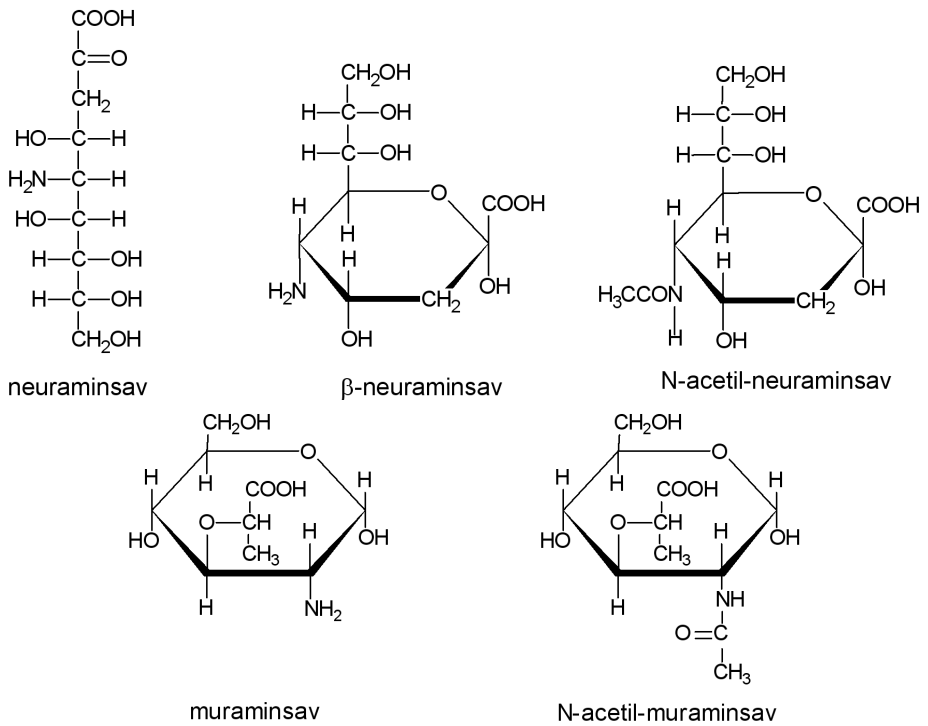
Az L-ramnóz (6-dezoxi-L-mannóz) sok természetes glikozid alkotórésze. Az L-fukóz (6-dezoxi-L-galaktóz) moszatokban és algákban előforduló, vízben és alkoholban jól oldódó dezoxicukor. A bisz-dezoxicukrok a digitális-glikozidok cukorkomponensei, mint amilyen pl. a digitoxóz (2,6-bisz-dezoxi-D-allóz).

### 2.2.2. Az aminocukrok

Az aminocukrok az egyszerű cukrok olyan származékai, amelyekben egy alkoholos hidroxilcsoportot egy aminocsoport helyettesít; valójában dezoxiaminok (2.27. ábra). Az aminocukroktól meg kell különböztetni a glikozil-aminokat, amelyekben a glikozidos hidroxilcsoportot helyettesíti az aminocsoport. Az aminocukrok viszonylag erős bázisok, sósavval jól kristályosodó hidrokloridot képeznek. A természetben legtöbbször N-acetil származékaik formájában találhatók meg. Előfordulnak a mu-



2.27. ábra. Aminocukrok



2.28. ábra. A neuraminsav és a muraminsav, valamint acetilezett származékaik

kopoliszacharidokban, az ember és az állat vércsoportját meghatározó anyagokban, állati nyálkaanyagokban és glikoproteinekben.

A *D-glükózamin* (2-amino-2-dezoxi-D-glükóz) a kitin alkotórésze. A kitin poliszacharid jellegű vegyület, amelynek egyetlen komponense a D-glükózamin, illetve annak acetálja. A sztreptomycinben a glükózamin N-metil-származéka található.

A *2-amino-2-dezoxi-D-galaktóz* a porcok összetett fehérjéinek jellegzetes összetevője. A 2-aminocukrok mellett vannak 3-amino- és bisz-aminocukrok is, amelyek főként az antibiotikumok komponensei. Így pl. a puromicin felépítésében a 3-dezoxi-3-amino-D-ribóz, a neomicin felépítésében pedig a 2,6-bisz-amino-2,6-bisz-dezoxi-D-glükóz vesz részt. A *neuraminsav* és annak *N-acetil-származéka* a muko- és lipopoliszacharidok szintézisében vesz részt. A muraminsav szintén aminocukorszármazék, amely számos baktérium és spóra sejtfalában megtalálható (2.28. ábra).

### 2.2.3. Cukorészterek

Az egyszerű cukrok szerves vagy szervetlen savakkal képzett észterei fontos cukorszármazékok.

A *szerves savakkal képzett észterek* az utóbbi időben nagy jelentőségre tettek szert; különösen igaz ez a cukrok nagy szénatomszámú zsírsavakkal alkotott észterekre. A mono- és diszacharidok mono- és diszír-savészterei felületaktív anyagok, és mivel nem mérgezők, széles körben alkalmazhatók az élelmiszeriparban lágyítóként és detergensként. Fermentált rizsből az arabit palmitinsav- és sztearinsav-észterét mutatták ki.

A természetes cukorészterek egyik legfontosabb képviselői a tanninok, amelyekben főként a D-glükóz galluszsav-, digalluszsav- és ellagsavészterei fordulnak elő. A tanninok felépítésében 1,4-digalloil-csoportokkal észteresített  $\beta$ -D-glükóz-egységek vesznek részt.

A *szervetlen savakkal képzett észterek* közül a kénsavészterek és a foszforsavészterek a jelentősebbek. A kénsavészterek a természetes poliszacharidok építőkövei, a biológiailag fontos mukopoliszacharidokban található. A heparinban a glükózamin kénsavésztere, a kondroitinben az N-acetil-galaktózamin-4-kénsavészter és az N-acetil-galaktózamin-6-kénsavészter fordul elő. Néhány alga poliszacharidjának összetevője a galaktóz-kénsavészter.

A cukorfoszfátészterek felépítésének jellemzője, hogy a cukormolekula valamelyik hidroxilcsoportja helyett foszfátcsoportot tartalmaz.

A cukrok foszforsavészterei a foszforsavnál erősebb savak. A foszforsavésztereknek rendkívül nagy a jelentőségük mind a növények, mind az állatok biológiai folyamataiban. A cukrok foszfátészterei fontos szerepet játszanak a szénhidrátok szintézisében és lebontásában. Ugyancsak tartalmaznak cukorfoszfát szerkezetű részleteket a nukleinsavak és bizonyos koenzimek is.

#### 2.2.4. Cukoréterek

Az egyszerű cukrok hidroxilcsoportjai megfelelő körülmények között éteresíthetők. A cukoréterek közül a legfontosabbak a metil-éterek, amelyek megtalálhatók többek között a szívre ható glikozidokban is. A cellulóz-éterekben a glükóz alkil-, hidroxil-alkil-, és karboxi-alkil-éterei fordulnak elő.

#### 2.2.5. Cukoralkoholok

A cukoralkoholok színtelen, édes ízű, higroszkopikus hatású, jól kristályosodó és a cukrokhoz hasonlóan oldódó vegyületek. Redukáló-csoport hiánya miatt a *Fehling*-oldatot nem redukálják, és nem vesznek részt a *Maillard*-reakcióban sem. Higroszkopikus tulajdonságuk miatt alkalmasak az élelmiszerek vízakaktivitásának csökkentésére, valamint nedvesítőként és lágyítóként is felhasználhatók. Adagolják a kristályosodás késleltetésére és a szárított élelmiszerek rehidratációjának javítására. Élelmezési szempontból a xilit, a szorbit, a mannit és a dulcitol bír jelentőséggel.

A természetben előforduló polialkoholok között a *D-szorbit* a legelterjedtebb. Vízben jól oldódik, vizes oldata semleges kémhatású, íze édes, a nyelven hűsítő hatást fejt ki. Hidegen híg savakkal, lúgokkal és a levegő oxigénjével szemben ellenálló. Savanyú közegben, katalizátor jelenlétében hevítve vízvesztéssel étert képez. Az iparban több helyen a glicerin helyett használják, és a C-vitamin-gyártás alapanyaga is. Származékai közül a zsírsavakkal alkotott észterei a legfontosabbak. A szorbit-oleát és a szorbit-monolaurát már 0,1%-ban is kitűnő habzást előidéző. A szorbit zsírsavészterei jó emulgeálószer, amelyeket a növényolajiparban krémalapanyagként használnak, mivel megakadályozzák a zsírkiválást a csokoládéban és a csokoládébevonattal készült termékekben. A szorbit előfordul körtében, almában, cseresznyében, szilvában,



őszibarackban és kajsziiban. A szőlő szorbittartalma igen kicsi, ami lehetővé teszi a szőlőbor más gyümölcsborral való hamisításának felderítését.

### 2.2.6. A monoszacharidok savszármazékai

A monoszacharidok savszármazékai közé tartoznak az aldonsavak, az uronsavak és a cukorsavak.

*Az aldonsavak.* Az aldóz típusú monoszacharidok olyan származékai, amelyekben az oxocsoport helyén karboxilcsoport van. Az így keletkezett hidroxikarbonsav-molekulák gyakran laktongyűrűs alakban fordulnak elő. A glükonsav az aldonsavak élelmezési szempontból legfontosabb képviselője; szirupszerű folyadék, tiszta állapotban színtelen, kristályos vegyület, vízben könnyen, alkoholban kevésbé oldható. Sóit glükonátoknak hívjuk. Köztitermékként előfordul a szénhidrátanyagcserében. A mézben a glükózból képződve a legnagyobb mennyiségben jelen lévő szerves sav.

*Az uronsavak.* Az uronsavak a négy vagy több szénatomot tartalmazó aldózokból vezethetők le úgy, hogy a véghelyzetű  $-\text{CH}_2\text{OH}$ -csoportot  $-\text{COOH}$ -csoporttá oxidálják. A *D-glükuronsav* szirupszerű, vízben oldódó vegyület, amely a májban, a glükóz oxidációja útján képződik. Fontos élettani szerepe, hogy a különböző mérgezőanyagokat képes megkötni és kiválasztani, így részt vesz a szervezet méregtelenítésében. Néhány állatnál a *D-glükuronsav* az aszkorbinsav szintézisének kiinduló vegyülete.

A *D-galakturonsav* a galaktóz oxidált származéka, a  $\beta$ -*D-mannuronsav* és az  $\alpha$ -*D-guluronsav* az alginátok összetevője.

*Cukordikarbonsavak (glükársavak).* A cukordikarbonsavak aldózokból származtathatók úgy, hogy a molekulában az oxocsoportot és a primer hidroxilcsoportot is karboxilcsoporttá oxidáljuk. A hidroxidikarbonsavakból különböző laktonok és dilaktonok képződhetnek. Legjellegzetesebb képviselőjüket, a glükársavat glükózból szintetizálja az *Aspergillus niger*. A galaktársav a cukorsavak egyik legismertebb képviselője; gyümölcsökben, algákban és borseprőben előforduló, nagyon rosszul oldódó vegyület.

### 2.2.7. A glikozidok

A glikozidok a növényvilágban nagyon elterjedt vegyületek; köztük nagyon sok élettani hatású vegyület, színezék, illatanyag, cserzőanyag

van. A természetes glikozidokat az aglikonrész alapján a következő csoportokba soroljuk:

- alkoholglikozidok,
- fenol- és enolglikozidok,
- N-glikozidok,
- tioglikozidok,
- cián-hidrogént fejlesztő glikozidok.

Az *alkoholglikozidokban* az aglikonrész alkohol. Az egyszerű alkoholokkal képzett glikozidok a természetben ritkán fordulnak elő, jelentősebbek azok a glikozidok, amelyekben szteránvázas vegyület az aglikonrész.

A *szteránvázas glikozidoknak* két fő csoportja van: az egyikbe tartoznak a szív működést befolyásoló glikozidok, amelyekben a szteránvázas aglikonhoz D-glükóz, L-ramnóz és dezoxicukrok kapcsolódnak, a másik szteránvázas glikozidcsoportot pedig a szaponinok alkotják. A szaponinok csökkentik a közeg felületi feszültségét, ezért vizes oldatuk rázásakor tartós hab képződik; segítik más hatóanyagok felszívódását, ezért szaponintartalmú drogokat alkalmaznak teakeverékekben is. A törökméz gyártásánál is felhasználják.

A *fenolglikozidokhoz* tartozik az arbutin, a szalicin, a vanillin, a kofeoin, a kumarinszármazékok, az antocianidok és a flavonszármazékok.

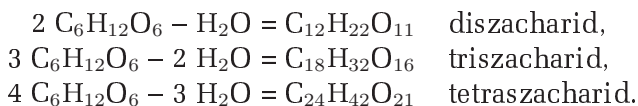
Az *N-glikozidok* a szénhidrátoknak primer és szekunder aminokkal, aminosavakkal, peptidokkal, fehérjékkel való reakcióiban játszanak fontos szerepet. Minden élő szervezet fontos vegyületei az olyan, N-glikozid típusú vegyületek, mint a nukleozidok, a nukleotidok, valamint az adenzin-trifoszfát. Ezekben a vegyületekben a cukorkomponens legtöbbször D-ribóz és 2-dezoxi-D-ribóz.

A *tioglikozidokban* a cukor az aglikonrésszel kénatomon keresztül kapcsolódik. A tioglikozidok a keresztesvirágú növényekben keletkeznek; közéjük tartoznak a mustárolaj-glikozidok. Közülük a szinigrint a fekete mustárból, a szinigrinint a fehér mustárból izolálták.

A *cián-hidrogént fejlesztő glikozidokhoz* tartoznak az oxisavnitrilglikozidok; legismertebb képviselőjük a keserű mandulában és más csonthéjas gyümölcsök magjaiban található amigdalinn, amely a vele együtt jelen levő *emulzin* nevű enzim hatására benzaldehyddé, cián-hidrogénné és két molekula glükózzá bomlik.

## 2.3. Oligoszacharidok

Az oligoszacharidok olyan, glikozid típusú vegyületek, amelyekben az aglikonrész is cukor. Úgy képződnek, hogy egy monoszacharid glikozidos hidroxilcsoportja ugyanolyan vagy más monoszacharid valamelyik hidroxilcsoportjával vízkilépés mellett reagál. Ez a kondenzációs folyamat tovább is folytatódhat, és ily módon tri-, tetra-, penta- és hexaszacharidok képződhetnek. Ha az összekapcsolt monomerek száma 7–10-nél nagyobb, akkor már poliszacharidokról van szó.



Az oligoszacharidok képződéséhez a monoszacharidok kétféleképpen kapcsolódhatnak: diszacharid esetében lehetséges, hogy az egyik molekula glikozidos hidroxilja a másik molekula alkoholos hidroxiljával lép reakcióba. Ilyenkor a diszacharidban egy szabad glikozidos hidroxilcsoport marad, ezért a csoport neve redukáló diszacharid, glikozil-aldóz, illetve glikozil-ketóz. Ha mindkét monoszacharid a glikozidos hidroxilcsoporttal vesz részt a reakcióban, akkor nem redukáló diszacharid, glikozil-aldozid, illetve glikozil-ketozid a reakciótermék. A diszacharid elnevezésnél közöljük az egymással kapcsolódó cukrokra vonatkozó adatokat, zárójelben megjelöljük a két monomer közti kötés helyét, és feltüntetjük, hogy O-glikozidról van szó. Kettőnél több monoszacharid kapcsolásánál ugyanezek az elvi alapok az érvényesek. Elméletileg nagyon sokféle oligoszacharid képzelhető el, ha számításba vesszük az összes monoszacharid kapcsolódásának kombinációs lehetőségeit. A valóságban azonban csak néhány hexóz, főként D-glükóz, D-galaktóz és D-fruktóz, nagyon ritkán pentóz, aminocukor vagy dezoxicukor vesz részt az oligoszacharidok képzésében. A hexózekből felépülő redukáló oligoszacharidokban leggyakrabban a négyes, ritkábban a hatos, kivételesen a kettes vagy a hármas alkoholos hidroxilcsoport alkot éterszerű kötetést a másik hexóz glikozidos hidroxilcsoportjával.

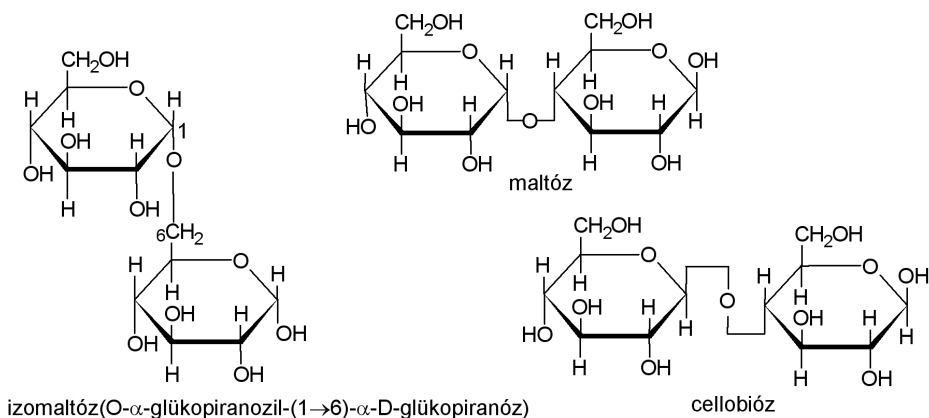
### 2.3.1. Diszacharidok

A diszacharidok a legfontosabb oligoszacharidok. A monoszacharid-részek anomer konfigurációjától függően két adott monoszacharid négyféle módon kapcsolódhat:  $\alpha,\alpha$ -,  $\beta,\beta$ -,  $\alpha,\beta$ - és végül  $\beta,\alpha$ -kötés alakulhat

ki. Mind a redukáló, mind a nem redukáló diszacharidok kristályos vegyületek, vízben jól, alkoholban rosszul, éterben nem oldódnak.

A két monoszacharidegységből felépülő diszacharidok közül a legismertebb a maltóz, az izomaltóz, a cellobióz, a laktóz és a szacharóz (2.29. és 2.30. ábra).

A *maltóz* szabadon jelentős mennyiségben nem fordul elő, de nagy mennyiségben keletkezik a keményítő vagy a glikogén *amiláz* enzimmel való bontása során. A maltóz tehát általában olyan növényi részekben található, amelyekben a keményítő enzimes lebontása történik. Két glükózegységből áll, az egyik D-glükóz anomer szénatomjának és a másik D-glükóz negyedik szénatomjának hidroxilcsoportjai közötti kondenzáció útján alakul ki. Az anomer szénatom  $\alpha$ -konfigurációjú, a monoszacharidegységek piranoz formát vesznek fel. Így a maltóz racionális kémiai neve: O- $\alpha$ -D-glükopiranozil-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glükopiranoz. A glikozidos kötést az  $\alpha(1\rightarrow4)$  jelöléssel szimbolizáljuk.



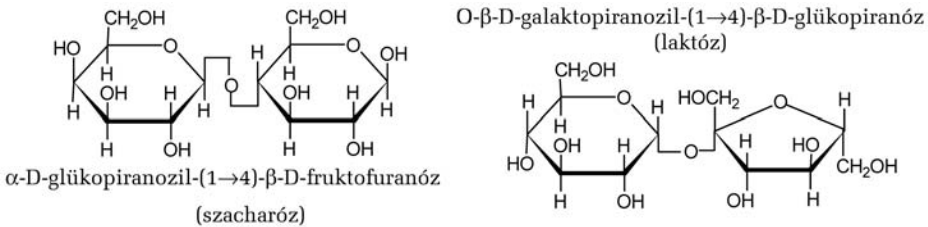
2.29. ábra. A maltóz, az izomaltóz és a cellobióz

A maltóz izomere, a *cellobióz*, ugyancsak két glükóz kapcsolódása révén kialakult diszacharid, amelyben az anomer szénatom  $\beta$  konfigurációjú. A cellobióz a növényi sejtfalak fő komponensének, a cellulóznak *celluláz* enzimmel való hidrolízise útján keletkezik. A cellobiózt a  $\beta$ -glükozidáz (*cellobiáz*) glükózzá hidrolizálja. A cellobiózban a glikozidkötés  $\beta(1\rightarrow4)$ , racionális neve O- $\beta$ -D-glükopiranozil-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glükopiranoz. A glükózmolekulák összekapcsolódhatnak 1 $\rightarrow$ 6 kötésekkel is, aminek során *izomaltóz* alakul ki. Azok a diszacharidok,

amelyekben az egyik anomer szénatom szabad, a fémionokat lúgos oldatban redukálják; ezek a redukáló diszacharidok. Ezek közé tartozik a D-galaktózból és a D-glükózból felépülő *laktóz* vagy más néven *tejcukor*, amely az élővilágban legnagyobb mennyiségben a tejben fordul elő, és redukáló diszacharid voltának megfelelően szabad anomer szénatomja van. A laktóz mennyisége az anyatejben 7,0–7,8%, tehéntejben 4,7–5,1%, amely  $\alpha$ - és  $\beta$ -módosulatban fordul elő. Az  $\alpha$ -laktózban  $\alpha$ -D-glükóz, a  $\beta$ -módosulatban  $\beta$ -D-glükóz kapcsolódik a  $\beta$ -D-galaktóz molekulához. A két módosulat kémiai tulajdonságai megegyezők, csak fizikai tulajdonságaik különböznek egymástól.

A tejcukor lúgokkal szemben nagyon érzékeny, már híg lúgos oldatban bomlik, amelynek során barna színű huminanyagok keletkeznek. Savakkal szemben a tejcukor nagyon ellenálló, nehezebben hidrolizálható, mint a répacukor. A kristályos tejcukor hővel szemben ellenállóbb, mint a többi cukor, mivel csak 170–180 °C-on karamellizálódik erőteljes barnulással. Vizes oldatban melegítéskor 100 °C alatt is reakcióba lép a fehérjékkel.

A tejcukrot a tejsavbaktériumok tejsavvá, továbbá különböző aroma- és zamatanyagokká erjesztik. Ipari célokra a tejipar melléktermékéből, a savóból nyerhető tejcukor, amely a gyógyszer- és tápszergyártás fontos alapanyaga. Hazánkban a lakosság jelentős hányada érzékeny a tejcukorral szemben, mert szervezetükből hiányzik a laktóz lebontásához szükséges  $\beta$ -galaktozidáz enzim, ezért náluk anyagcserezavarok keletkezhetnek. A fejlett országokban ma már forgalomba hoznak olyan tejet, amelyben a laktózt előzetesen elhidrolizálják.



2.30. ábra. A laktóz és a szacharóz

A növényvilág legelterjedtebb diszacharidja a fruktózból és a glükózból felépülő *szacharóz*, amelyet más néven *répacukornak* vagy *nád-cukornak* is hívunk. A kapcsolódó cukrok anomer szénatomjai a szacharózban kötésben vannak, így azok redukcióra nem képesek, a sza-

charóz tehát nem redukáló diszacharid. A szacharóz specifikus optikai forgatása  $[\alpha]_D^{20} = +66,5^\circ$ . Savas hidrolíziskor vagy *invertáz* enzim hatására D-glükóz ( $[\alpha]_D^{20} = +52,7^\circ$ ) és D-fruktóz ( $[\alpha]_D^{20} = -92,4^\circ$ ) keletkezik, miközben a szacharóz eredetileg pozitív optikai forgatása a hidrolízis következtében negatívvá válik. Ezt a jelenséget *inverzió*nak, a hidrolízis során keletkezett terméket pedig *invertcukornak* hívjuk. A szacharóz édes ízű vegyület. Édesítőképessége kiváló.

### 2.3.2. Triszacharidok

A diszacharidképződéshez hasonlóan összekapcsolódó három monoszacharid molekulából jönnek létre a triszacharidok, amelyek szintén lehetnek redukáló és nem redukáló tulajdonságúak. A *raffinóz*, a legrégbben ismert és tanulmányozott nem redukáló triszacharid, nem édes, fehér, kristályos anyag, amelyet teljes hidrolízissel D-glükózra, D-fruktózra és D-galaktózra lehet bontani. A szacharóznál jobban oldódik vízben. A raffinóz megtalálható a cukorrépában is; a cukorgyártás során a melaszban dúsul fel, a nyerscukor tisztításakor a kristályosítási anyalúgba kerül.

*Laktóztartalmú triszacharidok.* Az emlősök tejében, de különösen az anyatejben, triszacharid is található. Ezek redukáló tulajdonságúak, a molekula redukáló része mindig D-glükóz. A glükózon és a galaktózon kívül a molekula felépítésében részt vesz még az L-fukóz, az N-acetil-D-glükózamin és az N-acetil-neuraminsav.

Alapanyagokban és élelmiszerekben még az alábbi triszacharidok fordulnak elő: szolatrióz, maltotrióz, cellotrióz, panóz és manninotrióz.

A nagyobb tagszámú oligoszacharidok közül említést érdemel a növényvilágban elterjedt nem redukáló tetraszacharid, a *sztachióz*, és a maximum 2000 Dalton molekulatömegű, D-glükózból és D-fruktózból álló oligoszacharid, a *glükofruktán*. A keményítő, a cellulóz, a szilán és a dextrán részleges hidrolízisének termékei között négy-hét monoszacharidrészből álló redukáló oligoszacharidokat sikerült kimutatni.

### 2.4. Poliszacharidok

A poliszacharidok nagy molekulatömegű vegyületek, amelyekben az egyes cukormolekulák glikozidos kötéssel kapcsolódnak egymáshoz.

Savas vagy enzimés hidrolízissel monoszacharidokra bomlanak. A poliszacharidok felépítésében az alábbi cukorszármazékok, illetve cukrok vesznek részt: D-glükóz, D-fruktóz, D-mannóz, D-galaktóz, D-glükózamin, D-galaktózamin, L-arabinóz (ritkábban D-arabinóz), D-xilóz, L-fukóz, D-glükuronsav, D-galakturonsav és D-mannuronsav. A poliszacharidok tulajdonságait három fő tényező határozza meg:

- milyen monoszacharidból vagy monoszacharid-származékból épülnek fel,
- a cukorrészek hogyan kapcsolódnak egymáshoz, azaz elágazások nélküli vagy elágazó szénláncú kötéssel,
- hány monoszacharid, illetve monoszacharid-származék építi fel a molekulát, vagyis mekkora a polimerizációs fok, mekkora a molekulatömeg.

A poliszacharidok tulajdonságai lényegesen eltérnek a felépítésükben részt vevő monoszacharidok, illetve monoszacharid-származékok tulajdonságaitól. Ízük nem édes, többségük nehezen vagy egyáltalán nem oldódik. Ha oldódnak, akkor is legtöbbször kolloid oldatot alkotnak. Az egyéb szénhidrátokhoz hasonlóan a poliszacharidok is észteresíthetők, éteresíthetők, oxidálhatók és monomerekre hidrolizálhatók. Biológiai szerepük alapján megkülönböztetünk:

- szerkezeti poliszacharidokat (cellulóz, pektin, kitin stb.),
- tartalék tápanyagként szolgáló poliszacharidokat (keményítő, glikogén, inulin stb.),
- ismeretlen szerepű poliszacharidokat (növényi gumik, mikroorganizmusok poliszacharidjai).

A poliszacharidokat szerkezetük alapján *homopoliszacharidokra* és *heteropoliszacharidokra* oszthatjuk. A *homopoliszacharidok* hidrolizátuma csak egyféle monoszacharidot vagy monoszacharid-származékot tartalmaz. Ezek közé tartoznak:

- a glükózpolimerek (keményítő, glikogén, cellulóz, dextránok),
- a fruktózpolimerek (inulin, leván),
- egyéb cukrok polimerjei (mannánok, galaktánok),
- az uronsavpolimerek (alginsav, pektinek),
- a glükózaminpolimer (kitin).

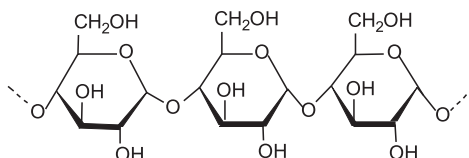
A *heteropoliszacharidok* hidrolizátuma többféle monoszacharidot vagy monoszacharid-származékot tartalmaz. Ezek közé tartoznak:

- a két- vagy többféle monoszacharidból felépülő polimerek,
- a monoszacharidból és uronsavból felépülő polimerek,
- az uronsavból és aminocukorból felépülő poliszacharidok.

Ismeretesek ezenkívül még fehérjékkel kapcsolt poliszacharidok is.

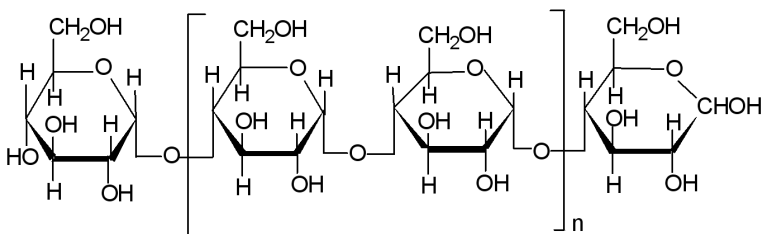
### 2.4.1. Glükózpolicimerek

A glükózból felépülő homopoliszacharidokat glükánoknak is nevezük.



2.31. ábra. Keményítőlánc részlete

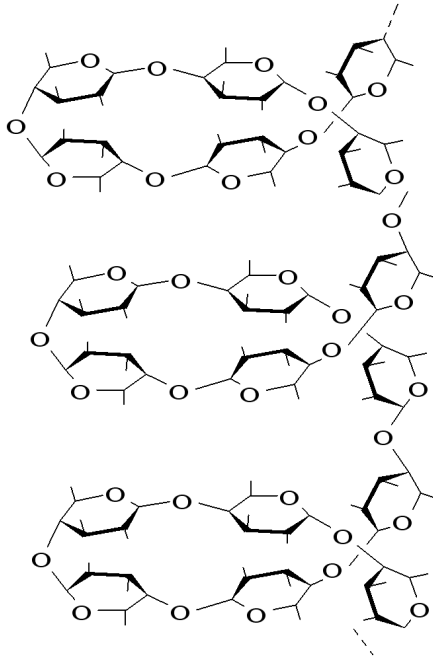
A keményítő a magasabb rendű növények tartalék tápanyaga, sok élelmiszer alkotórésze, az emberi táplálkozás legfontosabb szénhidrátforrása (2.31. ábra). A keményítő nem egységes vegyület, hanem két glükózpolicimer, az *amilóz* és az *amilopektin* keveréke.



2.32. ábra. Az amilóz szerkezete

Az *amilóz* elágazás nélküli szénláncú, kb. 100–300 glükózmolekulából,  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) kötéssel kapcsolódó  $\alpha$ -D-glükopiranozil egységekből épül fel (2.32. ábra). Az *amilóz*  $\alpha$ -glükozid-kötésekkel összeillesztett csavarmenetet,  $\alpha$ -hélix-struktúrát alkotó maltózrészecskékből áll. A spirálszerkezetet hidrogénkötések stabilizálják (2.33. ábra). Az *amilóz* konformációja függ a polimerizációs foktól, a keményítő eredetétől, a duzzadás mértékétől és attól, hogy milyen egyéb kis molekulatömegű anyagok vannak jelen. Az *amilóz* a jóddal kék színreakciót ad; a jód a hélix belsejében helyezkedik el, és jellegzetes, alagutas szerkezetű zárványvegyületet alkot. Az *amilóz*-jód komplex színe függ az *amilóz*molekula hosszától, ugyanis

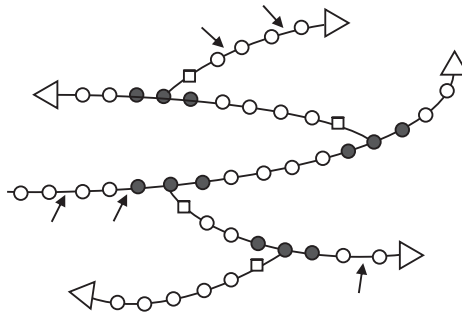




**2.33. ábra.** Az amilózhélix szerkezete (egy-egy fordulat hat glükózegység-ből áll)

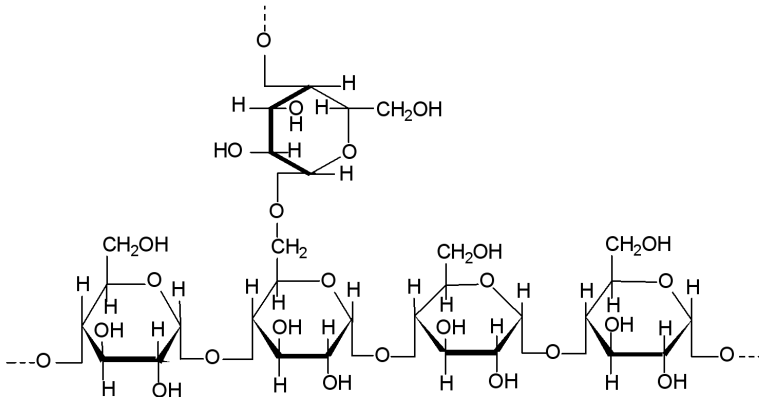
12 glükózegység csak enyhe sárga, 20 körüli vöröses színt, 30 glükózegység bíbor, majd a 45 polimerizációs fok elérésekor kék színt ad a keményítővel. Az amilóz forró vízben feloldódik, az oldatot lehűtve azonban irreverzibilisen kicsapódik. Az amilóz  $\alpha$ -amilázzal,  $\beta$ -amilázzal és glükóamilázzal hidrolizálható, valamint savas hidrolízissel is bonthatók a glikozidkötések. A különböző eredetű keményítők amilóztartalma általában 20–30%.

Az amilopektin ugyancsak glükózegységekből épül fel, de elágazó szerkezetű, mert az  $\alpha(1\rightarrow4)$  kötések mellett  $\alpha(1\rightarrow6)$  kötések is tartalmaz. Általában 15–30  $\alpha(1\rightarrow4)$  kötéssel kapcsolódó glükóz után találunk egy  $1\rightarrow6$  típusú kötést tartalmazó elágazást (2.34. és 2.35. ábra). A láncmolekularészek helyenként hélix szerkezetűek és parallel rendeződnek. Molekulatömege  $10^7$ – $20\cdot 10^7$  Dalton között változik. Jódval vörös színreakciót ad, vízzel melegítve duzzad, átlátszó, nagy viszkozitású kolloid oldat keletkezése közben. Savas és enzimes hidrolízissel is lebontható.



**2.34. ábra.** Az elágazó szerzetű poliszacharidok (amilopektin, glikogén) (az amilázzal hasítható glikozidkötéseket a nyilak jelölik; a négyzetek 1,6-kötéssel kapcsolódó glükózegységeket jelentenek, a mellettük lévő, feketével jelölt cukorrészek kötéseit az enzim már nem bontja; a háromszögek a redukáló végeket mutatják)

Az 1→4 kötéseket az  $\alpha$  -,  $\beta$ - és glükooamiláz, az 1→6 szénatomnál kapcsolódó kötéseket az *izoamiláz* bontja. A különböző eredetű keményítők amilopektintartalma eltérő, általában 70–80% között van.



**2.35. ábra.** Az amilopektin szerkezete

A keményítő a növényekben 0,002–0,15 mm nagyságú szemcsék alakjában található, amelyek sűrűsége az eredettől függően 0,5 g/cm<sup>3</sup>. A kereskedelmi natív keményítő a légtér páratartalmától függően 12–20% vizet tartalmaz, ebből 8–10% monohidrátot alkotva nagyon erősen

kötődő szerkezeti víz. Erőteljes szárítással eltávolítva megszűnik a keményítő kristályos szerkezete.

A keményítő vizes szuszpenzióját melegítve meghatározott hőmérsékletnél a rendszer duzzadása fokozódik, és jelentősen megnő a viszkozitása, a csirizedésnek nevezett folyamat során pedig a keményítő szerkezete irreverzibilisen megváltozik, ugyanis a keményítőszuszpenzió pasztaszerű anyaggá változik, amit csiriznek nevezünk. A keményítő csirizedési hőmérséklete, duzzadásának mértéke élelmiszer-technológiai szempontból nagyon jelentős. Keményítőcsiriznél lehűlés után a retrogradációnak vagy öregedésnek is nevezett folyamat figyelhető meg. A nagy amilopektintartalmú keményítőkből készült gélnél az öregedés nagyon lassú folyamat. A keményítőgéllé öregedése okozza a sütőipari termékek morzsalékosságát is. Ha a kenyér még nem száradt ki, a morzsalékos szerkezet ismételt felmelegítéssel megszüntethető, a retrogradáció azonban az előzőnél gyorsabban megy végbe. A keményítő csirizedése rendkívül fontos folyamat, mivel a keményítő duzzadása révén nő a térfogat, sűrűsödik az állomány, jelentősen megváltozik a kolloid szerkezet, és az elcsirizedett keményítőt az emésztő enzimek is könnyebben lebontják. A növények közül a legjelentősebb keményítőforrások a gabonafélék (búza, kukorica, rizs, rozs), a burgonya, a tápióka, az édesburgonya, a szágó- és a zöldbanán-keményítő.

Különleges igényeket elégít ki az amilopektin és az amilóz-keményítő. Vannak ma már olyan kukoricafajtáink, amelyeknek keményítő-tartalma 99%-ban amilopektin. Az amilopektin elcsirizesítve nagy viszkozitású, átlátszó, igen lassan öregedő oldatot, illetve pasztát ad. Csak amilózból álló keményítőt tartalmazó növényt napjainkig még nem sikerült kinemesíteni, de ismeretes már 80% körüli amilóztartalmú kukorica, és a velőborsó keményítője is igen gazdag amilózban.

*Módosított keményítők, keményítőszármazékok.* A keményítő tulajdonságai fizikai és kémiai eljárásokkal változtathatók, a technológiai igényeknek megfelelően javíthatók. A megváltoztatott tulajdonságú terméket módosított keményítőnek nevezzük. Élelmiszer-ipari szempontból az alábbi származékok fontosak.

*A duzzadókeményítő,* az egyik legfontosabb módosulat, úgy készül, hogy a keményítő vizes szuszpenzióját a csirizedésnél magasabb hőmérsékleten hőkezelik, majd szárítják. A folyamat során a keményítő eredeti, rendezett szerkezete irreverzibilisen felbomlik, ez az előcsirizesített keményítő hideg vízzel is jól duzzad (mintegy tízszeres mennyiségű vizet képes megkötni), és megfelelő koncentrációban gélt képez.

A *hígfolyós keményítő* részlegesen lebontott keményítőszármazék, amelyet kedvezőbb oldhatósága miatt régebben oldható keményítőnek neveztek. A savas hidrolízissel végzett részleges lebontásnál a vizes keményítőt kevés sav jelenlétében a csirizedési hőmérséklet alatt hőkezelik. Lehűtve nem képez gélt, hígban folyó marad, és nagyon lassan öregedik.

Az *oxidációval módosított keményítőszármazék* úgy készül, hogy a keményítőt valamilyen oxidálószerrel reagáltatják, aminek során a keményítőben a hidroxilcsoportok oxo-, az aldehidcsoportok karboxil-, a szomszédos glikozidos hidroxilcsoportok részlegesen dialdehidcsoporttá oxidálódnak. Általában 25–50 glükózegységre jut egy karboxilcsoport.

A *dextrinek*. A keményítőlebontás fontos terméke a dextrin, amelynek elnevezése gyűjtőfogalom, ami egy kevésbé pontosan meghatározott összetételű és tulajdonságú vegyületcsoportot jelöl. A keményítő lebontásakor különböző hosszúságú poliszacharid lánctöredékek keletkeznek, amelyek molekulatömege tág határok között változik. Jóddal adott színreakciója a dextrin típusától, azaz a polimerizációs foktól függ. A dextrinek lebontása bekövetkezhet enzimek, savak, lúgok, oxidáló anyagok és hő hatására. A hidrolízises bontás során képződő dextrineket a következő módon csoportosíthatjuk:

- amilodextrin, amely jóddal kék színeződést ad,
- eritrodextrin, amely jóddal vörös színeződést ad,
- akrodextrin, amely jóddal nem ad színreakciót,
- határdextrinek, amelyek az enzimes lebontás során  $\alpha$ - és  $\beta$ -amiláz hatására képződnek.

A *pirodextrinek* előállításakor a keményítőt szárazon, kevés sav jelenlétében hevítik, amelynek során a keményítő részlegesen lebomlik, a keményítőszemcsék belső szerkezetének rendezettsége megszűnik, majd többek között hidrolízis, reverzió, transzglykózidáció és glükózanhidrid-képződés is lejátszódik. E folyamatok eredményeként a keményítő polimerizációs foka és viszkozitása csökken, hidroximetil-furfuroltartalma és a szín-, továbbá az ízanyagok mennyisége nő. A fehér dextrin 95–120 °C-on készül, amikor is a molekulacsökkenés kismértékű, a sárga dextrint pedig 160–180 °C-on gyártják.

A ciklodextrinek a dextrinek különleges csoportját alkotják. A *Bacillus macerans ciklodextrin-glikozil-transzferáz* enzimeje a keményítőből, amilózból, amilopektinből vagy glikogénből nem redukáló, gyűrűs szerkezetű glükózpolicimert termel. Egy-egy gyűrű 6–12 glükózrészt tartalmaz.

Hat glükózt tartalmaz az  $\alpha$ -, hetet a  $\beta$ - és nyolcat a  $\gamma$ -ciklodextrin. A vegyületekben a glükózrészek  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. Képződésük úgy értelmezhető, hogy a *Bacillus macerans* enzimrendszere megfelelő számú glükózcsoportot hasít ki az amilózból úgy, hogy egyúttal a kihaladó oligoszacharid első és utolsó tagja között újabb glikozidkötést hoz létre.

A ciklodextrinek fontos tulajdonsága, hogy a molekula 0,6–1,0 nm átmérőjű belsejében másodlagos kötőerőkkel képes megkötni szerves és szervetlen vegyületeket. Élelmezési szempontból rendkívül nagy jelentőségű, hogy a ciklodextrinbe bevihetők különféle aromaanyagok, amelyek olyan erős másodlagos kötésekkel kapcsolódnak a ciklodextrinhez, hogy csak vizes közegben hidrolizálnak le onnan. A ciklodextrinbe zárt aroma így szobahőmérsékleten teljesen szagtalan, vízben feloldva viszont a kötés megszűnése miatt az illat érezhetővé válik.

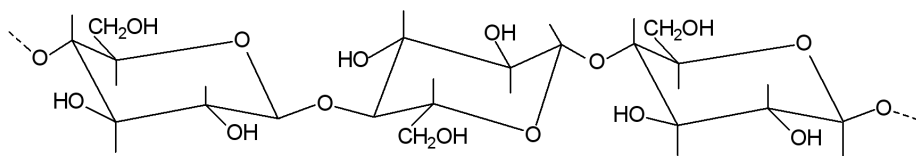
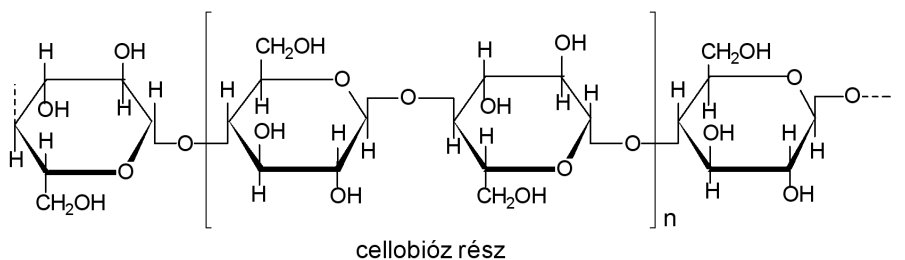
*Keményítő-észterek.* A keményítő hidroxilcsoportjai megfelelő körülmények között szervetlen és szerves savakkal észteresíthetők. Élelmezési szempontból a keményítő-foszforsav-monoészter és -diészter a legfontosabb. A keményítő-foszforsav-diészter csirizesedési hőmérséklete magasabb, mint a natív keményítőé, nagyon előnyös tulajdonsága, hogy hosszabb főzés során sem csökken az adagolásával gyártott keményítő viszkozitása. Állományjavítóként mindkét észter alkalmas mártásokba, pudingokba és öregedéskésleltetőként sütőipari termékekbe. A keményítőtől ecetsavval, nagyobb szénatomszámú zsírsavakkal, borostyánkőssavval, adipinsavval és citromsavval készíthető *szervessav-észter*. Ezek állományjavító tulajdonságai kedvezőbbek, mint a natív keményítőé.

*Keményítő-éterek.* A keményítőmolekula glükózegységeinek hidroxilcsoportjait más vegyületek hidroxilcsoportjaival megfelelő körülmények között reagáltatva keményítő-éter képződik. Élelmiszer-ipari szempontból a 2-hidroxi-etil-, 3-hidroxi-propil- és a karboxi-metil-keményítők jelentősek. A 2-hidroxi-etil- és a 3-hidroxi-propil-csoport jelentősen befolyásolja a keményítőcsiriz tulajdonságait. A keményítő csirizesedési hőmérséklete csökken, oldhatósága, duzzadóképesége nő, öregeése lassul. Alkalmasak fagyasztott ételek és konzervek állományának javítására. A karboxi-metiléter-keményítő felhasználható emulziók stabilizálására is.

*Térhálós szerkezetű keményítő.* A keményítő átalakítható térhálós szerkezetű rendszerre, ha megfelelő polifunkciós vegyületet (pl. trinátrium-metafoszfát, foszfor-oxiklorid, etilén- és propilén-oxid) adagolunk hozzá. A többfunkciós vegyület két vagy három keményítőmolekula-

részt összekapcsolva növeli az elágazások számát, térhálós szerkezetet hoz létre, és növeli az átlagos molekulaméretet. A hálós szerkezet kis-mértékű kialakítása növeli a viszkozitást, aminek következtében extrém pH-viszonyok mellett is adagolásával stabil viszkozitás érhető el.

A *glikogén*. A glikogén fehér, íztelen, szagtalan por, az állati szer-  
vezetek tartalék szénhidrátja. A glikogén szerkezete az amilopektinéhez  
hasonló  $\alpha$ -D-glükóz részekből épül fel 1→4 kötéssel, 10–24 glükózzé-  
szenként  $\alpha$ -(1→6) elágazásokkal. Molekulatömege 2–10 millió között  
van. Vízben nehezen oldódik, hevítve nem csirizesedik, jóddal vörös  
színt ad. Főleg a májban (3–8%) és kisebb mennyiségben az izmok-  
ban (0,15–0,18%) fordul elő. A glikogén a májban a tápanyaggal be-  
vitt szénhidrátból raktározódik el, ahonnan szükség esetén felszabadul.  
A húsokban az állat leölése után a glikogén erjedéssel tejsavvá alakul.  
A tejsavtartalom jelentősen befolyásolja a hús fizikai tulajdonságait és  
eltarthatóságát.



2.36. ábra. Cellulóz-molekula részlete

A *cellulóz*. A cellulóz a legnagyobb mennyiségben található szerves  
szénvegyület Földünkön. A magasabb rendű növények sejtfala főként  
cellulózból áll, így a fa több mint 50%, a fiatal levelek szárazanyaga  
10%, az öregebbeké pedig 20% cellulózt tartalmaz. A leggazdagabb cel-  
lulózforrás a gyapot 90%-kal. Az alacsonyabb rendű növényeknek is  
jelentősebb lehet a cellulóztartalma. A cellulóz állandó kísérőanyaga

a lignin és a hemicellulóz. A tiszta cellulóz  $\beta$ -D-glükopiranoz egységekből, 1→4 kapcsolódással épül fel (2.36. ábra).

A láncban cellobiózegységek ismétlődnek, a láncon belül az oxigén- és a hidrogénatomok között intramolekuláris hidrogénkötés jön létre. A molekulaláncokat viszont intermolekuláris hidrogénhid- és hidrofób kötések kapcsolják össze. A cellulóz molekulatömege igen nagy, felépítésében 1000–14 000 glükózmolekula vesz részt. A nagy molekulatömegnek és rendezettségnek köszönhetően a cellulóz vízben oldhatatlan, híg savakkal és lúgokkal szemben ellenálló, csak kevés oldószerben oldódik. Híg kénsavval, nyomás alatt melegítve, vagy 40%-os sósavval hidegen kezelve D-glükózzá bomlik. A cellulózt az emberi szervezet nem tudja megemésztetni, ezért a táplálékban ballasztanyagként szerepel.

*Cellulózszármazékok.* A cellulózmolekula hidroxilcsoportjainak éteresítésével és észteresítésével ipari szempontból fontos anyagok állíthatók elő. A reakcióban a glükózegységek 6. és esetleg 2. vagy 3. szénatomján lévő hidroxilcsoportok vesznek részt. Glükózegységenként legfeljebb három éter- vagy észterkötés lehetséges. Élelmiszer-ipari célokra az éterek használhatók, ugyanis az éteresítéssel a cellulóz jól duzzadó vegyületté alakítható. Az alkil-cellulóz és a hidroxil-alkil-cellulóz készítmények felhasználhatók sütőipari adalékként (öregedés-késleltetés, vízfelvétel-növelés), panírozókeverékbe adalékként (csökkenti a felvett zsiradék mennyiségét), továbbá gyümölcs- és zöldségszárítmányokhoz a rehidratáció javítására. A karboxi-metil-cellulóz, a cellulóz glikolsav-étere, olyan ionos vegyület, amely semleges ízhatású, ezért számos élelmiszernél felhasználható konzisztenciajavító adalékként. A cellulózszármazékok közül jelentősek még a cellulóz-észterek (acetátfilm előállítás), a cellulóz-nitrátok (robbanóanyagok) és a cellulóz-xantát (a cellofán alapanyaga).

*Lichenin.* A lichenin lineáris glükózipolimer, amelyben a D-glükopiranoz egységek  $\beta$ -1,3 és  $\beta$ -1,4 kötéssel kapcsolódnak. Nagy duzzadó és nyálkaképző tulajdonsága miatt rendkívül kedvező élettani hatású. A *szkleroglükán* glükózból álló  $\beta$ -1,3-glükán, amelyben átlagosan minden 3. cukormolekulán található egy glükózelágazás. Élelmiszerekben állományjavítóként használják. A *dextrán* glükózegységekből álló, nagymolekulájú poliszacharid. A glükózegységek főként  $\alpha$ -1,6 glikozidkötéssel kapcsolódnak egymáshoz, a molekulában előfordul azonban  $\alpha$ -1,4- és  $\alpha$ -1,3-kötés is. Molekulatömege 50–200 ezer közötti, az élelmiszeriparban sűrítőként és stabilizátorként adagolható italokhoz, sütő- és élelmiszer-ipari termékekhez, fagyaltokhoz.

### 2.4.2. Fruktózipolimerek

Sok növényfajában keményítő helyett vagy keményítő mellett fruktózipolimer tartalék szénhidrát található. Különösen a fészkesvirágzatú növényekben és a fűfélékben fordul gyakran elő.

Az *inulin* a növényvilág egyik legelterjedtebb poliszacharidja, amely a fészkesvirágzatúak és a liliomfajták (csicsóka, cikóriagyökér) virágzatában, illetve föld alatti szerveiben halmozódik fel. Az inulinmolekula mintegy 30–35 fruktózegységből épül fel 2,1-kötéssel. Az inulin 5–25% glükózt is tartalmaz, amely a láncvégeken található. A fruktózgyártás fontos nyersanyaga, amelyet a csicsókából kinyert inulinból állítanak elő.

A *graminin* az inulinhoz hasonlóan fruktóz-poliszacharid, amely általában 10 fruktózmolekulát tartalmaz. A rozs jellemző komponense, aminek alapján a búzalisztbe kevert rozsliszt kimutatható. A *leván* főként fruktózból épül fel, de az inulinhoz hasonlóan kis mennyiségű glükózt is tartalmaz. A levánban a  $\beta$ -D-fruktózmolekulák 2,6-kötéssel kapcsolódnak egymáshoz, a főlánchoz pedig 2,1-kötéssel kapcsolódó D-fruktózmolekulák elágazásokat hoznak létre. A növényekben előfordulnak még 2,1-kötéssel és 2,6-kötéssel kapcsolódó polifruktozánok, amelyeknek gyakorlati jelentősége kicsi.

### 2.4.3. Mannánok

A mannánok D-mannóz részekből felépülő poliszacharidok, a növényvilágban nagyon elterjedtek. Fő alkotórészük, a mannóz mellett hidrolízisstermékeikben kisebb-nagyobb mennyiségben egyéb monoszacharidok is vannak. A mannánok közé tartozik a *kődiómannán*, amely a kődiók maghéjában és a tűlevelű fákban található, és a *konjakmannán*, amelynek savas hidrolízisekor 2:1 arányban mannóz és glükóz képződik, mert a konjakmannán glükóz-mannóz-mannóz triszacharid egységekből épül fel. A keményítőhöz hasonlóan tartalék szénhidrát.

### 2.4.4. Uronsavpolimerek

Az uronsavpolimerek közül ismertebbek a pektin és az alginsav. A *pektin* a növényvilágban rendkívüli módon elterjedt poliszacharid, amelynek alapvázát a pektinsav alkotja, ami egymással  $\alpha$ -1,4-kötésekkel kapcsolódva D-galakturonsav részekből épül fel. A poligalakturonsav karboxilcsoportjainak egy része metanollal van észteressítve; a pektin-



sav metilésztere a pektin. A pektin molekulatömege gyümölcsfajtánként változó, általában 25–100 ezer körüli érték. A pektin meghatározott körülmények között gélt képez, ezért széles körben felhasználják az élelmiszer- és a gyógyszeriparban. A pektin sok gyümölcsben megtalálható; ipari méretekben a citrusfélék és az alma héjából állítják elő.

Az alginsavban  $\beta$ -D-mannuronsav és  $\alpha$ -L-guluronsav 1→4 kötéssel kapcsolódik. Az alginsav sóit *alginátoknak* hívjuk. Az alginsav vízben oldhatatlan, de jól duzzad, megfelelő körülmények között gél, szál és film előállítására is alkalmas. Az alginsav a tengeri barnaalgák sejtfalának alkotórésze, az ipar is ebből állítja elő. Kiváló élelmiszer-ipari állományjavító adalék.

#### 2.4.5. Glükózamin-polimer

A *kitin* rovarok, rákok és gombák vázában fordul elő; N-acetil-D-glükózamin részekből épül fel. Részleges hidrolízissel kitobiózegységek, teljes hidrolízissel azonos mennyiségű D-glükózaminra és ecetsavra bomlik.

#### 2.4.6. Kevert poliszacharidok

A *xilán* a fában a cellulóz állandó kísérője, savas hidrolízise főleg xilózt, kisebb mennyiségben L-arabinózt, nyomokban glükuronsavat és annak 4-metil-származékát, valamint glükózt eredményez. A *hemicellulózok* az elfásodott növényi szövetekben a cellulózt kísérő rövidebb láncú, könnyebben oldódó, nem teljesen ismert szerkezetű poliszacharidok. Oldhatóságuk alapján különböztetjük meg egymástól az A- és B-hemicellulózt. A búza szalmájának hemicellulóza xilózt, L-arabinózt és hexuronsavat tartalmaz. Az emberi táplálékokban a hemicellulóz ételmi rost szerepet tölt be. A *pentozán* poliszacharidok és glikoproteinek keveréke; a szénhidrát rész 50–60% D-xilózt, 30–35% L-arabinózt és 6–7% D-glükózt tartalmaz. Az elágazó arabino-xilánhoz kapcsolódik a glikoprotein molekularész. A pentozán megtalálható a gabonaőrleményekben, amelyek közül a rozsliszt különösen gazdag (6–8%) pentozánban. A búzaliszt pentozántartalma 2–3%.

A *xantán* olyan heteroglikán, amely D-glükóz, D-mannóz és D-glükuronsav keverékéből épül fel. Mikroorganizmusok terméke, amelyek ammónium-kloridot, aminosavakat és megfelelő mikroelemeket tartalmazó glükóz táptalajon elszaporítva állítják elő a poliszacharidot.

A xantán kiválóan alkalmas konzervek, fagyasztott élelmiszerek és szószok állományának javítására.

A *karragént* a vörös-tengeri algákból állítják elő. Olyan, kevert poliszacharid, amely frakcionált oldással és kicsapással ötféle, eltérő összetételű vegyülettípusra bontható. Mindegyik frakció D-galaktóz és anhidro-D-galaktóz szulfátészteréből áll. Jól duzzadnak, oldataik viszkozitása függ a koncentrációtól, a hőmérséklettől és a jelen lévő ionoktól. A karragén kitűnő élelmiszer-ipari állományjavító adalék; előnyösen használható tejtartalmú készítményekben.

Az *agar* fő alkotórésze a  $\beta$ -D-galaktopiranóz és a 3,6-anhidro- $\alpha$ -L-galaktopiranóz, amelyek 1 $\rightarrow$ 4 vagy 1 $\rightarrow$ 3 kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. A láncmolekula helyenként kénsavészter-csoportokat is tartalmaz. Az észterezettség mértékétől függően megkülönböztetünk agarózt és agaropektint. Az agaróban kb. minden 10. galaktózegység észteresített, az agaropektinben viszont ennél nagyobb az észterezettség mértéke. A száraz agar vízben nem, forró vízben viszont oldódik, és a megfelelő töménységű oldata lehűtve géllé dermed. Az agar vörösalgából állítható elő forró vizes kimosással, majd tisztítással. Jó gélképző és emulzióstabilizáló tulajdonságai miatt az agart széles körben alkalmazzák élelmiszer-ipari állományjavítóként.

Az *arab gumi* a növényi gumik legismertebb képviselője, amelyet trópusi akácfélék kérgéből állítanak elő. Több szénhidrátból áll: megtalálható benne az L-arabinóz, az L-ramnóz, a D-galaktóz és a D-glükuronsav. A cukorrészek egymáshoz való aránya az arab gumi eredetétől függően változik; legnagyobb arányban az arabinóz, legkisebb mennyiségben pedig a ramnóz vesz részt a molekula felépítésében. A makromolekula szerkezetére jellemző a  $\beta$ -D-galaktopiranózból 1,3-kötéssel kapcsolódó lánc, amelyben a hatos szénatomokon oldalláncok helyezkednek el. Az élelmiszeriparban emulzió stabilizálására, valamint védőbevonat készítésére használják.

#### 2.4.7. Szénhidrát-fehérje származékok

A szénhidrát-fehérje származékok a természetben igen elterjedtek, biológiai jelentőségük nagy, gyakran immunspecifikus hatásúak. Ilyen származékok a patogén baktériumok tokanyagai, amelyek az antigén-antitest reakcióban a fertőző betegségeknel fontos szerepet játszanak. A szénhidrát-fehérje származékokban a komponensek a következő variációkban fordulnak elő:

- poliszacharid fehérjével,
- poliszacharid egyes aminosavakkal vagy rövid peptidláncokkal,
- monoszacharid- vagy oligoszacharid-származékok fehérjével.

A komponensek kapcsolódási módja lehet sókötés, kovalens kötés vagy molekulák közötti erők hatására kialakuló kötés. A szénhidrát-fehérje származékokon belül azokat, amelyekben hexózamin és uronsav kapcsolódik, mukopoliszacharidoknak hívjuk. A legfontosabb szénhidrát-fehérje származékok szénhidrát komponensei az alábbiak.

A *heparin* véralvadásgátló poliszacharid, amely korlátozza a *trombokináz* enzim működését. Hidrolízise során D-glükuronsavra, D-glükózaminra és kénsavra bomlik. A *hialuronsav* több milliós molekulatömegű N-acetil-D-glükózamin és D-glükuronsav részekből felépített poliszacharid, amelynek biológiai funkciója nagy viszkozitásán alapzik, ugyanis az ízületek kenőanyaga. A *kondroitin* a heparinnal analóg szerkezetű poliszacharid, szulfátészterei, a kondroitin-szulfát A és C, az emberi és állati szervezetben a porcok és inak alkotórészei.

A tojásfehérje az alábbi *glikoproteinek*et tartalmazza: ovalbumin, ovomukoid, ovomucin, ovoglikoprotein, ovoinhibitor és avidin. Ezekben 3–31% közötti mennyiségben található szénhidrát, oligo- vagy kisebb tömegű poliszacharid alakban. A kevert glikozidok felépítésében galaktóz, mannóz, glükózamin, N-metil-glükózamin, galaktózamin és szialinsav vesz részt.

## 2.5. A szénhidrátok biokémiai átalakulásai

A szénhidrátok legjellegzetesebb biokémiai átalakulásai a fermentációhoz és a légzéshez kapcsolódnak. A szénhidrátok erjedése egy sor olyan terméket hoz létre, amelyek az egyes élelmiszerek érzékszervi tulajdonságai, aromájának kialakulása szempontjából nagyon lényegesek. Az erjedések közül a propionsavas erjedésnek egyes sajtféleségek erjedésében különös jelentősége van. A vajsavas erjedés a tejsavas erjedés kellemetlen kísérője lehet, és az ecetsavas erjedés is előfordulhat a tejsavas erjedés mellett.

A gyümölcsök és zöldségfélék esetében a megfelelő konzisztencia és a minőség megőrzése szükségessé teszi a pektinlebontási folyamatok lassítását vagy megakadályozását a feldolgozás és a tárolás során. Más esetekben viszont a pektinek elbontására, esetleg eltávolítására törekszünk. A növényi sejtfalban található, cellulózzal, hemicellulózokkal kölcsön-

hatásban álló, nem oldható protopektin főleg enzimhatásra különböző oldható termékekké alakulhat át.

## 2.6. A szénhidrátok kimutatása és meghatározása

Élelmiszerek analízisének a nitrogénmentes kivonható anyagokat, amely tartalmazza a cukrokat, a keményítőt, az inulint, a pektint, valamint a hemicellulózt és a cellulóz oldható részét, számítással határozzuk meg. Amennyiben az élelmiszer szárazanyag-tartalmából kivonjuk a hamu-, a nyersfehérje-, a nyerszsír- és a nyersrost-tartalmat, akkor megkapjuk a nitrogénmentes kivonható anyagok mennyiségét. Ha pontosabb analízisre van szükségünk, akkor a következő vizsgálatokat alkalmazhatjuk a nitrogénmentes kivonható anyagok egyes komponenseinek kimutatására és meghatározására.

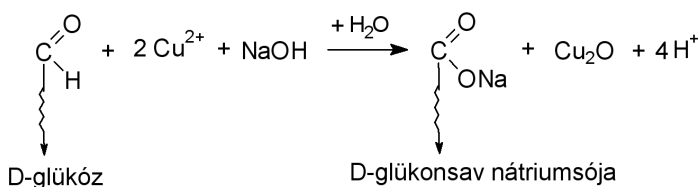
### 2.6.1. A cukrok kimutatása és meghatározása

A szénhidrátok és ezen belül a cukrok (mono-, di-, illetve triszacharidok, polihidroxi-aldehidek vagy polihidroxi-ke-tonok, illetve ezek származékai) kémiai sajátosságait az alkoholos hidroxil-, valamint az aldehid-, illetve a ketocsoportok szabják meg. Kimutatásuk és meghatározásuk is a funkciós csoportok kémiai reakciói alapján lehetséges. Ezek közül legjelentősebbek a szabad aldehidcsoport kémiai reakciói, amelyek segítségével a redukáló cukrok könnyen kimutathatók és meghatározhatók.

#### 2.6.1.1. Aldózok kimutatása Fehling-reakcióval és ezüsttükör próbával

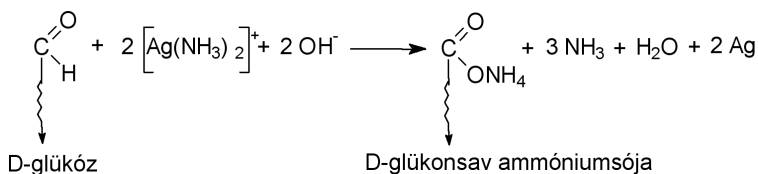
A *Fehling-reakció során* a réz(II)-szulfát oldatból (*Fehling I-oldat*) és a lúgos kálium-nátrium-tartarát oldatból (*Fehling II-oldat*) keletkező kék színű komplexből a cukrok vörös színű réz(I)-oxid csapadékot választanak le a 2.37. ábra szerint.

A reakció során a két vegyértékű rézionokat a D-glükóz aldehidcsoportja egy vegyértékű rézionokká redukálja, miközben a glükóz aldehidcsoportja karboxilcsoporttá alakul (oxidálódik), a D-glükózból pedig nátrium-hidroxidos közegben a D-glükonsav nátriumsója keletkezik. A réz(I)-oxid mennyiségének mérésével a glükóz koncentrációja is meghatározható.

2.37. ábra. A D-glükóz és a  $\text{Cu}^{2+}$ -ionok reakciója

A *Fehling*-reakció kivitelezése során néhány  $\text{cm}^3$  1%-os D-glükóz oldathoz  $2 \text{ cm}^3$  *Fehling* I- és  $2 \text{ cm}^3$  *Fehling* II-oldatot adunk, majd a kémcső tartalmát forrásig melegítjük. A forralás megkezdésétől számított pár másodpercen belül a vörösbarna réz-oxid-csapadék kiválása észlelhető, amely a forralás befejezése után a kémcső aljára leülepszik.

Az *ezüstitükör próba során* ammóniás ezüst-nitrát-oldatból a D-glükóz a tökéletesen tiszta, zsírmentes kémcső falára fémezüstöt választ ki, amelynek során az ezüst tükröző bevonatot képez. Amennyiben a kémcső nem tökéletesen tiszta vagy a reakció közben a kémcsövet meg-rázzuk, az ezüst fekete csapadék formájában válik le, ami a forralás után kiülepszik az oldatból. A reakció során a D-glükóz aldehidcsoportja reagál egy ezüst-amin komplexszel, amelyet ezüst-nitrát-oldatból ammónium-hidroxiddal állítunk elő. Az ennek során keletkezett csapadékot ammónium-hidroxid feleslegében oldjuk. A reakció során a D-glükózból D-glükonsav, illetve annak ammóniumsója, az ezüstionból pedig fémezüst keletkezik. A kísérlet során  $2\text{--}3 \text{ cm}^3$  D-glükózoldathoz  $5 \text{ cm}^3$  5%-os ammóniás ezüst-nitrát-oldatot adunk, és az elegyet vízfürdőn, óvatosan melegítjük. Szerencsés esetben a kémcső falára ezüstitükör formájában fémezüst válik le, ellenkező esetben fekete csapadékot kapunk. A reakció a 2.38. ábra szerint megy végbe:

2.38. ábra. A D-glükóz és az  $\text{Ag}^+$ -ionok reakciója

### 2.6.1.2. A cukrok mennyiségének meghatározása

**A cukortartalom meghatározása.** Élelmiszereinkben általában a szacharóz vagy más néven répacukor, ha tejet tartalmazó élelmiszerről van szó, a tejcukor fordul elő nagyobb koncentrációban. E két cukor a diszacharidok csoportjába tartozik, mindkettő képlete  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . A laktóz a redukáló cukrok, a szacharóz pedig a nem redukáló cukrok közé tartozik, azaz a laktóz adja, a szacharóz nem adja a *Fehling*-reakciót és az ezüsttükör próbát. Mindkét diszacharid híg sósavas oldatban melegítve két monoszachariddá, a szacharóz glükózzá és fruktózzá, a laktóz pedig glükózzá és galaktózzá hidrolizálható.

A mennyiségi meghatározás elve tulajdonképpen a fejezet elején ismertetett *Fehling*-reakció, amelynek során a  $Cu^{2+}$ -ionokból  $Cu^+$ -ionok keletkeznek a cukor aldehidcsoportjának hatására. A  $Cu^+$ -ionok mennyiségét meghatározva a cukor mennyisége pontosan meghatározható.

A vizsgálati eljárás során 20 g mintát mérünk be egy 1000 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba, hozzáadunk 500 cm<sup>3</sup> vizet, és egy órán át rázógéppben rázatjuk. A cukor meghatározását zavaró anyagok eltávolítására 20–20 cm<sup>3</sup> *Carrez* I- és II-oldatot adunk hozzá. A *Carrez* I-oldat készítése során 100 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikban desztillált vízben feloldunk 21,9 g cink-acetátot, hozzáadunk 3 cm<sup>3</sup> ecetsavat, jelig töltjük és jól összerázzuk. A *Carrez* II-oldat készítése során 100 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikban desztillált vízben feloldunk 10,6 g kálium-hexaciano-ferrát(II)-ot, elegyítjük, jelig töltjük. A *Carrez* I- és a *Carrez* II-oldat hozzáadása után 80%-os etanollal jelre töltjük, összerázzuk és leszűrjük. A szűrletből kiveszünk 200 cm<sup>3</sup>-t, elpárologtatjuk az etanol fő tömegét, a bepárlási maradékot pedig meleg desztillált vízzel átmoszuk egy 200 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba, majd lehűlés után jelre töltjük. Ezt az oldatot használjuk a későbbiekben a redukáló, valamint az inverzió után az összes cukortartalom meghatározásához.

**A redukáló cukortartalom meghatározása.** Az előzőek szerint előkészített oldatból kipipettázzunk kb. 25 cm<sup>3</sup> oldatot egy 300 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer*-lombikba. A kivett oldat 60 mg-nál több redukáló cukrot ne tartalmazzon! Pipettázzunk 25 cm<sup>3</sup> *Luff–Schoorl*-reagenst az *Erlenmeyer*-lombikba lévő 25 cm<sup>3</sup> vizsgálandó oldathoz. (A *Luff–Schoorl*-reagenst az alábbi módon készítjük el: óvatosan keverve 100 g, 50 tömegszázalékos citromsavoldatot 300–350 cm<sup>3</sup> nátrium-karbonát-oldathoz töltünk egy 1000 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba, amely már 143,8 g vízmentes nátrium-karbonátot tartalmaz feloldva. Hozzáadjuk a 100 cm<sup>3</sup> desztillált vízben

feloldott 25 g réz-szulfátot, összerázzuk, majd desztillált vízzel jelre töltjük, elegyítjük. Egy éjszakán át ülepedni hagyjuk, majd leszűrjük, és ellenőrizzük a pH-ját, amelynek optimális esetben 9,1-nek kell lenni.) A minta és a *Luff–Schoorl*-reagens elegyéhez adjunk két darab horzskövet, és szabad láng felett, rázogatva hozzuk forrásba két percen belül. Ezt követően azonnal tegyük az *Erlenmeyer*-lombikot azbesztes hálóra, helyezünk a lombikra léghűtőt, és pontosan 10 percig forraljuk, majd azonnal hűtsük le hideg vízzel. A kivált réz(I)-oxidot a következők szerint titráljuk meg: a kihűlt lombikba adagoljunk  $10\text{ cm}^3$  3%-os káliumjodid-oldatot, és rázogatás közben óvatosan  $25\text{ cm}^3$  3 mólos kénsavoldatot. Ezután titráljuk 0,1 mólos nátrium-tioszulfát-oldattal szalmasárga színig, majd adjunk hozzá  $1\text{ cm}^3$  keményítőindikátor oldatot, és fejezzük be a titrálást. A fenti eljárással párhuzamosan készítsünk vakpróbát, ami csak abban különbözik az ismertetett eljárástól, hogy a mintaoldat helyett  $25\text{ cm}^3$  desztillált vizet használunk.

**Az összes cukortartalom meghatározása.** Az összes cukortartalom meghatározása során pipettázzunk a  $200\text{ cm}^3$ -es mérőlombikban lévő cukoroldatból  $50\text{ cm}^3$ -t egy  $100\text{ cm}^3$ -es mérőlombikba, adjunk hozzá néhány csepp metilnarancs indikátoroldatot és annyi 4 mólos sósavoldatot, amíg az indikátor színe piros lesz. Ezután adjunk hozzá  $15\text{ cm}^3$  0,1 mólos sósavoldatot, majd tegyük a lombikot intenzív forrásban lévő vízfürdőbe, és tartsuk ott 30 percig. Ezután gyorsan hűtsük le  $20\text{ }^\circ\text{C}$ -ra, adjunk hozzá  $15\text{ cm}^3$  0,1 mólos nátrium-hidroxid-oldatot, töltsük jelig desztillált vízzel, és rázzuk össze. Vegyünk ki belőle  $25\text{ cm}^3$ -t, és végezzük el a cukormeghatározást az előzőekben ismertetett *Luff–Schoorl*-módszer szerint. A redukáló, illetve az összes cukortartalmat a 2.1. táblázatban lévő adatok alapján számoljuk, a következő képlet segítségével. Az eredményt tömegszázalékban fejezzük ki.

$$C = \frac{K_{(V-F)} \cdot f}{m \cdot 10},$$

ahol:  $K$  = a táblázatból kikeresett cukortartalom (mg),

$V$  = a vakpróbára fogyasztott 0,1 mólos nátrium-tioszulfát térfogata ( $\text{cm}^3$ ),

$F$  = az aliquot mintaoldatra fogyasztott 0,1M nátrium-tioszulfát mérőoldat térfogata ( $\text{cm}^3$ ),

$f$  = 0,1 mólos nátrium-tioszulfát mérőoldat faktora,

$m$  = a titráláskor kipipettázott mintaoldatban lévő minta tömege (g).

A cukortartalom két, párhuzamos vizsgálat eredményéből számított számtani középérték, amelyet egytizedesre kerekítve adunk meg. A két párhuzamos mérés között megengedett legnagyobb eltérés a számtani középérték 8%-a.

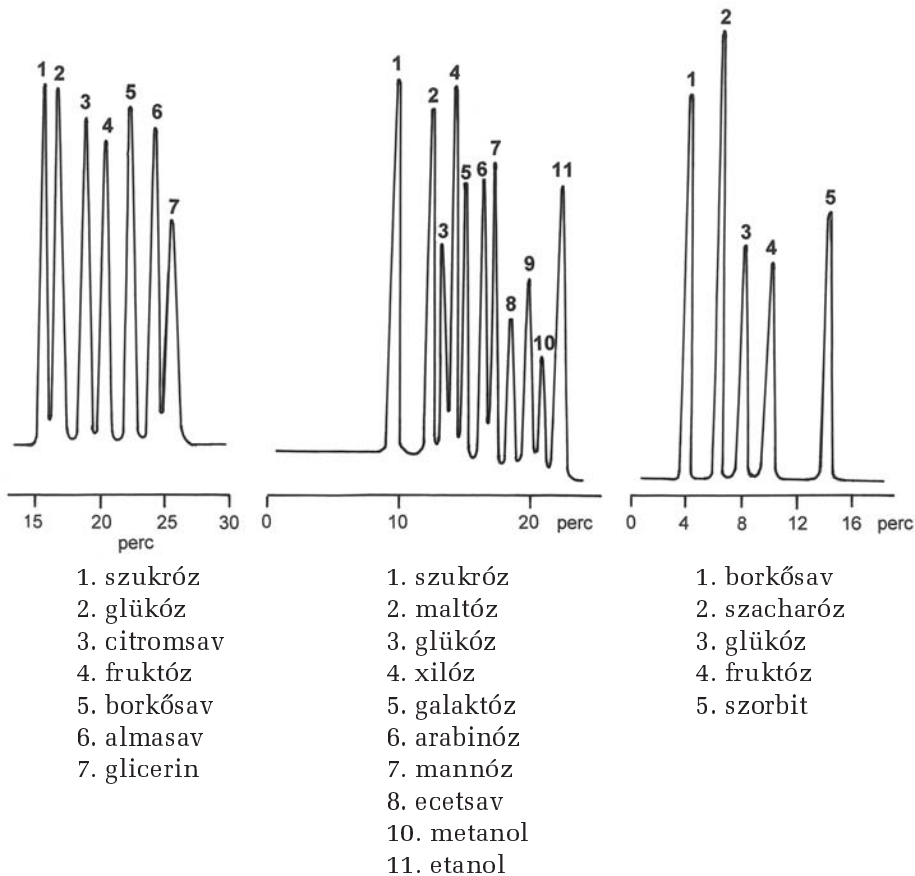
**2.1. táblázat.** A Luff–Schoorl-reagenshez tartozó 0,1 mólos nátrium-tioszulfát mérőoldat fogyasztásának megfelelő glükóz, fruktóz, invertcukor tömege mg-ban (kétperces melegítés és tízperces forralás esetén)

| 0,1 mólos<br>$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ mérőoldat<br>térfogata<br>( $V - F$ ) $f$ |      |   | 0,1 mólos<br>$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ mérőoldat<br>térfogata<br>( $V - F$ ) $f$ |      |   |
|--|------|---|--|------|---|
|  |      | A glükóz, fruktóz,<br>invertcukor tömege<br>( $K$ ) |  |      | A glükóz, fruktóz,<br>invertcukor tömege<br>( $K$ ) |
| $\text{cm}^3$  | mg   | tömeg-<br>különbség                                 | $\text{cm}^3$  | mg   | tömeg-<br>különbség                                 |
| 1  | 2,4  |   | 13   | 33,0 | 2,7   |
| 2  | 4,8  | 2,4   | 14   | 35,7 | 2,7   |
| 3  | 7,2  | 2,4   | 15   | 38,5 | 2,8   |
| 4  | 9,7  | 2,5   | 16   | 41,3 | 2,8   |
| 5  | 12,2 | 2,5   | 17   | 44,2 | 2,9   |
| 6  | 14,7 | 2,5   | 18   | 47,1 | 2,9   |
| 7  | 17,2 | 2,5   | 19   | 50,0 | 2,9   |
| 8  | 19,8 | 2,6   | 20   | 53,0 | 3,0   |
| 9  | 22,4 | 2,6   | 21   | 56,0 | 3,0   |
| 10   | 25,0 | 2,6   | 22   | 59,1 | 3,1   |
| 11   | 27,6 | 2,6   | 23   | 62,2 | 3,1   |
| 12   | 30,3 | 2,7   |  |      |   |



### 2.6.1.3. A monoszacharidok szétválasztása és meghatározása nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával

A monoszacharidokat és a diszacharidokat különböző folyadékkromatográfiás technikával, elsősorban nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával szét lehet választani, illetve meg lehet határozni. A 2.39. ábra első kromatogramján látható, hogy az alkalmazott kromatográfiás technikával hét szénhidrát egymástól tökéletesen szétválasztható, és a csúcsok elválása kielégíti a meghatározás követelményeit. Még jobb az elválás a 3.



**2.39. ábra.** Cukrok, savak, alkoholok és cukoralkoholok szétválasztása nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával

kromatogramon, ahol csak négy cukor, valamint borkősav szétválasztása látható. A középső kromatogram egy bonyolultabb feladat szétválasztására mutat be példát, ahol a különféle cukrok mellett szerves savakat és alkoholokat is elválasztunk egymástól.

A cukrok szétválasztása és meghatározása során eluensként vizet vagy rendkívül híg savanyú oldatot használunk; az átfolyási sebesség 0,4 és 0,6 cm<sup>3</sup>/perc, a kromatografálási hőmérséklet pedig 30 és 80 °C között változik. A speciális, cukrok szétválasztására és meghatározására kifejlesztett oszlopok mellett szinte minden elválasztásnál és meghatározásnál törésmutató-mérő detektort használunk.

### 2.6.2. A keményítő és meghatározása

A keményítő a poliszacharidok csoportjába tartozik; glükóz monomerekből  $\alpha(1\rightarrow4)$  kötésekkel kapcsolódó poliszacharid. Kimutatásának és meghatározásának tanulmányozása során a keményítő oldhatóságával és hidrolízisével, valamint a keményítő és a jód közötti színreakcióval is foglalkozunk.

#### 2.6.2.1. A keményítőtartalom kimutatása

A keményítővel kapcsolatos kísérleteket a keményítőcsiriz készítésével kezdjük. Ennek során 5 g búzakeményítőt 50 cm<sup>3</sup> vízben hidegen jól elkeverünk, majd 50 cm<sup>3</sup> forró desztillált vizet adunk hozzá, intenzíven összekeverjük, amelynek során pudingszerűen megszilárduló keményítőcsirizt kapunk. A keményítő hideg vízben nem oldódik – ha késhegynyi keményítőt 1 cm<sup>3</sup>-nyi hideg vízzel összerázunk, átlátszatlan szuszpenziót képez –, ezért ha ezt az oldatot gázlángon óvatosan melegítjük, akkor öt percen belül gyengén opalizáló kolloid oldatot kapunk. Az oldat 1 cm<sup>3</sup>-ét tízszeresére hígítjuk desztillált vízzel, majd az így kapott oldathoz egy-két csepp kálium-jodidos jóddoldatot csepegtetünk. Intenzív sötétkék színeződést tapasztalhatunk, mert a jód és a keményítő kék színű vegyületet alkot egymással. Ezt az ún. jód-keményítő reakciót rendkívüli érzékenysége miatt mind a jód, mind a keményítő kimutatására használják.

A keményítő sem az ezüsttükör-, sem a *Fehling*-reakciót nem adja, mivel szabad aldehidcsoportot nem tartalmaz. A keményítő tömény kén-savval reagáltatva vagy híg savakkal hosszabb ideig forralva hidrolízis közben monoszachariddá alakul, ami már adja a *Fehling*-reakciót. Állí-

tásunk igazolására két kísérletet is végezhetünk. Az első kísérletben egy 100 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárban pár gramm keményítőt mérünk, majd 5–10 csepp koncentrált kénsavat adunk hozzá. Üvegbottal a kénsavat és a keményítőt elkeverjük egymással, a kapott péphez óvatosan 1–2 cm<sup>3</sup> desztillált vizet adunk, majd gázlángon óvatosan két percig forraljuk az oldatot. Lehűlés után 1 cm<sup>3</sup>-t kiveszünk az oldatból, nátrium-hidroxid-oldattal meglúgosítjuk, majd elvégezzük a *Fehling*-próbát, amelynek eredménye pozitív lesz.

A második kísérletben 10 db kémcsövet helyezünk egy kémcsőtartóba, és mindegyikbe 10 cm<sup>3</sup> 0,1 mólos sósavoldatot töltünk. Minden kémcsőhöz hozzáadunk olyan, keményítőtartalmú oldatot, amelyet 10 g keményítőcsiriz és 50 cm<sup>3</sup> desztillált víz elkeverésével állítottunk elő. A keményítőoldatból töltünk 1 cm<sup>3</sup>-t mindegyik kémcsőbe, tartalmukat rázzuk jól össze, és helyezük őket forró vizes edénybe. A forrás kezdetétől számított kétpercenként vegyünk ki egy-egy kémcsövet a forró vízből, és jeges vízben azonnal hűtsük le. A tizedik kémcső kivétele után (20 perc) várjuk meg, amíg mindegyik kémcső tökéletesen kihűl, tartalmukat felezzük meg, és végezzük el egyik felével a jód-keményítő, a másik felével pedig a *Fehling*-reakciót. A két percig forró vízben állt kémcső a jód-keményítő reakciót még kiválóan adja, a *Fehling*-reakció pedig kevés redukáló cukor jelenlétére utal. A 20 percig forró vízben tartott kémcső már nem adja a jód-keményítő reakciót, viszont intenzív sötétbarna elszíneződést kapunk a *Fehling*-reakció elvégzése után, ami nagy mennyiségű redukáló cukor jelenlétére utal. Amennyiben az összes kémcsővel elvégezzük a jód-keményítő reakciót, akkor olyan színskálát kapunk, amelynek az első tagjai (2, 4 perces melegítés) intenzív kék színt produkálnak, amely színintenzitás az idő függvényében csökken, és a 16–20 percig forró vízben tartott kémcsövek már csak rendkívül halvány színt produkálnak, illetve a színreakciót egyáltalán nem is adják.

### 2.6.2.2. A keményítőtartalom meghatározása

A gyakorlatban leginkább alkalmazott módszer szerint az élelmiszer-mintát meghatározott ideig híg sósavoldatban főzzük, a fehérjék kicsapása után a tükrös szűrlet optikai forgatóképességét pedig polariméteren mérjük. A kapott forgatási értéket korrigáljuk a 40 térfogat%-os etanolban oldható híg sósavoldattal kezelt komponensek optikai forgatóképességének értékével, majd e korrigált forgatási érték alapján számítjuk ki a keményítőtartalmat. Tájékoztatási mérésre elegendő a fehérjék kicsapása

után kapott szűrlet optikai forgatóképességének polariméteres mérése is, ez azonban tartalmazza az élelmiszerben esetleg jelen lévő egyéb, optikailag aktív vegyületek (cukrok, aminosavak) forgatóképességét is.

A tájékoztató vizsgálat szerint a megfelelően előkészített és homogénizált mintából 1 mg-os pontossággal lemérünk 2,5 g-ot, és 100 cm<sup>3</sup>-es polarizálólombikba helyezük. Hozzáadunk 25 cm<sup>3</sup> 0,31 mólos sósavoldatot úgy, hogy a minta teljes mennyisége átnedvesedjen, és a lombik nyakára tapadt mintarészecskék is a lombikba mosódjanak. Ezt követően még hozzáadunk 25 cm<sup>3</sup> 0,31 mólos sósavoldatot, majd a lombikokat forrásban lévő vízfürdőbe helyezük, és pontosan 15 percig forraljuk.

A vízfürdőből kivéve azonnal 25 cm<sup>3</sup> hideg desztillált vizet adunk hozzá, és a lombikot hideg vízzel szobahőmérsékletűre hűtjük. Kis fehérjetartalom esetén hozzáadunk 5 cm<sup>3</sup> Carrez I-, majd 5 cm<sup>3</sup> Carrez II-oldatot, és ismét alaposan összerázzuk. Nagy fehérjetartalom esetén a Carrez-oldatokat megduplázzuk. Desztillált vízzel jelig töltjük, és összerázás után szűrjük. Ezt követően mérjük a szűrlet optikai forgatóképességét polariméterrel ( $\alpha$ ). Ha a leszűrt oldat nem tükrös, ismételjük meg a műveleteket nagyobb mennyiségű Carrez-oldatok használatával. A keményítőtartalmat ( $K$ ) a következő képlettel számítjuk ki, és tömegszázalékban adjuk meg:

$$K = \frac{100 \cdot 100 \cdot \alpha}{[\alpha]_{20}^D \cdot l \cdot m} \cdot f,$$

ahol:  $\alpha$  = a minta forgatóképessége (fok),  
 $[\alpha]_{20}^D$  = a fajlagos forgatóképesség (fok),  
 $l$  = a polarimétercső hossza (dm),  
 $m$  = a vizsgálathoz bemért minta tömege (g),  
 $f$  = átszámítási faktor, a mérés hullámhosszáról (546 nm) a nátrium D-vonalára (589 nm).

Az azonos mintából két, párhuzamos meghatározás eredménye között megengedett legnagyobb eltérés 0,5% keményítőtartalom.

**A háztartási keményítő tisztaságának vizsgálata polarimetriás módszerrel.** A vizsgálat során a mintát forró, hígított kénsavval hidrolizáljuk, majd mérjük az oldat optikai forgatóképességét. Ha a minta oldható szénhidrátokat vagy egyéb, optikailag aktív anyagokat is tartalmaz, megváltozik a forgatóképessége. A forgatóképesség megváltozását okozó anyagok átalakításához a vizsgálandó anyagból külön bemérést

végzünk, abból vizes kivonatot készítünk, majd a szilárd mintához hasonlóan meghatározzuk annak forgatóképességét.

A meghatározás során 100 cm<sup>3</sup>-es *Kohlrausch*-lombikba bemérünk 2,5 g vizsgálandó anyagot, és körkörös mozgatással való keverés közben részletekben hozzáadunk 50 cm<sup>3</sup> 1,124%-os sósavoldatot. Ezt követően a lombikot 15 percen át forrásban lévő vízfürdőbe tartjuk, és hárompercenként körkörösén megrázzuk. A negyedóra letelte után a lombikot csapvízzel szobahőmérsékletűre hűtjük, majd hozzáadunk 3–3 cm<sup>3</sup> *Carrez I*- és *Carrez II*-oldatot. A lombikot desztillált vízzel jelig töltjük, tartalmát összerázzuk, 20 perc után redős szűrőpapíron leszűrjük, és megmérjük a kristálytisztaság szűrlet forgatóképességét.

A keményítő mellett lévő egyéb, optikai forgatóképességet mutató vegyületek mérésére 100 cm<sup>3</sup>-es *Kohlrausch*-lombikba bemérünk 2,5 g vizsgálandó anyagot, hozzáadunk 50 cm<sup>3</sup> desztillált vizet, majd 30 percig állni hagyjuk, miközben többször körkörösén megmozgatjuk a vízdoldható optikailag aktív anyagok kioldódásának elősegítésére. Ezt követően *Carrez I*- és *Carrez II*-oldattal derítést végzünk, majd a szűrletből 50 cm<sup>3</sup>-t egy 100 cm<sup>3</sup>-es *Kohlrausch*-lombikba pipettázunk. Ehhez hozzáadunk 2,25 cm<sup>3</sup> 25%-os sósavoldatot, és a hidrolízis-műveletet az előzőekhez hasonlóan elvégezzük. Ezután a lombikot desztillált vízzel jelre töltjük, majd összerázás után mérjük az oldat forgatóképességét. A vizsgálati anyag keményítőtartalmát az alábbiak szerint számoljuk:

$$K = 10,88 \cdot (A - 2k),$$

ahol:  $A$  = a keményítő hidrolízise után mért forgatóképesség (körfok),  
 $k$  = a korrekciós érték meghatározása esetén mért forgatóképesség (körfok).

### 2.6.3. A nyersrost és a rostfrakciók, valamint a cellulóz és a hemicellulóz meghatározása

#### 2.6.3.1. A nyersrosttartalom meghatározása klasszikus módszerrel

A nyersrost fogalomkörébe eltérő kémiai összetételű és különböző kémiai viselkedésű, kizárólag növényekben található anyagok tartoznak. Az eltérő kémiai jellegből adódóan nehéz olyan vizsgálati módszert találni, amely megfelelné rutinvizsgálatok céljaira is. A ma használatos módszer szerint a mintát 30 percig 1,25%-os kénsavban, majd a kénsav

eltávolítása és desztillált vizes mosás után 1,25%-os kálium-hidroxid-oldatban fél óráig főzzük, amelynek során a fehérjék, az oldható szénhidrátok, a zsírok, a szerves savak és az ásványi anyagok egy része oldatba megy, a szűrőn pedig visszamarad a nyersrost, amelynek szárazanyag-tartalmából még le kell vonni a nyersrost hamutartalmát. A módszer hibái közé tartozik, hogy a főzés során a hemicellulóz 50–80%-a, a cellulóznak és a ligninnek pedig 10–40%-a oldatba megy.

A nyersrosttartalom meghatározása során 2 g megfelelően előkészített élelmiszert 1 mg-os pontossággal bemérünk egy 400 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárba, hozzáadunk 150 cm<sup>3</sup> desztillált vizet és 50 cm<sup>3</sup> 0,510 mólos kénsavat (a kettő együtt 1,25%-os kénsavoldatot ad), szükség szerint néhány csepp habzástgátló anyagot, majd 30 percen keresztül forraljuk, az elpárolgó vizet pedig forró desztillált vízzel a 200 cm<sup>3</sup>-es jelig pótoljuk. Ezt követően a forrás leállítására 50 cm<sup>3</sup> hideg desztillált vizet adunk hozzá, hagyjuk lehűlni szobahőmérsékletűre, majd a kapott folyadékot tulipántölcséren keresztül molnár selyemszita segítségével leszívátjuk. A maradékot meleg vízzel savmentessé mossuk, majd a szűrőn maradt részeket veszteség nélkül, fecskendőpalack (spricflakon) segítségével mindig visszajuttatjuk a pohárba. Ezután hozzáadunk 50 cm<sup>3</sup> 0,891 mólos kálium-hidroxid-oldatot, és desztillált vízzel 200 cm<sup>3</sup>-re egészítjük ki (az így kapott oldat 1,25%-os), 30 percig forraljuk, miközben az elpárolgó vizet forró desztillált vízzel pótoljuk a 200 cm<sup>3</sup>-es jelig. A 30 perc letelte után a forrás megállítására hozzáadunk 50 cm<sup>3</sup> hideg vizet, hagyjuk lehűlni szobahőmérsékletűre, és a folyadékot tulipántölcséren keresztül molnár selyemszita segítségével leszívátjuk. A maradékot 150 cm<sup>3</sup> meleg vízzel többszöri ismételtetéssel tisztára mossuk, miközben a szűrőn maradt részeket minden esetben veszteség nélkül visszajuttatjuk a pohárba.

A savas, illetve a lúgos forralás után kapott maradékot átnedvesített szűrőpapíron keresztül leszűrjük. A hamumentes analitikai szűrőpapírt előzőleg 105 °C-on, egy órán át szárítjuk, majd a bemérőedénnyel együtt 0,2 mg pontossággal lemérjük (B). A pohárból a savas-lúgos mosással kapott anyagot gumírozott végű üvegbot segítségével maradék nélkül a szűrőre mossuk. A víz lecsurgása után a kapott anyagot a rosttartalomtól függően kétszer-háromszor 25 cm<sup>3</sup> acetonnal átmoszuk. Az aceton lecsurgása után a szűrőpapírt visszateszük a bemérőedénybe, 5–8 órán keresztül 105 °C-on, fedél nélkül, tömegállandóságig szárítjuk. Szárítás után a szárítóedényre rárakjuk a fedelet, exsikkátorban hagyjuk lehűlni,

majd 0,2 mg pontossággal lemérjük (A). Az A–B különbség a rosthامت még tartalmazó rost, azaz „a”.

A rosthامت-meghatározáshoz 0,2 mg pontossággal lemérünk egy kiizzított kvarc- vagy porcelántégelyt (D), és belehelyezzük a rostot tartalmazó szűrőpapírt. 550 °C-on, három órán keresztül izzítókemencében hamvasztjuk, majd exszikkátorban hagyjuk kihűlni, és 0,2 mg pontossággal lemérjük (C). A C–D különbség a rosthامت, azaz a „b”.

A nyersrosttartalmat az alábbi képlet szerint számítjuk, és tömegszázalékban fejezzük ki:

$$\text{nyersrost \%} = \frac{a - b}{m} \cdot 100,$$

ahol:  $a$  = rosthامت-tartalmú nyersrost tömege (g), azaz A–B,  
 $b$  = rosthامت tömege (g), azaz C–D,  
 $m$  = meghatározáshoz bemért minta tömege (g).

A nyersrosttartalom a két, párhuzamos meghatározás eredményéből számított középérték. Az azonos mintából két, párhuzamos mérés eredménye közötti legnagyobb megengedett eltérés: 10%-nál kisebb nyersrosttartalom esetén 0,3% nyersrost, 10%-nál nagyobb nyersrosttartalom esetén az eredmény 3%-a.

Amennyiben a takarmány 10%-nál több zsírt tartalmaz, akkor azt a rostmeghatározás előtt zsírtalanítani kell, és a zsírtalanított anyagból kell rostmeghatározást végezni. Zsírtalanított minta esetében az eredmény kiszámítása és kifejezése a következő:

$$\text{nyersrost \%} = \frac{(a - b) \cdot (100 - zs)}{m \cdot zs},$$

ahol:  $a$  = rosthامت-tartalmú nyersrost tömege (g), azaz A–B,  
 $b$  = rosthامت tömege (g), azaz C–D,  
 $zs$  = a vizsgált takarmányminta zsírtartalma (%),  
 $m$  = a nyersrost-meghatározáshoz bemért zsírtalanított minta tömege (g).

### 2.6.3.2. A rostfrakciók, valamint a cellulóz és a hemicellulóz meghatározása Van Soest szerint

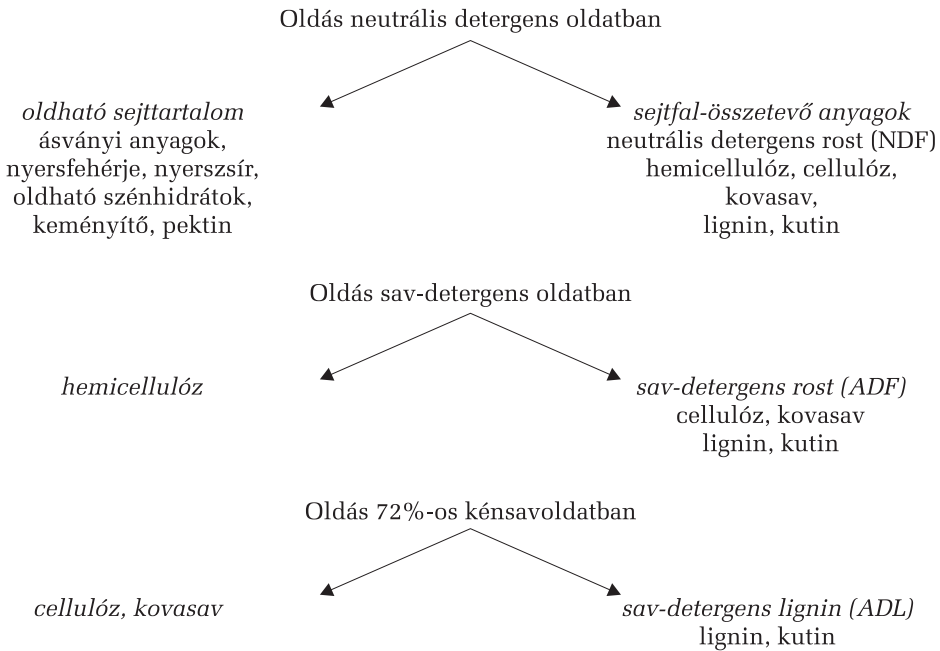
A klasszikus rostmeghatározás hibáinak kiküszöbölésére Van Soest új módszert dolgozott ki a növények sejtfalát alkotó anyagok és

az oldható sejttartalom különválasztására. Eszerint egy 7,0 pH-ra beállított, ún. neutrális detergens oldattal (Na-lauril-szulfátot, etilén-diamin-tetraecetsavat, dinátrium-hidrogén-foszfátot és nátrium-borátot tartalmazó oldat) egy órán át való főzéssel kioldjuk a növényi sejtek oldható sejttartalmát, azaz az ásványi anyagokat, a nyersfehérjét, a nyerszsírt, a cukrokat, a keményítőt és a pektint. A vízzel, majd acetonnal való többszöri mosás után visszamaradó rész, az ún. *neutrális detergens rost* (*Neutral Detergent Fiber, NDF*) tartalmazza a sejtfal-összetevőket, azaz a hemicellulózt, a cellulózt, a kovasavat, a lignint és a kutint. Ezt követően a neutrális detergens rost alkotóinak szétválasztása következik, amelynek során először 0,5M kénsavat és 2% cetil-trimetil-ammónium-bromidot tartalmazó oldattal főzzük a NDF-et, amelynek hatására oldatba megy a hemicellulóz és a maradék, az ún. *sav-detergens rost* (*Acid Detergent Fiber, ADF*), s már csak a cellulózt, a lignint és az inkusztráló anyagokat (kovasav, kutin) tartalmazza.

A sav-detergens rost két legfontosabb alkotórészét, a cellulózt és a lignint, 72%-os kénsavoldatban, három órán át tartó főzéssel lehet szétválasztani, amelynek során a cellulóz és a kovasav oldatba megy, a kutin, és a lignin pedig visszamarad a *sav-detergens lignin* (*Acid Detergent Lignin, ADL*) frakcióban. A leírt rostfrakció-meghatározási módszert a 2.40. ábra teszi szemléletessé.

Ez a módszer az utóbbi időben rendkívül elterjedt, mert leegyszerűsítette az élelmiszerek analízisét. Az oldható sejttartalom jól tájékoztat az élelmiszer tápláléértékéről, a sav-detergens rostra kapott eredmények pedig jól egyeznek a hasznosulási kísérletek eredményeivel. A rutinvizsgálatoknál általában megelégszünk az NDF meghatározásával, és csak ritkábban kerül sor az ADF és az ADL analízisére. A rostfrakció-analízist végezhetjük nagy odafigyeléssel manuálisan is, az ismertett detergens oldatok alkalmazásával, de célszerű az analíziseket valamilyen automatikusan működő műszer (pl. Tecator Fibertec) segítségével végezni. Ebben az esetben a vizsgálandó mintát zsugorított üvegszűrőbe mérjük be, amelyben a neutrális detergens oldattal, a sav-detergens oldattal és a sav-detergens-lignin oldattal is kezelhetjük a mintát. Mindegyik kezelés után az oldatokat a zsugorított üvegrétegen keresztül vízszűrővel leszívjuk, aminek során a minta a zsugorított üvegszűrőn marad. A szűrő és a minta szárítása és mérése után a következő detergens oldatot alkalmazzuk, tehát a minta a szűrőt sohasem hagyja el, így a manipulációs veszteség is sokkal kisebb, mint a kézi eljárásnál. Egy készülékkel naponta 18–24 minta rostfrakcióit lehet meghatározni.





**2.40. ábra.** A rostfrakciók, valamint a cellulóz és a hemicellulóz meghatározásának menete

## 2.7. A szénhidrátok összefoglalása

A természetben előforduló szerves anyagok fő tömegét alkotó szénhidrátok alapegységei a cukrok, amelyek 3–8 szénatomból felépülő polihidroxi-aldehidek, polihidroxi-ke-tonok vagy ezek származékai. Ezek monomer, oligomer és polimer formában fordulnak elő. Az élelmiszerek legnagyobb mennyiségben hexózokat és pentózokat tartalmaznak, amelyek részben szabadon, de nagyobb részben kötött formában vannak jelen. A monoszacharidok legfontosabb reakciói az oxocsoporthoz kötődnek: ezek során cukor-oximok, glükaminok, oxidált származékok, glikozidok, észterek keletkezhetnek belőlük, ezenkívül éterek, cukor-anhidridek és anhidrocukrok képzésére is képesek, reverzióval vizet veszíthetnek, és a reakció során endiolképződés és izomerizáció is végbemehet.

Savanyú és bázikus közegben átalakulva oligoszacharidok, cukor-anhidridek és anhidrocukrok, furán, pirán és ciklopentanon-származékok, endiolok, karbonsavak és hidroxikarbonsavak, reduktonok és reakcióra

képes hidroxí-oxovegyületek képződhetnek belőlük. A karamellizáció és a *Maillard*-reakció során jellegzetes aromájú, barna színű termékek, aromakomponensek és melanoidok képződnek belőlük. A nem enzimés barnulás lehet előnyös és hátrányos is, de a folyamatot minden esetben fehérjevesztés is kíséri.

Élelmiszer-ipari szempontból a legfontosabb monoszacharidok a pentózok (D-xilóz, L- és D-arabinóz, D-ribóz, D-dezoxi-ribóz) és a hexózok (glükóz, mannóz, galaktóz, fruktóz), a legfontosabb monoszacharid-származékok pedig a dezoxicukrok, az aminocukrok, a cukorészterek, a cukoréterek, a cukoralkoholok, a savszármazékok és a glikozidok.

Az egyszerű cukrok egymással glikozidkötéssel kapcsolódva oligo- és poliszacharidokat alakítanak ki. A kapcsolódástól függően a diszacharidok lehetnek redukálók és nem redukálók. Legfontosabbak közülük a répa- vagy nádcukor, a maltóz, az izomaltóz, a cellobióz és a tejcukor. A triszacharidok közül említést érdemel a raffinóz és a laktóztartalmú triszacharidok.

A poliszacharidok olyan nagymolekulájú vegyületek, amelyekben az egyes cukormolekulák glikozidos kötéssel kapcsolódnak egymáshoz, és amelyek savas vagy enzimés hidrolízissel monoszacharidokra bomlanak. A homopoliszacharidok azonos, a heteropoliszacharidok különböző monoszacharidokból épülnek fel. A glükózpolimerek közül legjelentősebb a keményítő, amely az amilóz és amilopektin keveréke, a keményítő különféle származékai (duzzadó-, hígfolyós, oxidációval módosított keményítő, dextrinek, fehér, sárga és ciklodextrin, keményítő-észterek és -éterek, térhálós szerkezetű keményítő), a glikogén, a cellulóz, valamint a cellulóz származékai. A fruktózpolimerek közé tartozik az inulin, a graminin és a leván, a mannánok közé a kódiómannán és a konjakmannán, az uronsavpolimerek közé pedig a pektin és az alginát. Glükózamin-polimer a kitin, míg a kevert poliszacharidok közé a xilán, a hemicellulóz, a pentozán, a xantán, a karragén, az agar és az arab gumi tartozik.

A szénhidrát-fehérje származékok közül gyakorlati jelentőséggel bír a heparin, a hialuronsav, a kondroitin és a tojásfehérje glikoproteinek.

Az aldózok kimutatása a *Fehling*-reakcióval és az ezüsttükör próbával történhet. Lehetőség van a redukáló és az összecsukor-tartalom meghatározására jodometriás titrálással, valamint a monoszacharidok szétválasztására és egyenkénti meghatározására nagy hatékonyságú folyadék-kromatográfiával. A keményítőtartalom a jódkeményítő reakcióval mutatható ki, amellyel a keményítő hidrolízise is nyomon követhető.

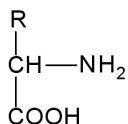
A háztartási keményítő tisztaságát polarimetriával mérjük. Az élelmszerek nyersrosttartalmát savas és lúgos főzéssel, a rostfrakciókat (hemicellulóz, cellulóz, lignin) detergens oldatokkal való kezeléssel lehet meghatározni.

## A FEHÉRJÉK ÉS FELÉPÍTÉSÜK

A fehérjék komplex makromolekulák, amelyek mind a növényi, mind az állati sejt citoplazmájában előfordulnak. Az élő sejtek szárazanyagának legalább 50%-át a fehérje teszi ki. A fehérjék nagyrészt szénből, oxigénből, hidrogénből, nitrogénből és kénből felépülő vegyületek. Építőelemeik az aminosavak, amelyek megszabják a fehérje kémiai, fizikai és biológiai tulajdonságait.

### 3.1. Az aminosavak

Az aminosavak szabad állapotban viszonylag kis mennyiségben fordulnak elő a természetben. Legnagyobb mennyiségük fehérjében kötött, a fehérje felépítésében vesznek részt. Különbféle aktív oligopeptideket is alkothatnak, mint amilyenek például a peptidhormonok és az antibiotikumok, és bioaktív származékok prekursorai is lehetnek. Az anyagcserében energiaszolgáltató szerepük normális életfolyamatokat feltételezve nem jelentős. A fehérjéket húszféle aminosav alkotja, a fehérjék hidrolízisekor azonban csak 19-féle aminosav szabadul fel, mivel a 6. mólos sósavas hidrolízis során a triptofán (indolcsoportjának hasadása révén) tönkremegy. Minden aminosav egy azonos felépítésű és egy eltérő szerkezeti részből áll. A prolin és a hidroxiprolin kivételével az azonos felépítésű rész az  $\alpha$ -szénatom a hozzákapcsolódó amino- és karboxilcsoporttal (3.1. ábra).



3.1. ábra. Az aminosavak általános képlete

Az élelmiszer-fehérjékben az alábbi aminosavak fordulnak elő:

A *glicint* 1820-ban, zselatinból izolálták. Nem esszenciális aminosav, sok más vegyület építőköve, fontos szerepet játszik a biokémiai mechanizmusokban. A kollagénben 25–30%-ban található. Az *alanin* nagy mennyiségben a selyemfibroinban fordul elő. A *szerin* 4–8%-ban van jelen a különböző fehérjékben, meghatározó szerepe van a foszfoproteinekben, mivel az orto-foszforsav a szerin szabad hidroxilcsoportjához kapcsolódik észterkötésben. A *cisztein* és a *cisztin*, a két, kéntartalmú aminosav, általában 1–2%-ban található a különböző fehérjékben, vannak azonban jellegzetesen nagy kéntartalmú fehérjék is, amelyekben arányuk lényegesen nagyobb. A ciszteinben levő szulfhidrilcsoportok adott körülmények között diszulfidhidak kialakítására alkalmasak mind a különböző polipeptidláncok között, mind egy polipeptidláncon belül. Ezek a diszulfidhidak rendkívüli stabilitást kölcsönöznek a vegyületeknek mind a kémiai, mind az enzimes lebontással szemben.

A *treonin* egyes állati fehérjékben (tej, hús, tojás) 4,5–5%-ban található, gabonafélékben azonban kisebb koncentrációban fordul elő. A treonintartalom a fehérjék biológiai értékét limitáló faktor. A *metionin* esszenciális kéntartalmú aminosav, amely savra és hőre is igen érzékeny, könnyen oxidálódik, amit az élelmiszer-ipari műveletek során figyelembe kell venni, hisz a metionin a fehérje biológiai értékét limitáló egyik aminosav. Állati fehérjékben 2–4%-ban, a növényi fehérjékben 1–2%-ban fordul elő. Az *arginin* 3–6%-os mennyiségben minden fehérjében megtalálható. Az emberi szervezet számára félig esszenciális aminosav. *Valint* viszonylag nagyobb mennyiségben mind az állati, mind a növényi fehérjék tartalmaznak. A tojás- és tejfehérjében 7–8%, az elasztinban 15% mennyiségben található.

A *leucin* a legtöbb fehérjében 7–10% arányban található, a gabonafehérjében mennyisége igen eltérő: a kukoricában több mint 12%, a búzafehérjében 6% körüli. Az *izoleucin* mind a növényi, mind az állati fehérjékben átlagosan 4–7% arányt képvisel. A *lizin* nagy mennyiségben fordul elő a halfehérjékben (10–11%), a hús- a tojás- és tejfehérjében (7–9%), a gabonafélékben azonban mennyisége ennél lényegesen kisebb (2–4%). Több fehérje biológiai értékének limitáló faktora. Az *aszparaginsav* minden állati fehérjében átlagosan 6–10% mennyiségben található. Az *aszparagin* (az aszparaginsav félamidja) növényi csírák és fiatal növények fehérjeinek jellegzetes komponense. A *glutaminsavat* 1866-ban izolálták búzalisztból. A legtöbb fehérjében nagy mennyiségben fordul elő, amelyek közül kiemelkedő a búzafehérje, több mint

30%-os glutaminsav-tartalmával. A szója- és kukoricafehérjékben a glutaminsav mintegy 20%-ban található. Félamidja a *glutamin*.

A *fenil-alanin* a fehérjékben átlagosan 4–5%-ban van jelen. A szervezetben *tirozinná* tud átalakulni. A tirozin ugyancsak minden természetes fehérjében előfordul mintegy 5–6%-os mennyiségben. A *prolin* a zselatinban és a kazeinben mintegy 12%-ban, a búzában kb. 10%-ban található. A *hidroxi-prolin* a kollagén kötőszöveti fehérjében kb. 12%-ban fordul elő. A *hisztidin* 2–3%-ban van jelen a fehérjékben, a vérfehérjék azonban ennél többet tartalmaznak. A csecsemők számára esszenciális aminosav. A *triptofán* mindössze 1–2%-ban található meg a fehérjékben.

### 3.1.1. Az aminosavak csoportosítása

Az aminosavak csoportosítását az alábbi szempontok szerint végezhetjük el.

Az aminosavak *oldalláncuk szerint* a következőképpen csoportosíthatók:

- töltés nélküli, nem poláros oldalláncú aminosavak (glicin, alanin, valin, leucin, izoleucin, prolin, fenil-alanin, triptofán, metionin),
- töltéssel rendelkező, nem poláros oldalláncú aminosavak (szerin, treonin, cisztein, tirozin, aszparagin, glutamin),
- aminosavak töltéssel rendelkező oldallánccal (aszparaginsav, glutaminsav, hisztidin, lizin, arginin).

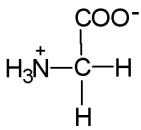
*Táplálkozásbiológiai szempontból* az aminosavak lehetnek:

- *esszenciális* aminosavak, amelyeket a szervezet nem tud szintetizálni (valin, leucin, izoleucin, fenil-alanin, triptofán, metionin, treonin, lizin),
- *félig esszenciális* aminosavak, amelyeket egy másik esszenciális aminosavból tud előállítani a szervezet (cisztein, tirozin),
- *nem esszenciális* aminosavak, amelyet a szervezet korlátlanul elő tud állítani (arginin, glicin, alanin, prolin, szerin, aszparagin, glutamin, aszparaginsav, glutaminsav, hisztidin).

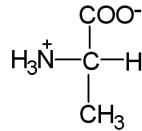
Az eltérő felépítésű aminosavak szerkezetét a 3.2. ábra kémiai tulajdonságaiknak megfelelő csoportosításban tartalmazza, az aminosavak nevével és annak hárombetűs rövidítésével.

A tárgyalt 20 fehérjealkotó aminosavon kívül több mint 150 természetes aminosav ismert, amelyek csak kis mennyiségben, sokszor csak egyes szervezetekben fordulnak elő. Ezek között található a bakteriális eredetű D-glutaminsav és a D-alanin, a kötőszöveti fehérjékben a prolin

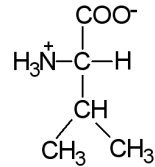
*nem poláros, alifás R-csoport (apoláros aminosavak)*



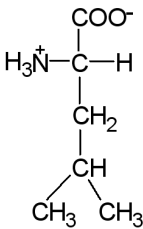
glicin (Gly)



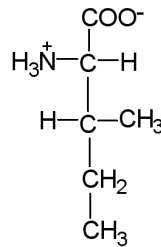
alanin (Ala)



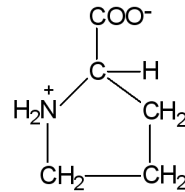
valin (Val)



leucin (Leu)

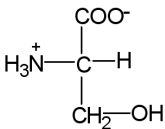


izoleucin (Ile)

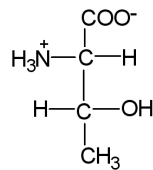


prolin (Pro)

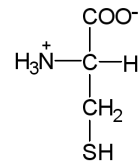
*poláros, n eutrális R-csoport*



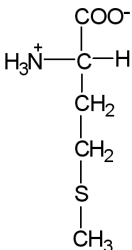
szerin (Ser)



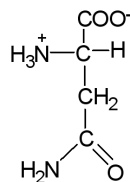
treonin (Thr)



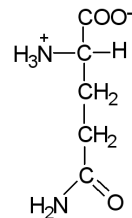
cisztein (Cys)



metionin (Met)

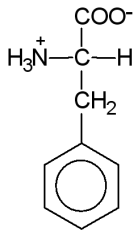


aszparagin (Asn)

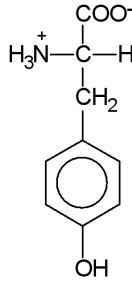


glutamin (Gln)

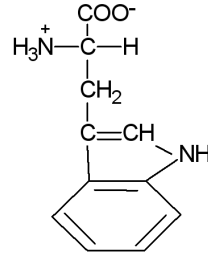
**3.2. ábra.** Az aminosavak csoportosítása, megnevezései, képletei és rövidítései

aromás *R*-csoport

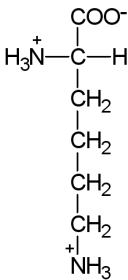
fenilalanin (Phe)



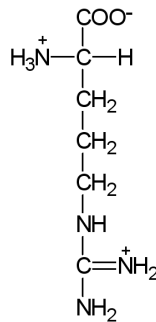
tirozin (Tyr)



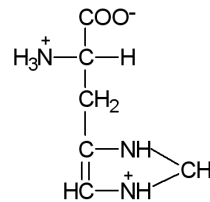
triptofán (Trp)

pozitív töltésű *R*-csoport (bázikus aminosavak)

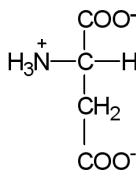
lizin (Lys)



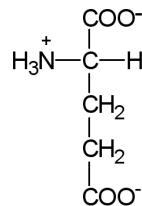
arginin (Arg)



hisztidin (His)

negatív töltésű *R*-csoport (savas aminosavak)

aszparaginsav (Asp)

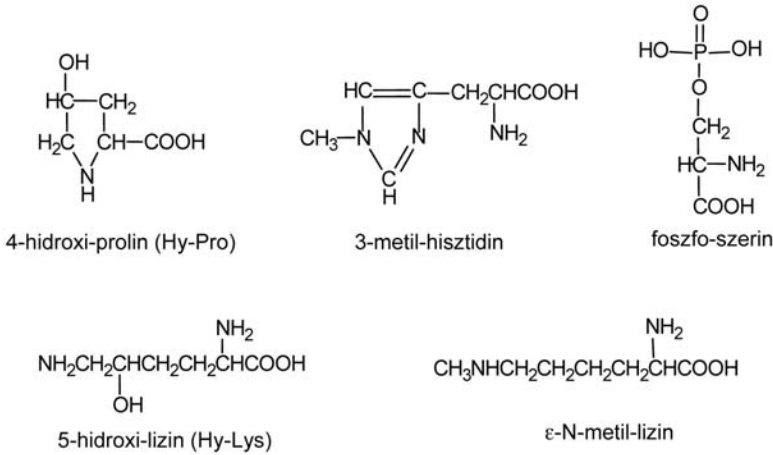


glutaminsav (Glu)

**3.2. ábra.** Az aminosavak csoportosítása, megnevezései, képletei és rövidítései

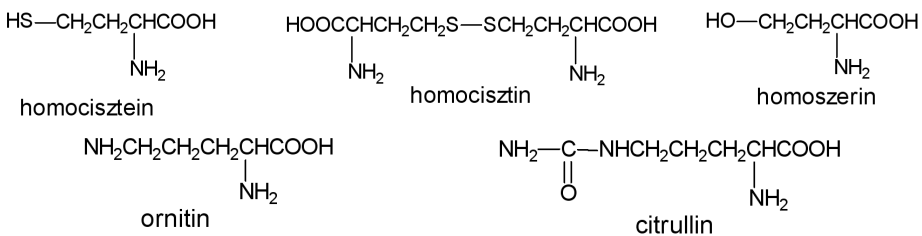


és a lizin hidroxilált származéka (hidroxi-prolin, hidroxi-lizin). Ezek az aminosavak szabad állapotban nem fordulnak elő, hidroxilálásuk a polipeptidlánc kialakulása után posztisztetikusan történik. Az izomfehérjékben előfordul a lizin és a hisztidin  $\varepsilon$ -N-metil-lizin és 3-metil-hisztidin származéka. Sokféle fehérjében található foszforilált aminosav, mint amilyen például a foszfoszerin (3.3. ábra).



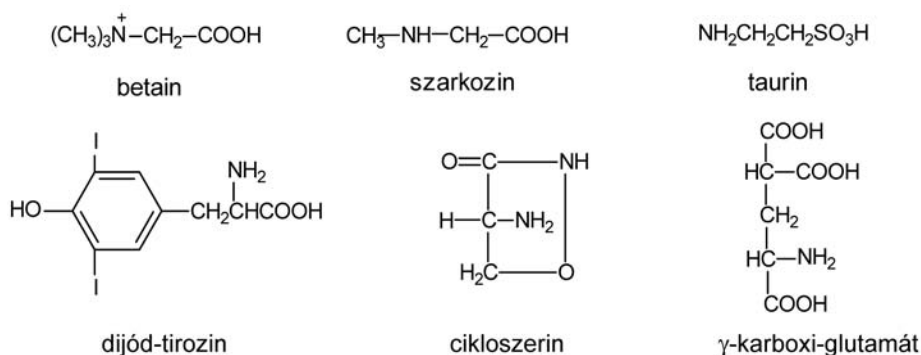
3.3. ábra. Néhány fontosabb aminosavszármazék

A fehérjealkotó aminosavakon kívül a N-anyagcserében részt vevő intermedierek az *ornitin* és a *citrullin*. Az aminosavak intermedier anyagcseréjének terméke a *homocisztein*, a *homocisztin* és a *homoszerin* (3.4. ábra). Egészséges emlősök szervezetében ez utóbbi három aminosav csak igen kis mennyiségben van jelen.



3.4. ábra. A nitrogén-anyagcserében résztvevő néhány különleges aminosav

Az aminocsoport  $\beta$ -szénatomhoz kapcsolódik a koenzim-A felépítésében részt vevő  $\beta$ -alaninban,  $\gamma$ -szénatomhoz az idegrendszer működését szabályozó  $\gamma$ -amino-vajsavban és a  $\delta$ -helyzetben a  $\delta$ -aminolevulinsavban. Az aminosavak néhány származéka bioaktív vegyületek prekuzora, mint például a dijódtirozin, amely a pajzsmirigyhormon prekuzora. Antibiotikus hatással rendelkezik a cikloszerin. A glicin metilálásával keletkezik a szarkozin és a betain. A cisztein oxidációjának és dekarboxilálásának terméke a taurin. A glutaminsav karboxilálása során keletkezik a K-vitamin-függő alvadási faktorokban található  $\gamma$ -karboxi-glutamát (3.5. ábra).



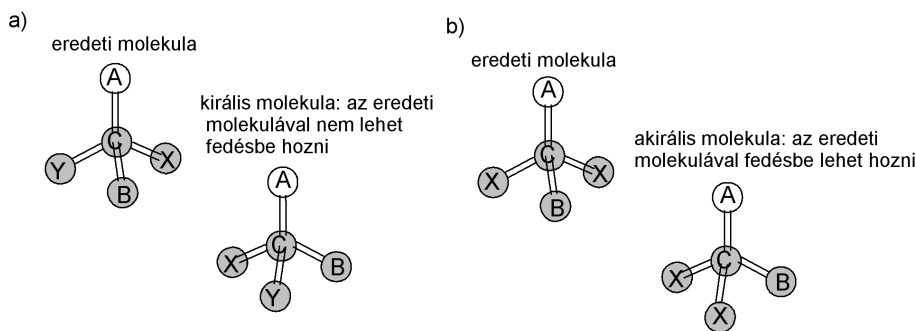
3.5. ábra. Néhány bioaktív aminosav-származék

### 3.1.2. Az aminosavak fizikai tulajdonságai

Oldhatóság szempontjából vizsgálva az aminosavakat megállapítható, hogy a prolin, a hidroxiprolin, a glicin és az alanin vízben jól oldható, míg a többi aminosav vízben rosszabbul oldódik. Vízben a tirozin és cisztin oldódik legrosszabbul. Szerves oldószerekben a poláros karakterű aminosavak rendkívül rosszul oldódnak. Savas vagy lúgos közegben az aminosavak oldhatósága a fellépő sóképződés következtében javul.

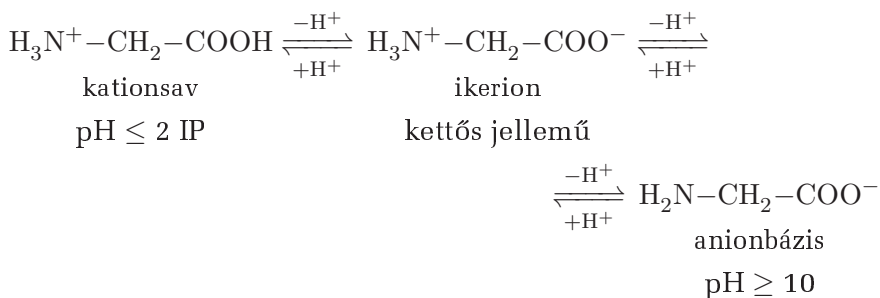
Az  $\alpha$ -helyzetű szénatom aszimmetriás, tehát az aminosavak optikailag aktívak (3.6. ábra). A glicin kivételével mindegyik aminosav rendelkezik aszimmetriás szénatommal, tehát a poláros fény síkját elforgatják. Az aminosavak közül kettő, a treonin és az izoleucin, két aszimmetriás szénatomot tartalmaz, ennek megfelelően az optikai izomerek száma

e két aminosav esetében négy. A *fehérjeépítő aminosavak*, eltekintve néhány speciális fehérjétől és a baktériumok sejtfalát alkotó peptidoglikánokban lévő D-aminosavaktól, *L konfigurációjúak*. A konfiguráció és a forgatás iránya közt semmiféle összefüggés nincs, mindkét konfigurációba tartozó aminosavak a poláros fény síkját jobbra is és balra is forgathatják. A D és az L konfiguráció forgatásának mértéke azonos, de iránya ellentétes. A specifikus optikai forgatás mértékét a mérés hullámhossza és a hőmérséklet is befolyásolhatja, ezért a specifikus forgatóképesség megadásakor az  $[\alpha]$  mellé megadjuk a hőmérsékletet, illetve a hullámhosszt is. Az optikai forgatás mértékét a közeg pH-ja is befolyásolja, mert a pH befolyásolja az aszimmetriás szénatom szubsztituenseinek konfigurációját. Ha a specifikus optikai forgatás ismert, az optikailag aktív anyagok koncentrációja meghatározható.



**3.6. ábra.** Királis, aszimmetriacentrummal rendelkező (a) és egy akirális, aszimmetriacentrummal nem rendelkező (b) molekula

Az  $\alpha$ -helyzetű szénatomhoz kapcsolódó R-csoport lehet apoláros, poláros, pozitív, illetve negatív töltésű. Az aminosavak amino- és karboxilcsoportjai neutrális oldatban ionos állapotban vannak, így minden aminosavnak legalább egy negatív ( $-\text{COO}^-$ ) és egy pozitív ( $-\text{NH}_3^+$ ) töltése van. Ezt a szerkezetet *ikerionos szerkezetnek* hívjuk. Savas irányba eltolva a pH-t, a karboxilion disszociációja protonálódás miatt visszazorol, a lúgos irányú pH-eltolódás pedig az aminosocsoport deprotonálódását okozza. Az a pH-érték, ahol az aminosav teljes mértékben ikerion formában van jelen, az az *izoelektromos pont*. A glicin esetében a változások a 3.7. ábra szerint alakulnak:



**3.7. ábra.** Az aminosavak ikerionos szerkezetének megváltozása a pH hatására

A Henderson–Hasselbalch-egyenlet szerint az aktuális proton donor és protonakceptor koncentrációból kiszámíthatjuk az aminosavak karboxil- és aminosoportjára jellemző disszociációs állandókat.

$$\text{pK}_{\text{COOH}} = \text{pH} - \lg \frac{[\text{ikerion}]}{[\text{kation}]},$$

illetve

$$\text{pK}_{\text{NH}_2} = \text{pH} - \lg \frac{[\text{anion}]}{[\text{ikerion}]}.$$

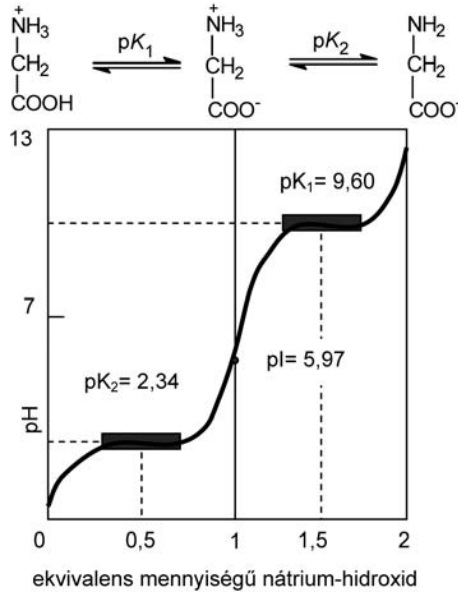
Az ikerion amfoter jellemű, mert az oldat  $\text{H}^+$ -koncentrációjától függően protonleadásra és protonfelvételre is képes. Ha az R-rész nem tartalmaz disszociálós csoportokat, akkor az aminosavak izoelektromos pontja a  $\text{pK}_{\text{COOH}}$ -tól és a  $\text{pK}_{\text{NH}_2}$ -től függ.

$$\text{IP} = \frac{\text{pK}_{\text{COOH}} + \text{pK}_{\text{NH}_2}}{2}.$$

Az aminosavak pK-értékei a disszociáló csoportokra, valamint az izoelektromos pont titrálás után megállapítható. Ha az aminosav több disszociáló csoportot tartalmaz, a görbén több pK-értékre jellemző inflexiós pont észlelhető. Jó példa erre a glutaminsav és a hisztidin, ahol a disszociáció három lépésben megy végbe, és ahol meg lehet határozni az R csoport  $\text{pK}_{\text{R}}$ -értékét is. A glicin esetében lejátszódó folyamatokat, illetve a titrálási görbe lefutását a 3.8. ábra mutatja.

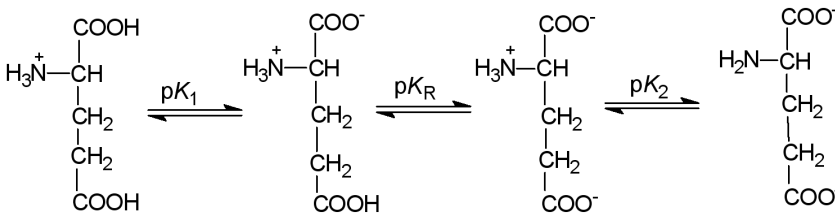
A glicin savas körülmények között egyszeres töltésű, pozitív ion, az izoelektromos ponton semleges molekula, majd a lúgos tartományban

egyszeres töltésű negatív ion. Hasonló titrálási görbét ad az összes többi, disszociációra képtelen oldalláncot tartalmazó aminosav is.



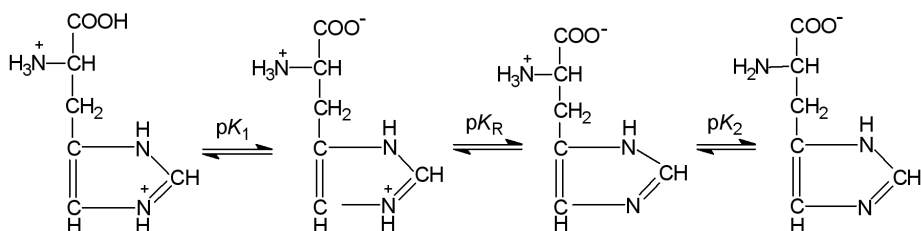
**3.8. ábra.** A 0,1M koncentrációjú glicin titrálási görbéje (a sötétített terület a legnagyobb pufferkapacitású részeket jelöli)

A glutaminsav savas körülmények között egyszeresen pozitív ion; a pH növelésével semleges molekulává, majd a továbbiakban egyszeresen negatív töltésű ionná (egy pozitív és egy negatív töltésű csoport), majd végül az aminocsoport protonvesztését követően kétszeresen negatív töltésű ionná válik (3.9. ábra).



**3.9. ábra.** A glutaminsav nátrium-hidroxiddal való titrálása során lejátszódó folyamatok

A hisztidin savas körülmények között kétszeresen pozitív töltésű ion, a karboxilcsoport deprotonálódását követően egyszeresen pozitív ionná válik, az indolcsoport deprotonálódását követően semleges molekulaként viselkedik, majd a pH további növelését követően egyszeresen negatív töltésű ion lesz belőle (3.10. ábra).



**3.10. ábra.** A hisztidin nátrium-hidroxiddal való titrálása során lejátszódó folyamatok

Az aminosavak  $\alpha_{\text{COOH}}$  csoportjai erősebb savak a megfelelő alifás karbonsavaknál, ami az  $\alpha$ -szénatomon lévő aminocsoport elektronszívó hatásával függ össze. Az  $\alpha$ -aminocsoportok viszont gyengébb bázisok, mint a megfelelő alifás aminok a szomszédos karboxilcsoport elektronszívó hatása miatt. A glicin és az ecetsav összehasonlításakor  $\text{pK}_{\text{COOH}}$  és a  $\text{pK}_{\text{NH}_2}$  értékek a következőképp alakulnak:

|            | $\text{pK}_{\text{COOH}}$ | $\text{pK}_{\text{NH}_2}$ |
|------------|---------------------------|---------------------------|
| Ecetsav    | 4,76                      | –                         |
| Glicin     | 2,34                      | 9,6                       |
| Metil-amin | –                         | 10,64                     |

Az aminosavak izoelektromos pontja (amennyiben az R-csoport nem tartalmaz disszociáló csoportot, tehát neutrális aminosavról van szó) pH 6 és 7 közé esik. Ha az R-csoport disszociáló csoportot tartalmaz, az izoelektromos pont a lúgos vagy a savas tartományba eshet. Ezen utóbbi aminosavak semleges közegben pozitív, illetve negatív töltésűek.

Az aminosavak közül három (a triptofán, a tirozin és a fenil-alanin) olyan aromás kromofor csoportot tartalmaz, amely az ultraibolya fényt absorbeálja. Abszorpciós maximumuk 261–290 nm között váltakozik. A moláris abszorpciós koefficiens (1M-os oldat, 1 cm rétegvastagságú kuvettában, az abszorpciós maximumon mért fényelnyelés) ismeretében

bármely abszorbeálóanyag koncentrációja spektrofotométerrel a *Lambert–Beer-törvény* alapján meghatározható.

$$\lg \frac{I_o}{I} = A = \varepsilon \cdot c \cdot l, \quad \text{ahonnan} \quad c = \frac{A}{\varepsilon \cdot l},$$

ahol:  $I_o$  és  $I$  = a beeső, illetve a kilépő fény intenzitása,  
 $l$  = a rétegvastagság (cm),  
 $c$  = a koncentráció (mol/dm<sup>3</sup>).

Mivel a fehérjék mindig tartalmaznak aromás aminosavakat, koncentrációjuk 280 nm-nél spektrofotometriásan meghatározható. Az aromás aminosavak mennyisége a fehérjékben azonban különböző, ezért meg kell határozni az egyes fehérjék abszorpciós koefficiensét, amire az 1 vagy a 0,1%-os fehérjeoldat szolgál.

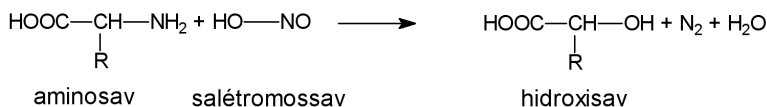
### 3.1.3. Az aminosavak kémiai tulajdonságai

Az aminosavak kémiai jellegét a bázikus jellegű –NH<sub>2</sub>-csoport, illetve a savas karakterű –COOH csoport szabja meg. Az aminosavakat a funkciós csoport szerint a következőképpen csoportosíthatjuk:

- *Monoamino-monokarbonsavak* azok az aminosavak, amelyekben a savas és bázikus csoportok száma azonos (glicin, alanin, cisztein, cisztin, szerin, fenil-alanin, tirozin, triptofán, treonin, metionin, valin, leucin, izoleucin, prolin, hidroxiprolin).
- *A diamino-monokarbonsavak* (lizin, ornitin), valamint a hisztidin és az arginin bázikus jellegűek.
- *A monoamino-dikarbonsavak* két karboxilcsoportot tartalmaznak, amelynek hatására savas kémhatásúak (aszparaginsav, glutaminsav).

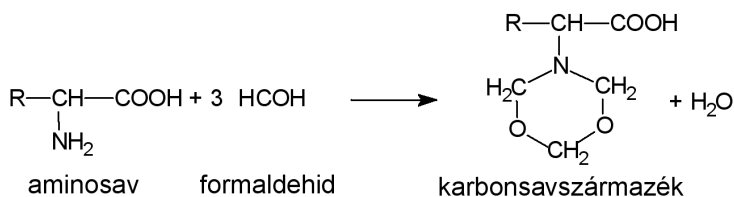
*A karboxilcsoport reakciói.* Dekarboxileződés az az átalakulás, amikor a karboxilcsoportból CO<sub>2</sub> hasad le, aminek során a megfelelő amin képződik. A szervezetben az enzimatis dekarboxileződés bír nagy jelentőséggel, amelynek következtében több, élettanilag fontos amin keletkezik. Észtereződés jöhet létre pl. etil-alkoholos közegben, sósavkatalízis mellett. Az aminosav-észterek bázikus karakterű vegyületek, amelyek desztilláció útján szétválaszthatók egymástól, s így lehetséges a fehérje-hidrolizátumok aminosav-összetételének meghatározása. Észter formában választjuk szét az aminosavakat a gázkromatográfiai eljárás során.

*Az aminocsoport reakciói.* Salétromossavval az aminosavak hidroxisavvá alakulnak át nitrogéngáz keletkezése közben, amelynek térfogatából az aminosavak mennyiségére következtethetünk (3.11. ábra).



**3.11. ábra.** Az aminosavak reakciója salétromossavval

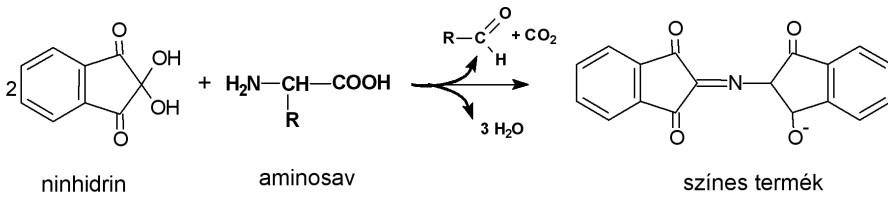
*Formaldehiddel* az aminocsoport hattagú heterociklusos gyűrűt alakít ki, aminek következtében az aminocsoport elveszíti bázikus karakterét. A megmaradt szabad karboxilcsoport nátrium-hidroxiddal megtitrálható; ez a reakció az alapja a *Sørensen-féle formol-titrálásos* fehérjemeghatározásnak (3.12. ábra).



**3.12. ábra.** Az aminosavak reakciója formaldehiddel

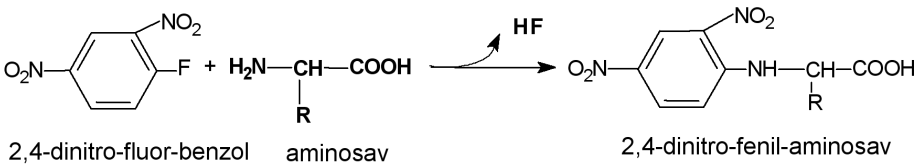
*Reakciók más funkciós csoportokkal.* Az aminosavak minőségi és mennyiségi meghatározásakor leggyakrabban a *ninhidrinreakciót* alkalmazzuk, mivel az aminosavak ninhidrin jelenlétében melegítve, szabad NH<sub>2</sub>-csoportjuknak köszönhetően, lilás-ibolyás színű reakciót produkálnak (3.13. ábra). A színes vegyület abszorpciós maximuma 570 nm-en található, melynek segítségével az aminosavak mennyiségileg meghatározhatók. A színes vegyületet – rendkívül leegyszerűsítve – a következő reakció produkálja:





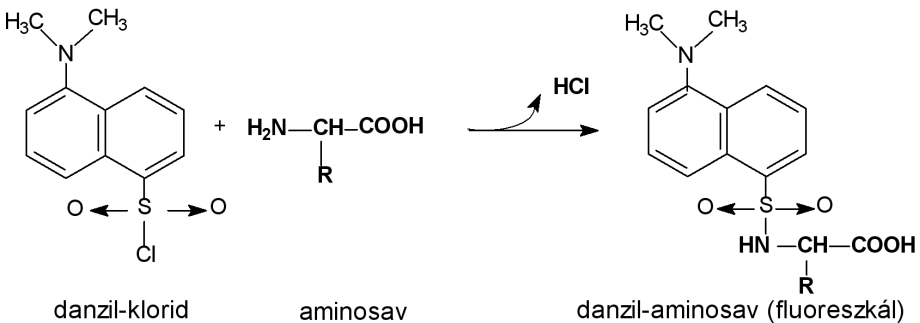
3.13. ábra. Az aminosavak reakciója ninhidrinnel

A dinitro-fluor-benzol az aminosavakkal sárga színű dinitro-fenil-származékot képez, amelyet Sanger az aminosocportok kimutatására, illetve az N-terminális aminosav meghatározására használt fel (3.14. ábra).



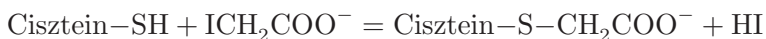
3.14. ábra. Az aminosavak reakciója 2,4-dinitro-fluor-benzollal

A dinitro-fluor-benzolhoz hasonlóan reagál az aminosocportokkal a danzil-klorid (1-dimetil-aminonaftalin-5-szulfonil-klorid) is. Fluoreszkáló tulajdonsága miatt ez a származék az aminosavak kimutatásának érzékenységét jelentős mértékben megnöveli (3.15. ábra).



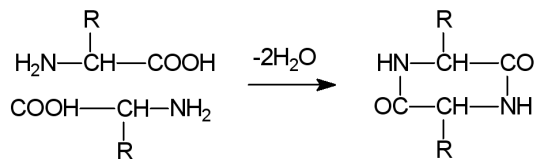
3.15. ábra. Az aminosavak reakciója danzil-kloriddal





Az előzőekben felsorolt reakciók a fehérjékben levő ciszteinil-oldalláncokra is jellemzők. A ciszteinhez hasonlóan a többi poláros aminosav kimutatására is több reakció ismert, amelyek során a kérdéses aminosavakkal színes vegyület keletkezik, ami alkalmas lehet az egyes aminosavak minőségi kimutatására és mennyiségi meghatározására.

*Az aminosavak közötti fontosabb reakciók.* A diketopiperazin-kötés két aminosav két-két funkciós csoportjai között lejátszódó reakció során jön létre, amely gyűrűs vegyületet ad (3.18. ábra). Erre a kötéstípusra akkor van lehetőség, ha az ellentétes karakterű funkciós csoportok térközelbe kerülnek egymáshoz. A polipeptidláncokban vagy láncok között akkor van nagy valószínűsége e kötés kialakulásának, ha monoamino-dikarbonsavakat, illetve diamino-monokarbonsavakat tartalmazó molekularészek kerülnek közel egymáshoz.

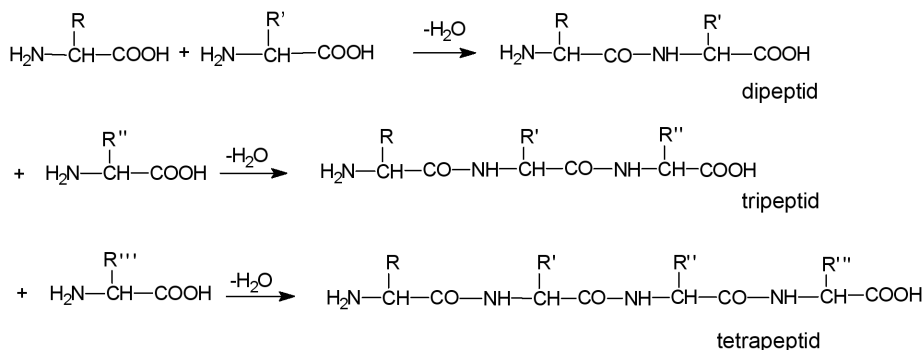


3.18. ábra. A diketopiperazin-kötés kialakulása

*Diszulfidhíd* a cisztein SH-csoportjának oxidációjával tud kialakulni. Az így egymáshoz kapcsolódó molekularészek révén igen stabil szerkezet jön létre, amely rendkívüli módon ellenáll az enzimes vagy kémiai ráhatásnak.

Az aminosavak legfontosabb reakciója a peptidek létrehozása. Ennek során az  $\alpha$ -amino és az  $\alpha$ -karboxilcsoportok egy másik aminosavhoz kapcsolódva, a peptidkötést vízkilépéssel alakítják ki (3.19. ábra). Két, három, négy vagy több aminosav kapcsolódása során di-, tri-, tetra- és oligopeptidek, ha az aminosavak száma meghaladja a százat, fehérjék keletkeznek.

*Az aminosavak meghatározása hidrolizátumokban.* Az aminosavakat elsőként aminosavészterek formájában, frakcionált desztillációval választották szét. Ezt követte a papírkromatográfiás technika, amelynek során a hidrolizátumot a speciálisan kezelt kromatográfiás



3.19. ábra. A peptidkötés kialakulása

papír startpontjába viszik fel, és az aminosavak jellegüknek megfelelő sebességgel fognak vándorolni az alkalmazott futtatószer összetételétől függően. A futtatás befejezése után az egyes aminosavak a retenciófaktor alapján beazonosíthatók és meghatározhatók. A vékonyrétegkromatográfiás meghatározás a papírkromatográfiás meghatározáshoz hasonló elven működik. E módszer előnye, hogy nagyobb mennyiségek vizsgálatára is alkalmas, és a futtatás ideje is lényegesen rövidebb. Az aminosavak korszerű meghatározása az ioncserés oszlop-kromatográfia elvén működő aminosav-analizátorral vagy nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával történhet. Az aminosav-analizátorban az aminosavakat aminosav-kationok formájában, kationcserélő műgyantán választják szét, növekvő pH-jú és növekvő nátrium- vagy lítiumion-koncentrációjú pufferek segítségével. Az ioncserélő műgyantáról folyamatosan távozó aminosavak oszlop utáni származékképzéssel (ninhidrin) színes vegyületekké alakulnak, amelynek intenzitása egyenesen arányos az aminosav koncentrációjával. Ismert mennyiségű aminosav-standardsorozat hasonló módszerrel nyert fényelnyeléséhez hasonlítva az aminosavak koncentrációja pontosan meghatározható.

## 3.2. Peptidek

A peptidek aminosavakból épülnek fel peptidkötéssel. A résztvevő aminosavak száma szerint megkülönböztetünk dipeptideket (2 aminosav, 1 peptidkötés), tripeptideket (3 aminosav, 2 peptidkötés), tetra-

peptideket stb. Ha a molekulában tíznél kevesebb aminosav található, akkor oligopeptidekről, tíznél több aminosav esetében polipeptidekről beszélünk. Fehérjének akkor nevezzük a polipeptidet, ha az aminosav-összetevők száma 100 vagy még több.

Két aminosavból, például glicinből és alaninból, attól függően, hogy az amino- vagy a karboxilcsoportjával kapcsolódik az egyik aminosav a másik aminosavhoz, kétféle dipeptid, glicil-alanin vagy alanil-glicin keletkezhet. E két dipeptid attól függetlenül, hogy mindkettőt ugyanaz a két aminosav alkotja, fizikai és kémiai tulajdonságaiban lényegesen eltér egymástól. Egy peptid vagy fehérje aminosav-sorrendjének leírását mindig azzal az aminosavval kezdjük, amelynek az  $\text{NH}_2$ -csoportja szabad (N-terminális, aminoterminális), és a szabad  $\alpha$ -karboxilcsoportot tartalmazó aminosav (C-terminális, karboxiterminális) felé haladunk.

Ha a peptid három aminosavból épül fel, az aminosavak sorrendje hatféle lehet, négy aminosav esetén 24-féle, öt aminosav esetén 120-féle aminosav-sorrend képzelhető el. A lehetséges variációk száma az  $n$  faktoriállal ( $n!$ ) egyezik meg. Öt aminosav esetén a lehetséges változatok száma:

$$5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120,$$

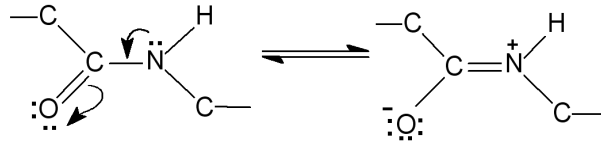
hat aminosav esetén:

$$6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 720.$$

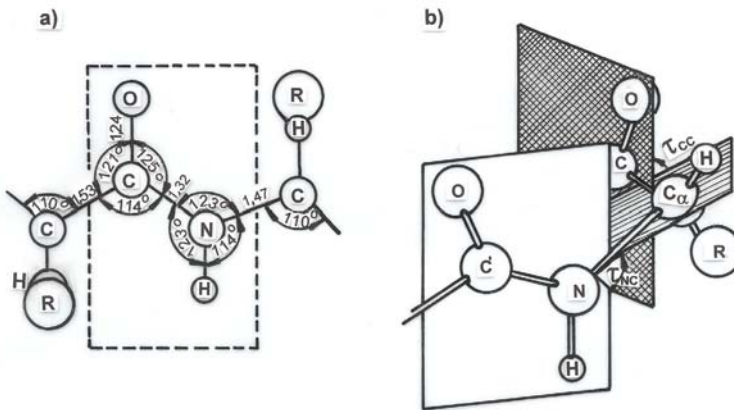
A száznál több húszféle aminosavból felépülő polipeptidlánc aminosav-sorrendje elvileg rendkívül nagy lehet, bár a valóságban ennek csupán csekély része realizálódik.

A peptidkötés kialakulására felírt reakcióegyenletből látszik, hogy a  $-\text{C}-\text{N}-$  egyes, a  $=\text{C}=\text{O}$  kettős kötéssel kapcsolódik egymáshoz, tehát az  $\text{NH}$ -csoport szubsztituált amidnak tekinthető. A peptidkötés mezométriája folytán azonban a  $-\text{C}-\text{N}$ -csoportok 40%-a kettős, a  $=\text{C}=\text{O}$ -csoportok 40%-a egyes kötéssel kapcsolódik egymáshoz (3.20. ábra).

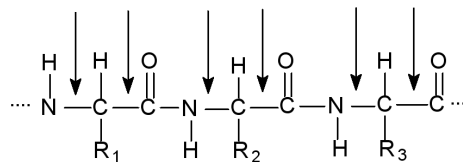
Ebből egyrészt az következik, hogy a peptidkötésben lévő  $\text{NH}$ -csoportnak nincs ionizációs hajlama, másrészt az, hogy a  $-\text{C}-\text{N}-$  peptidkötés merev, rotációs készsége minimális, a kötés körüli elforgatás akadályozott. Az  $-\text{N}-\text{C}-$  és a  $-\text{C}-\text{C}-$  körül viszont lehetséges az elfordulás, ezért a polipeptidlánc ezeken a helyeken meghajolhat, elcsavarodhat (3.21., 3.22. és 3.23. ábra).



3.20. ábra. A peptidkötés mezomériája



3.21. ábra. A peptidkötés egy síkban elhelyezkedő atomjai (a); az egymást követő peptidkötések meghatározott szöveget zárnak be (b)



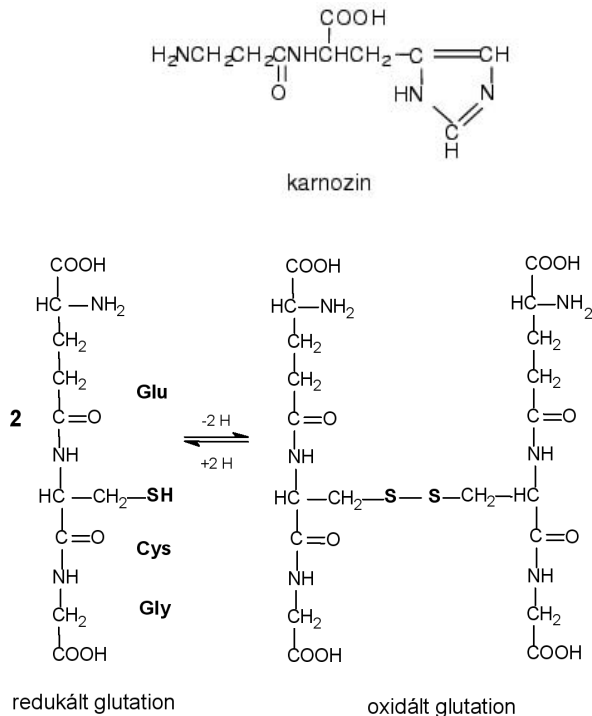
Pauling szerint a peptidkötés kialakításában részt vevő négy atom (C, O, N, H) egy síkban van.

A peptidok elektrokémiai sajátosságait a két terminális szabad aminos- és karboxilcsoport, valamint az oldalláncok ionizáló csoportjai határozzák meg. Minthogy a terminális csoportok ellentétes töltésű csoportjai peptidkötésben vesznek részt, ezek elektronszívó hatása a peptidben részt vevő aminosavak számától függően egyre kevésbé érvényesül.

A természetben nagyon sok és rendkívül változatos peptid fordul elő. Így az izmokban a *karnozin* ( $\beta$ -alanil-hisztidin) dipeptid, amelynek funkciójáról még nem sokat tudunk. Sokak által tanulmányozott



tripeptid a *glutation* ( $\gamma$ -glutamil-ciszteinil-glicin). Két glutation szulfhidrilcsoportja enyhe oxidáció hatására diszulfidkötéssel kapcsolódhat egymáshoz. A redukált és az oxidált glutation a sejtekben redoxrendszerként működik. A tripeptid különlegessége, hogy a glutaminsav nem az  $\alpha$ -, hanem a  $\gamma$ -karboxilcsoportjával kapcsolódik a ciszteinhez, aminek következtében a proteolitikus enzimek nehezebben tudják megtámadni és lebontani (3.24. ábra).

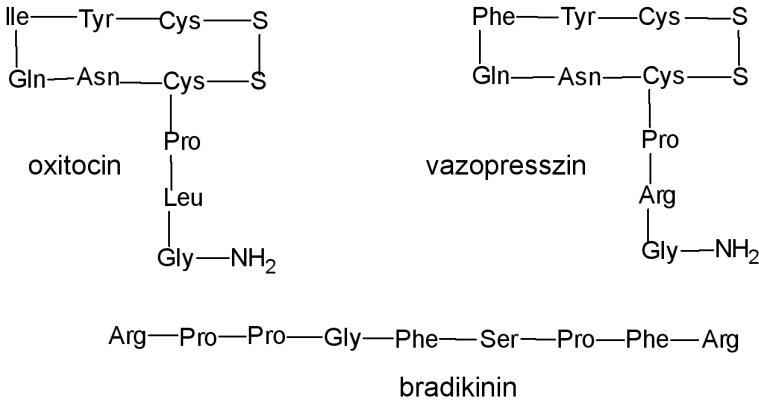


3.24. ábra. A karnozin, valamint a glutation redukált és oxidált formája

Számos hormonhatású peptid is ismert, amelyek közül talán legismertebb az *oxitocin*, a *vazopresszin*, az *adrenokortikotrop hormon* és az *inzulin*. Az oxitocin és a vazopresszin felépítésében rendkívül hasonló: egy hattagú ciklusból és egy háromtagú farokból állnak. Mindkét hormon a simaizmok működésére hat, azonban a szerkezetükben mutatkozó két aminosav különbség meghatározza specificitásukat. Az oxitocin a méhizomzat, a vazopresszin a vérédegyek simaizomsejtjeinek össze-



húzódását okozza. Az ugyancsak kilenc aminosavból felépülő egyenes láncú *bradikinin* a vérnyomást szabályozza (3.25. ábra).



3.25. ábra. Az oxitocin, a vazopresszin és a bradikinin

Fentiekén túl még az alábbi peptidhormonok ismertek szélesebb körben: a 14 aminosavból álló *növekedéshormon-reguláló faktor*, az embernél 39 aminosavból álló *adrenokortikotrop hormon*, a 84 aminosavból álló *parathormon*, a 32 aminosavból álló *kalcitonin*, a 90–92 aminosavból álló *lipotrop hormon* és a 191 aminosavból álló *prolaktin*. Ezenkívül nagyon fontos peptidhormon a *luteinizáló*, a *follikulusstimuláló* és a *tireoideastimuláló* hormon, valamint az *inzulin* és a *glukagon*. A különböző mikroorganizmusok, mint például a *Streptomyces* törzsek, olyan, szokatlan felépítésű, peptidszerű vegyületeket termelnek, amelyek igen kis koncentrációban ( $10^{-6}$ – $10^{-8}$ M) is gátolják a proteolitikus enzimeket. Ezekre a *proteázgátlókra* jellemző, hogy a fehérjealkotó aminosavaktól eltérő, más aminosavakat is tartalmaznak. A gátlóanyagok közül a leupeptin a *plazmint*, a *tripszint*, a *papaint* és a *katepszin B-t*, az antipain a *papaint*, a *tripszint*, a *katepszin A-t* és *B-t*, az elasztin pedig az *elasztázt* gátolja.

Az *ACTH* (adrenokortikotrop hormon) rendkívüli fontossága miatt érdemes pár szót ejteni a képződéséről. A hipofízisben keletkezik egy nagy, sok aminosavból álló fehérje, amely a proteolitikus enzimek hatására biológiailag hatékony, kisebb-nagyobb peptidekre hasad szét. E fehérje N-terminálisáról lehasad az ún. szignálpeptid, és a 31 kD tömegű proopiomelanokortin. Ezt követően három nagyobb szakaszra hasad

szét, amelyek közül a 22 kD méretű rész további proteolízis során négy kisebb egységre bomlik. Ezek közül egyik a melanocitastimuláló hormon ( $\gamma$ -MSH), a középső rész 4,1 kD tömeggel az adrenokortikotrop hormon (ACTH), a 11,7 kD méretű C-terminális szakasz pedig a  $\beta$ -lipotrop hormon. Az így keletkezett egységek is tovább hasadhatnak. A C-terminális szakaszból  $\gamma$ -lipotropin,  $\beta$ -endorfin és  $\beta$ -MSH keletkezhet.

Az *endorfin* elnevezés (az endo és a morfin összevonásából) a morfinhoz hasonló fájdalomcsökkentő hatásra utal. Az idegrendszerben ugyanazokhoz a célsejtekhez kapcsolódnak, mint a morfin. Az adenilát-ciklázon és a ciklikus nukleotidokon keresztül fejtik ki hatásukat. A morfinyszerű hatás az N-terminálison lévő pentapeptidhez, az enkefalinhoz kötött. Az enkefalinoknak két alakja ismert: a Tyr-Gly-Gly-Phe-Met szekvenciájú Met-enkefalin és a Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu szerkezetű Leu-

**3.1. táblázat.** *Néhány peptid ízküszöbértéke a konfiguráció és aminosavszekvencia függvényében ( $\text{mM}/\text{dm}^3$ ) (ha nincs külön jelölés, mindig L konfiguráció értendő)*

| Peptid          | Keserű ízintenzitás |
|-----------------|---------------------|
| Gly-Leu         | 19–23               |
| Gly-D-Leu       | 20–23               |
| Gly-Phe         | 15–17               |
| Gly-D-Phe       | 15–17               |
| Leu-Leu         | 4–5                 |
| Leu-D-Leu       | 5–6                 |
| D-Leu-D-Leu     | 5–6                 |
| Ala-Leu         | 18–22               |
| Leu-Ala         | 18–21               |
| Gly-Leu         | 19–23               |
| Leu-Gly         | 18–21               |
| Ala-Val         | 60–80               |
| Val-Ala         | 65–75               |
| Phe-Gly         | 16–18               |
| Gly-Phe         | 15–17               |
| Phe-Gly-Phe-Gly | 1,0–1,5             |
| Phe-Gly-Gly-Phe | 1,0–1,5             |

enkefalin. *Számos antibiotikum is peptid* (aktinomicin, bacitracin, nizin, gramicidin, penicillin).

A peptideknél igen fontos érzékszervi tulajdonság a keserű íz, amelynek kiküszöbölése egyes élelmiszerek előállításánál nagy probléma. A peptidek nagy része a konfigurációtól függetlenül keserű vagy semleges ízhatást mutat, az édes L-aszparaginsav-dipeptidek kivételével. A keserű íz intenzitása az egyes peptideknél eltérő. Néhány peptid ízküszöbértékét mM/dm<sup>3</sup>-ben a 3.1. táblázat tartalmazza.

A táblázatban látható, hogy az ízintenzitás jelentősen függ az oldalláncok hidrofobitásától. A peptidek keserű ízének előfordulásával elsősorban azoknál az élelmiszereknél kell számolnunk, ahol fehérjebontó enzimes folyamatok játszódnak le (pl. sajtok érése folyamán).

### 3.3. A fehérjék

#### 3.3.1. Általános tulajdonságok (szerkezet, molekulatömeg, oldhatóság)

A fehérjék igen változatos felépítésű makromolekulák, amelyek a sejtek szárazanyagának kb. 50%-át teszik ki. Nincs olyan biológiai jelenség, amely valamilyen módon ne lenne kapcsolatba hozható a fehérjékkel; a fehérjék kifejezői az élőlényekre jellemző összes sajátságnak, amit a biológiai információs rendszer tartalmaz. A fehérjék szerkezetét a funkciójuk szigorúan meghatározza.

A fehérjéket feloszthatjuk aszerint, hogy hidrolízisük során csak aminosavak keletkeznek (egyszerű fehérjék, proteinek), vagy az aminosavak mellett a hidrolizátum még egyéb alkotórészt (összetett vagy konjugált fehérjéket) is tartalmaz. Az *egyszerű fehérjék* elemi összetétele átlagosan 50% C, 7% H, 23% O, 16% N és 0–3% S. Az *összetett fehérjék* emellett egyéb alkotórészeket (pl. fémek, egyéb szerves vegyületek) is tartalmaznak. A fehérjék szerkezetével a 20. század elején kezdtek foglalkozni; *Emil Fischer* kísérletei járultak hozzá leginkább a fehérjék szerkezetének megismeréséhez. A század elején oldékonyságuk alapján osztályozva a fehérjéket, különböző csoportokat alakítottak ki (3.2. táblázat).

A prolaminok és a glutelinek növényi magvakban előforduló tartalék fehérjék. A szkleroproteinek csak tömény sávval vagy lúggal főzve, bomlás közben oldódnak fel.

**3.2. táblázat.** *A fehérjék csoportosítása az oldékonyság alapján*

| Csoport          | Oldékonyság  |
|------------------|--|
| Albuminok        | desztillált vízben, híg sóoldatokban                           |
| Globulinok       | híg sóoldatokban, desztillált vízben nem                       |
| Hisztionok       | híg savakban   |
| Prolaminok       | 50–80%-os alkoholban; tiszta vízben vagy tiszta alkoholban nem |
| Glutelinek       | híg savban vagy lúgban   |
| Szkleroproteinek | semmilyen oldószerben nem oldódnak                             |

A fehérjék funkció szerinti felosztása tájékoztatást ad biológiai szerepükről. Az enzimek közé sorolt fehérjékkel a későbbiek folyamán többször találkozunk. A *transzportfehérjék* feladata a szervek közötti szállítás; a határfelületeken keresztüli membrántranszport útján biztosítják a sejt és környezete közti kapcsolatot. A *védőfehérjék* a szervezet fertőzéssel vagy sérülésekkel szembeni védekezését teszik lehetővé. A *hormonok* a neurohormonális szabályozásban vesznek részt, míg a *struktúrfehérjék* a mozgáshoz biztosítanak szilárd vázat, és a külső védelmet is szolgálják. A *tartalék fehérjék* az embrionális fejlődés első szakaszában fehérjeraktáráként szolgálnak.

A *globuláris fehérjéknek* a tér egyik irányában sincs kitüntetett méretük, nagyjából gömb alakúak, bennük a polipeptidlánc tömör gombolyaggá gombolyodott össze. Általában olyan, biológiailag aktív, dinamikus funkciókat betöltő fehérjék tartoznak ide, mint például az enzimek és a transzportfehérjék. A statikus feladatokat betöltő *fibrilláris fehérjék* polipeptidlánca általában megnyúlt, kettésével, hármasával sodort fonalat alkot. Ez utóbbiak vízben rosszul oldódnak vagy oldhatatlanok, szerkezeti, mechanikai vagy védőfeladatokat látnak el. Ilyen például a haj, a bőr, a toll, a pata, a köröm fehérjéje, az  $\alpha$ -keratin, az inakat alkotó kollagén vagy a selyemlepke által készített fibroin. A rendkívül változatos fehérjék igen érzékenyen reagálhatnak a környezet változásaira. Ha a közeg hőmérséklete nő, ha a pH nő vagy csökken, ha a közegbe idegen anyagok, például só kerül, szerkezetük sok esetben felbomlik, irreverzibilisen elvesztik biológiai tulajdonságaikat, denaturálódnak. Nagyon lényeges tulajdonságuk, hogy más fajba jutva ellenanyagképzést indítanak meg; a fehérjék tehát immunaktív anyagok. Az összetett fe-

hérjék a nemfehérje komponens összetételét illetően is igen sokfélék lehetnek. A szervezetben nagy mennyiségben fordulnak elő lipoproteinek, amelyekben a fehérje lipidekkel kapcsolódik. A transzport *lipoproteinek* egyik csoportja a vérplazmában, a bélben és a májban a lipidek szállításában vesz részt, másik csoportjából lipidtartalmú membránok keletkeznek. A lipoproteinekben a fehérje és a lipid közötti kapcsolat nem kovalens jellegű.

A *glikoproteinekben* ezzel szemben a szénhidrát rész a fehérjével kovalensen kapcsolódik, a szénhidrát a fehérje integráns része; kapcsolódásuk sokféle kombinációs lehetőséget tesz lehetővé. A glikoproteinek egy részének igen speciális funkciója van; lehetnek például antigéndeterminánsok vagy vírusreceptorok. aminosav-sorrendjükben gyakori szekvencia az Asp-egyéb aminosav-Ser vagy az Asp-egyéb aminosav-Thr, amelyekben az aszpartil-oldallánchoz acetil-glükózamin kötődik. Mind a ribonukleáz-B, mind a ribonukleáz-A tartalmaz Asp-Leu-Thr szekvenciát; a B-ben ehhez szénhidrát kapcsolódik, az A-ban ilyen nincs. A *metalloproteinek* valamilyen kationt tartalmaznak komplex kötésben, amelynek az esetek nagyobb részében közvetlen szerepe van a fehérje funkciójának kialakításában.

### 3.3.1.1. *A fehérjék elsődleges, másodlagos, harmadlagos és negyedleges szerkezete*

A fehérjék felépítése a rendkívül sokféle feladatnak megfelelően nagyon változatos. Húszféle aminosavból polipeptidlánconként több százat is tartalmazhatnak, és az aminosavak kapcsolódásának sorrendje is rendkívül változatos lehet. Az aminosavak kapcsolódásának sorrendje jelenti a fehérjék elsődleges szerkezetét. A peptidlánccok nem maradnak meg fonal alakúnak, hanem egyes szakaszaikon kisebb-nagyobb, periodikusan rendezett szakaszok (csavarmenet vagy zezzugos rendeződés) alakulnak ki. A periodikusan rendezett szakaszok alkotják a fehérje másodlagos vagy szekunder szerkezetét. Globuláris fehérjék esetén a rendezett és rendezetlen szakaszokat tartalmazó peptidlánc összegombolyodik, és tömör, gombolyagszerű szerkezetet hoz létre, amelyben a poláros oldallánccok többsége a külső felületen, míg az apoláros oldallánccok jelentős hányada a polipeptidgombolyag belsejében helyezkedik el. Ez a fehérjék harmadlagos vagy terciér szerkezete. Végül rendszerint páros számú polipeptidgombolyag egymással nem kovalens kölcsönhatásokkal összekapcsolódik, és két vagy négy polipeptidlánccból (alegységéből)

álló molekulák alakulnak ki. Ez a fehérjék negyedleges vagy kvaterner szerkezete.

**A fehérjék elsődleges szerkezete.** A fehérjék aminosav-összetételének meghatározását ma már az ioncserés oszlopkromatográfia elvén működő aminosav-analizátorral, nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, esetleg gázkromatográfiával könnyen el lehet végezni. Ha a vizsgált fehérje molekulatömegét ismerjük, megállapíthatjuk a polipeptidláncban lévő aminosavak számát. Általánosságban elmondható, hogy:

– A globuláris fehérjékben a poláros és apoláros aminosavrészek száma nagyjából megegyezik (kivéve a membránfehérjékben).

– Nem minden fehérjében található meg az összes fehérjeépítő aminosav; több fehérje nem tartalmaz ciszteint, és sok fehérjéből hiányzik például a triptofán (ribonukleáz, hisztonok).

– Az aminosavak közül a metionin, a triptofán, a cisztein és a hisztidin kisebb koncentrációban található a többieknél.

– A funkciónak megfelelően egyes fehérjék aminosav-összetétele rendkívül sajátos. A fibrilláris fehérjékben igen sok a nem poláros aminosav; az elasztinban elérheti a 90%-ot. Néhány fibrilláris fehérje csak rendkívül kevés aminosavat tartalmaz; a selyemfibroin 45% glicin, 30% alanin és 18% szerin mellett aromás aminosavat egyáltalán nem tartalmaz. A sejtmag hisztonjai és protaminjai aránylag sok bázikus aminosavat tartalmaznak, de sok bázikus aminosav található például a *citochrom-c*-ben és a *lizozimban* is. A *pepszin* bázikus aminosavat nem, viszont sok savas aminosavat tartalmaz.

– A genetikai információ állandóságát tükrözi, hogy valamely faj egy adott fehérjéjének aminosav-összetétele mindig állandó.

**A fehérjék aminosav-sorrendje.** Az első fehérje aminosav-szekvenciáját *Sanger* határozta meg 1954-ben. Munkája eredményeként kiderült, hogy az inzulin két polipeptidláncból épül fel: az A-lánc 21, a B-lánc 30 aminosavat tartalmaz. A két láncot két diszulfidkötés kapcsolja össze, és ezenkívül még az A-láncban is van egy diszulfidhíd. Több fajból származó inzulin aminosav-sorrendjének összehasonlítása után a kutatók arra az eredményre jutottak, hogy azok az A-lánc 8–10. helyén lévő aminosavrészek kivételével egyeznek. A kutatások igazolták azt is, hogy az inzulin egy 80 aminosavból álló polipeptidláncként keletkezik a szervezetben; ez az ún. proinzulin akkor mutat hormonhatást, ha a lánc közepéről egy 30 aminosavból álló polipeptidrész kihasad, és kialakul

az egymástól független A- és B-lánc. Az ilyen átalakulások több, pankreaszban termelődő fehérjére jellemzőek; inaktív előalakban termelődnek, és proteolitikus hasítás után válnak biológiailag aktívvá.

Az elmúlt évtizedek során több száz fehérje aminosav-sorrendjét meghatározták. Mivel az aminosav-sorrend a biológiai információ „lenyomata”, az aminosav-sorrend alapján információkat kaphatunk a DNS-szakaszok és a róluk másolt mRNS-molekulák bázissorrendjére. Az ismert aminosav-szekvenciák alapján néhány következtetés fogalmazható meg.

*Egy fajon belül a funkcionálisan azonos fehérjék aminosav-sorrendje meghatározott*, míg a fejlődés különböző szintjein álló fajok homológ fehérjéinek aminosav-sorrendje többé-kevésbé különbözik. A szabály alól kétféle kivétel van: az egyik esetben azonos funkció ellátásához többféle polipeptidlánc szolgálhat (ilyenek pl. a hemoglobinek és az izoenzimek); ezeknek aminosav-sorrendje eltérő, de ugyanazon fajon belül megegyezik. A másik esetben egyéni különbségek lehetnek az aminosav-sorrendben, amikor mutáció következtében rendszerint csupán egy-egy aminosav-eltérés tapasztalható.

*Néhány esetben, mint például a citochrom-c-ben, megfigyelhető azonos aminosavak, mint pl. a Lys-Lys- vagy a Lys-Lys-Lys szekvenciák felhalmozódása.* A szekvenciahalmozódás nem gyakori, és ugyancsak inkább kivételként fordulnak elő ABABAB vagy az ABCDABCD sorrendhez hasonló, periodikusan ismétlődő szekvenciák (ABCD-vel a különböző aminosavakat jelöltük). Nem gyakoriak a génszakaszok duplikációjára utaló, ismétlődő szekvenciarészletek sem, mint amelyek az immunoglobulinokban találhatók.

A polipeptidláncokban adott helyen kétfajta aminosavcsere fordulhat elő. *Konzervatív* csere az, ha hasonló kémiai tulajdonságú és közel azonos méretű aminosavrészek cserélődnek (pl. treonin helyett szerin, glutaminsav helyett aszparaginsav, alanin helyett glicin). *Radikális* csere esetén a neutrális oldallánc helyére töltést viselő kerül (valin helyett glutaminsav vagy izoleucin helyett lizin), vagy kisméretű oldallánc helyére nagyméretű kerül (glicin cserélődik triptofánra). A konzervatív helyettesítés nem befolyásolja lényegesen a fehérje sajátságait, ezzel szemben a radikális helyettesítés csak akkor nem okoz változást, ha az a fehérje molekulaszervezetileg vagy funkcionálisan indifferens részén történik.

A polipeptidlánc egyes szakaszai konzervatívabbak, ezen szakaszon aminosavcsere egyáltalán nem, vagy csak nagyon ritkán fordul elő. 1963-ban *Harris* megállapította, hogy a 330 aminosavból felépülő

*D-glicerinaldehid-3-foszfát dehidrogenáz* enzimből *tripszines* hasítással nyert 18 aminosav-részből álló szakasz, amely a szubsztrátot megkötő ciszteinil-oldalláncot tartalmazza, a fejlődéstörténetileg egymástól igen távol álló fajokban is azonos. A globinok aminosav-sorrendjében két hisztidin-oldallánc minden fajból származó globinban megtalálható. Ezek az oldalláncok a fehérje proszтетikus csoportjában levő vasatommal létesítenek kapcsolatot.

Az előzőekben felsorolt esetekben a konzervatívizmust a fehérje funkciója határozza meg, ha ugyanis a funkcionális szempontból kritikus oldallánc kicserélődik, a fehérjék elveszítik a biológiai feladat betöltéséhez szükséges szerkezetüket.

A ferredoxinok különféle redoxreakciókban részt vevő, kevésbé specifikus enzimek, amelyek a nitrogén- vagy kénvegyületek redukciójában, a nitrogénfixálásban és a fotoszintézisben játszanak szerepet. A bakteriális ferredoxin kb. 60 aminosavból felépülő molekula, amely két, csaknem azonos félből áll. Egyes aminosav-részek mindkét láncfélben azonos helyen találhatóak, amiből arra lehet következtetni, hogy a ferredoxin valaha kb. 30 aminosavból állt, és génduplikáció következtében alakult ki a 60 aminosav-részből álló molekula. A molekula második fele változó-konyabb, ebben több az aminosavcsere, mint az első láncfélben. Ebből az következik, hogy a második láncfelet kódoló információszakaszon valószínűleg gyakrabban fordulnak elő mutációk.

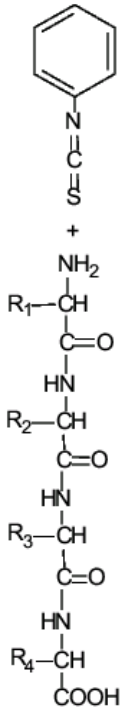
Az aerob szervezetek elektrontranszportjában részt vevő *citochrom-c-ben* a fejlődéstörténetileg egymáshoz közelálló fajok aminosav-sorrendjében kevés az eltérés, de a távoli fajok esetén is sok a hasonlóság. A lánc 14. és 16. aminosava minden esetben cisztein; ez köti meg a hem proszтетikus csoportot. Ugyancsak megegyezik a lánc 70. és 80. aminosava közti aminosav-sorrend minden fajban. Megállapították azt is, hogy az aminosavcserek száma és a fajok fejlődésében mutatkozó fejlődéstörténeti és időbeli távolság között egyenes arány áll fenn, így a cserek száma alapján a vizsgált fajok leszármazási törzsfája megalkotható. Hasonló törzsfák természetesen más vizsgált fehérjére is felállíthatók.

*Hogyan lehet a fehérjék aminosav-sorrendjét meghatározni?* Sanger az 1950-es években a következő lépésekből álló aminosavsorrend-meghatározási metodikát dolgozta ki:

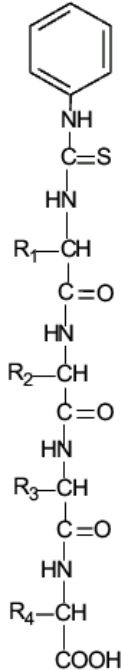
Az első lépés a polipeptidlánc izolálása homogén alakban. Ha a peptidlánc ciszteinilrészeket is tartalmaz, azokat perhangyasavval ciszteinszulfonsavvá kell oxidálni. Ezt követően a minta egy részletét 6M-os sósavval, 110 °C-on, 24–72 órán keresztül hidrolizáljuk, majd meghatá-



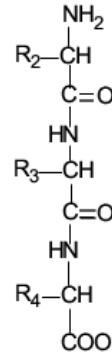
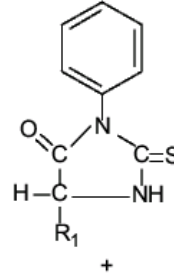
## fenil-izotiocianát



tetrapeptid



fenil-tiokarbamil

N-terminális aminosav  
fenil-tiohidantoin származéktripeptid maradék  
az eredeti tetrapeptidből

## 3.26. ábra. Az aminosav-szekvencia meghatározása Edmann-degradációval

rozzuk a minta aminosav-összetételét ioncserés oszlopkromatográfiával. Ezt követően a minta másik részéből a polipeptidlánc N- és C-terminális aminosavrészeit határozzuk meg.

A következő lépés a polipeptidlánc specifikus hasítása kisebb szakaszokra, meghatározott oldalláncokat tartalmazó kötések felhasításával. A speciális hasítást mind kémiai módszerekkel, mind enzimek segítségével elvégezhetjük. A kémiai eljárások közül a legismertebb a metionil-oldalláncok melletti peptidkötés hasítása cián-bromiddal. A cián-bromid a metionin karboxilcsoportja felől hasítja a peptidláncot, és mivel a fehérjékben kevés metionil-oldallánc fordul elő, a brómcian-oxidációval kisszámú, nagyméretű peptidfrakcióhoz jutunk. Másik

lehetőség a polipeptidlánc szelektív fragmentálására a proteolitikus enzimekkel való hasítás, amelyek csak meghatározott oldalláncok melletti peptidkötéseket hasítanak. Így például a *tripszin* a lizin és az arginin C-terminálisa, a *kimotripszin* a fenil-alanin, a triptofán és a tirozin C-terminálisa, a *pepszin* a fenil-alanin, a triptofán és a tirozin N-terminálisa, a *szubmaxillaris proteáz* az arginin C-terminálisa, a *Staphylococcus aureus V 8 proteáz* pedig az aszparaginsav és a glutaminsav C-terminálisa mellett hasítja a peptidláncot. A kémiai vagy enzimes hasítást követi a peptidek izolálása és tisztítása.

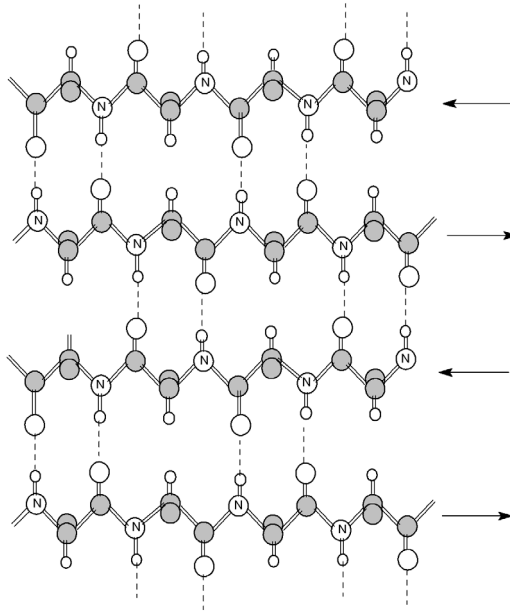
Az izolálás és tisztítás után meghatározzuk az egyes frakciók aminosav-összetételét, megállapítjuk az N- és a C-terminális aminosavat, majd újabb hasítás következik olyan proteolitikus enzimekkel, amelyeket az előző körben nem alkalmaztunk. A kapott újabb fragmentumoknak ismét meghatározzuk az aminosav-összetételét és az N- és C-terminális aminosavát.

Az N-terminális szekvencia meghatározása *Edmann-degradációval* (3.26. ábra) is elvégezhető. Ennek a lényege az, hogy a polipeptidet fenil-izotiocianáttal reagáltatjuk, majd sósavas hidrolízis után meghatározzuk a fenil-tiohidantoin aminosav-származékot. Ezt az eljárást többször megismételve az N-terminális felől, az aminosavak sorrendje meghatározható.

Ma már rendelkezésünkre állnak olyan szekvenátorok, amelyekkel 30–70 aminosavból álló polipeptidlánc aminosav-sorrendje automatikusan meghatározható.

**A fehérjék másodlagos szerkezete.** A szerves molekulákban a kötések körül az atomok mozgási szabadsága viszonylag nagy, egymáshoz képest rendkívül sok térbeli elhelyezkedés alakulhat ki. A polipeptidlánc úgy tekinthető, mintha végtelen sok konformációja lenne, amelyek a hőmozgás következtében szüntelenül egymásba alakulnak. Az élő sejt viszonyai között létező, az adott viszonyok között legstabilabb alakot *natív konformációnak* hívjuk. A sejtben keletkező polipeptidláncok többsége nem marad meg fonal alakúnak, hanem jól definiált háromdimenziós térszerkezetet alakít ki. A fehérjék térszerkezetének megismerését a röntgen struktúranalítika tette lehetővé 1930 táján. Ekkor megállapították, hogy a fonalas szerkezetű fehérjékben a fonal tengelye mentén 0,50–0,55 nm-enként ismétlődő egységek mutathatók ki. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy a polipeptidlánc nem nyújtott, hanem valamilyen módon csavarodott. A hajban, a körömben, a tollban és a patában előforduló

$\alpha$ -keratin esetében megfigyelték, hogy feszítés hatására az ismétlődő egységek távolsága megváltozik. Az 1940-es évek elején *Pauling* és *Corey* bizonyította, hogy a polipeptidláncok kétfajta, periodikusan rendezett szerkezetet alakíthatnak ki.

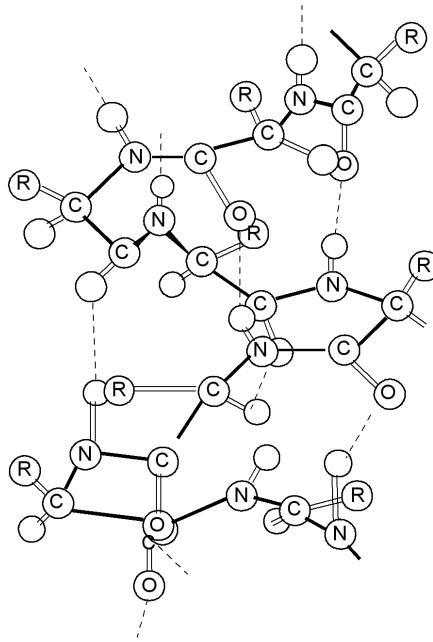


**3.27. ábra.** A  $\beta$ -szerkezetű lemez kialakulása párhuzamosan futó, feszített polipeptidláncokból (a szaggatott vonalak a hidrogénkötéseket jelölik)

E szerkezetek közül egyszerűbb a  $\beta$ -szerkezet ( $\beta$ -hajtogatott lemez, zezzugos, cikkcakkos fonalak), amely két vagy több polipeptidlánc vagy polipeptidlánc-szakaszok közt alakul ki úgy, hogy a karbonil- és iminocsoportok hidrogénkötéseket képeznek (3.27. ábra). A  $\beta$ -szerkezetnek viszonylagos stabilitása miatt különleges jelentősége van a nagy mechanikai igénybevételeknek kitett szövetben, de ez a forma előfordulhat globuláris fehérjékben is. A polipeptidláncok lefutása szerint a  $\beta$ -szerkezetnek két típusa ismert: ha a láncok párhuzamosan futnak, párhuzamos, ha a tükörképi szimmetriának megfelelően futnak, antiparallel szerkezetről beszélünk.

A periodikus rendezettség másik típusa az  $\alpha$ -hélix, amelyben a polipeptidlánc az óramutató járásával megegyező irányban, csavarmenetszerűen rendeződik. Egy csavarmenetet 3,6 aminosavrész alkot; a csavarmen-

net átlagos magassága 0,54 nm. Az  $\alpha$ -hélix szerkezet stabilitását a hidrogénkötések biztosítják, az oldalláncok a hélix által alkotott képzeletbeli hengerpalást sugarainak irányában helyezkednek el. A hélix szerkezetet nagyszámú hidrogénkötés stabilizálja, amely a legkisebb szabadenergiájú állapotnak megfelelően, spontán alakul ki. Ott, ahol a peptidlánc prolincsoportot tartalmaz, az  $\alpha$ -hélix megszakad, mivel a prolincsoport nem képes hidrogénkötés kialakítására (3.28. ábra).



**3.28. ábra.** A jobbra forgató  $\alpha$ -hélix szerkezet kialakulása (a szaggatott vonalak a hidrogénkötéseket jelölik)

A fehérjealkotó természetes L-aminosavakból képződő  $\alpha$ -hélix jobbmenetes, csavarodása az óramutató járásával megegyezik. Szintetikus polipeptidokban kialakulhat akár jobb-, akár balmenetes  $\alpha$ -hélix is. A pozitív töltésű oldallánccal rendelkező polilizin és a negatív töltésű oldallánccal rendelkező poli- $\alpha$ -glutamát neutrális vizes oldatban nem képez hélixet, mert a töltések megakadályozzák a hélix kialakulását. Ha a  $H^+$  koncentrációjának változtatásával a disszociációt megszüntetjük, mindkét esetben spontán kialakul a helikális szerkezet. Elemelve azt, hogy ismert térszerkezetű fehérjékben a különféle aminosavrészek milyen gya-

korisággal fordulnak elő, ki lehet mutatni a különböző aminosavrészek hatását a fehérje másodlagos szerkezetére.

Az  $\alpha$ -hélix-képzés során:

- erős hélixképző a glutaminsav, az alanin és a leucin,
- közepes hélixképző a hisztidin, a metionin, a glutamin, a triptofán, a valin és a fenil-alanin,
- gyenge hélixképző a lizin és az izoleucin,
- indifferens az aszparaginsav, a treonin, a szerin, az arginin és a cisztein,
- erős hélixrontó a prolin és a glicin.

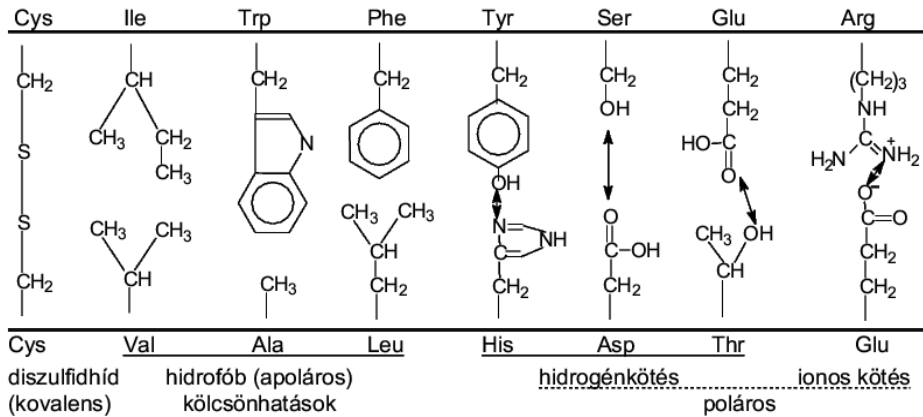
A  $\beta$ -redőképzés szempontjából:

- erős redőképző a metionin, a valin és az izoleucin,
- közepes redőképző a cisztein, a tirozin, a fenil-alanin, a glutamin, a leucin, a treonin és a triptofán,
- gyenge redőképző az alanin,
- indifferens az arginin, a glicin és az aszparaginsav,
- gyenge redőrontó a lizin, a szerin, a hisztidin, az aszparagin és a prolin,
- erős redőrontó a glutaminsav.

Az előzőekben felsoroltak ggán, ismerve a polipeptid- vagy fehérjelánc aminosav-összetételét, nagy valószínűséggel megjósolható az  $\alpha$ -hélix, a  $\beta$ -redőzött szerkezet vagy a rendezetlen (random coil) struktúra kialakulása.

**A fehérjék harmadlagos szerkezete.** A natív fehérjékben a periodikusan rendezett szakaszok a nem rendezett szakaszokkal váltakoznak, de ezek a peptidlánc-szakaszok sem tekinthetők teljesen rendezetlennek. Csak olyan láncszakaszokat tekintünk rendezetlennek, amelyek a statisztikus valószínűség alapján számos, különféle konformációban létezhetnek. A periodikusan rendezett szakaszok közötti részek teszik lehetővé, hogy a periodikus szakaszok egymáshoz közel kerüljenek, hogy rendszerint nagyon tömör, háromdimenziós, gombolyagszerű térszerkezet alakuljon ki. A harmadlagos, gombolyagszerű szerkezetet, különösen a globuláris fehérjék belső, hidrofób magjának kialakulását, a nem poláros oldalláncok segítik elő. Ezek egymás közelében igyekeznek elhelyezkedni, apoláros kapcsolatokat létrehozva. A globuláris fehérje belsejében tehát apoláros oldalláncok helyezkednek el, míg a felületet inkább a poláros oldalláncok foglalják el.

A háromdimenziós szerkezetben az egymástól távollévő aminosav-oldalláncok a lánc összegombolyodása következtében közel kerülhetnek egymáshoz. A hidrofób kölcsönhatásokon kívül kialakulhatnak hidrogénkötések (3.30. ábra) vagy elektrosztatikus kölcsönhatások is. Létrejöhetnek továbbá a ciszteinil-oldalláncok oxidációja következtében másodlagos kovalens kötések, diszulfidhidak. A felsorolt kötéstípusok együttesen biztosítják, hogy a fehérjemolekula harmadlagos szerkezete az adott körülmények között fennmaradjon (3.29. ábra).



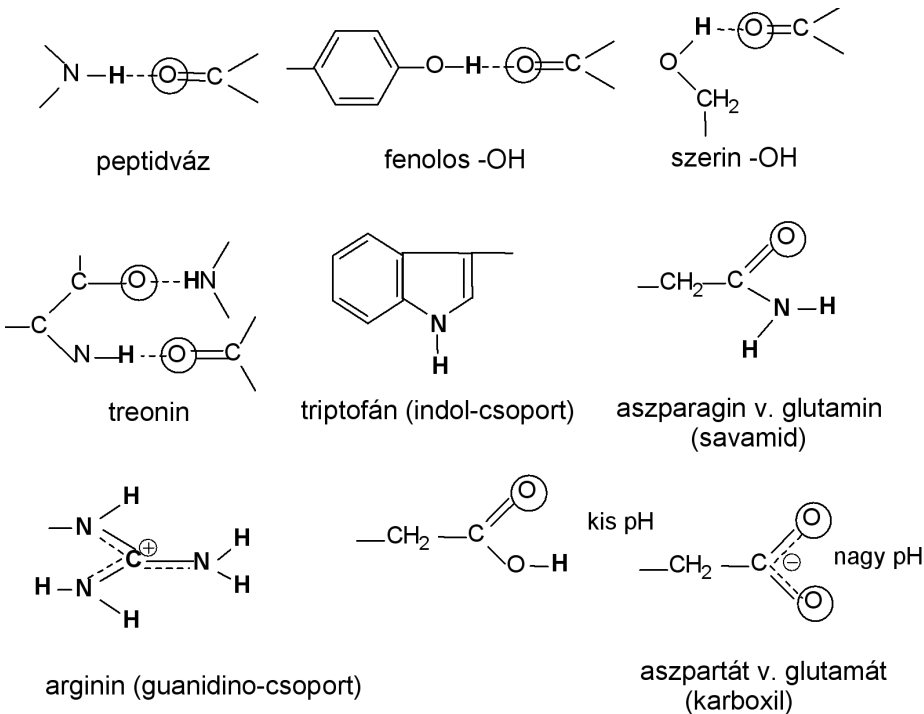
3.29. ábra. Kötéstípusok a fehérjeláncok között

Az  $\alpha$ -hélix kialakulásának feltétele egy kritikus méret, azaz minimális számú vagy a minimálisnál több aminosavnak együtt kell működnie a rendezettség létrejöttéhez. A háromdimenziós szerkezet kialakításához a láncszakaszok közötti szoros kapcsolatok szükségesek. A kötések vagy egyfajta kötéstípus megszüntetése a polipeptidlánc szerkezetének teljes felbomlását, denaturációját okozhatja. Az  $\alpha$ -hélix és a  $\beta$ -szerkezet az őket stabilizáló hidrogénkötések nélkül nem létezhetnek, mert a peptidkötések közötti hidrogénhidak energiája valamivel kisebb, mint a vízmolekulák közti hidrogénkötéseké. A víz erősebb hidrogénkötés-képző anyag lévén, a kötések megbonthatnák, hogy ez mégsem történik meg, annak az az oka, hogy:

- a molekula belsejében a nem poláros környezetben lévő hidrogénhidak viszonylag stabilak, mert ezekhez nem kerül közel a víz, másrészt

– a hidrogénhidak fenntartása szempontjából jelentékeny a többi kötés energiájának hozzájárulása is.

Funkcionális szempontból jelentős, hogy az egymás közelébe kerülő oldalláncok saját kémiai tulajdonságaikat kölcsönösen megváltoztathatják, és olyan kémiai tulajdonságokat nyerhetnek, amelyek kémiai szerkezetükből nem következnek. Ilyen pl. az, hogy az enzimek egyes oldalláncai a szubsztrátokkal kapcsolatot létesíthetnek, hogy az ellenanyag a specifikus antigénnel kombinálódjon, vagy hogy a receptor a megfelelő szignállal reagáljon.



3.30. ábra. A hidrogénkötések előfordulási lehetőségei a fehérjeláncban

Az oldalláncok egymással és a vízzel kialakított kölcsönhatásai lehetővé teszik, hogy a fehérjeszintézis során keletkező egydimenziós polipeptidlánc háromdimenziós térszerkezetet alakítson ki. Példa erre a 124 aminosavrészből felépülő ribonukleázmolekula, amelyben négy diszulfidkötés található. Ha a diszulfidkötéseket  $\beta$ -merkapto-etanolal tömény karbamidoldatban redukáljuk, a kötések felhasadnak, az enzim térszer-

kezete karbamid hatására rendezetlenné válik, és elveszíti aktivitását. Ha a karbamidot és a  $\beta$ -merkaptó-etanolt eltávolítjuk, a levegő oxidáló hatására a diszulfidkötések néhány óra alatt újraképződnek, és helyreáll az enzim háromdimenziós szerkezete és aktivitása. Ha viszont a diszulfidhidakat gyors oxidációval, pillanatszerűen alakítjuk ki erélyes oxidálószer segítségével, sem az eredeti szerkezet, sem az enzimaktivitás nem tér vissza. Ilyenkor a ciszteinil-oldalláncok nem az eredeti sorrendnek megfelelően kapcsolódnak. Ezt a hibát úgy lehet kiküszöbölni, hogy a gyorsan oxidált enzimhez kevés redukálószerrel (pl. ciszteint) adunk, ami a hibás kötéseket felhasítva lehetővé teszi a megfelelők kialakítását, majd a továbbiakban a diszulfidkötések felhasadását és újraképződését. Így megfelelő idő után a szerkezet is és a biológiai aktivitás is teljesen helyreáll. Ehhez hasonló kísérleteket a diszulfidhíddal rendelkező más fehérjékkel is el lehet végezni. Összefoglalva tehát, a fehérjék biológiai aktivitással bíró térszerkezetének kialakulásához nem szükséges semmiféle extra információ, mert az aminosav-sorrend kellő információt tartalmaz ahhoz, hogy az adott körülmények között a termodinamikailag legstabilabb konformációnak megfelelő térszerkezet alakuljon ki.

Az első fehérje, amelynek térszerkezetét megállapították, a mioglobin volt. A mioglobin egy 152 aminosavból felépülő polipeptidlánc, molekulatömege 16 700; vas-porfirin prosztetikus csoportot tartalmaz. A mioglobin polipeptidlánca kb. 70%-ban helikális struktúrájú, a molekula 8 helikális szakaszt tartalmaz. A legrövidebb hélix 7, a leghosszabb 23 aminosavból áll. A molekula igen tömör, ezért belsejében csupán néhány vízmolekula fér el. Az előzőekben elmondottaknak megfelelően a poláros csoportok a molekula felületén, a vizes közeg felé mutatva hidratálva, az apoláros oldalláncok csaknem mindegyike a molekula belsejében hidrofób magot képezve található. A proлил-oldallánc csak a nem helikális kanyarokban található meg, de itt van néhány olyan más aminosav is, amely nem vesz részt a hélix alkotásában (izoleucin, szerin, pH 7-en töltéssel rendelkezők).

A mioglobin szerkezete semmiféle belső szimmetriát nem mutat, ezért a térszerkezet kialakulásakor az aszimmetria mértéke növekszik. A különböző emlősfajokból izolált mioglobिनok szerkezete nagyon hasonló egymáshoz, sok tekintetben megegyezik a hemoglobinnal. A hem (Fe-porfirin) prosztetikus csoport két helikális szakasz által kialakított mélyedésben foglal helyet úgy, hogy a hidrofób része a fehérjemolekulához kapcsolódik, míg a hidrofил része a vizes közeg felé mutat. A közelmúltban megismertük a *citochrom-c*, a *kimotripszin*, a *lizozim* és



a *ribonukleáz* térszerkezetét. A különböző fehérjékben a rendezett és a rendezetlen szerkezetű részek aránya igen különböző, bár általánosan megfigyelhető, hogy a molekulák igen tömörek, a hidrofób oldalláncok a molekula belsejében, a hidrofilek pedig a molekula felületén helyezkednek el.

A molekulák azon területén, amely a fehérje funkciója szempontjából jelentős oldalláncokat és funkciós csoportokat hordoz, mélyedés, zsebszerű forma alakul ki. A globuláris fehérjéket a szerkezetüket kialakító periodikus elemek jelenléte alapján öt nagyobb csoportba sorolhatjuk:

- zömében  $\alpha$ -hélix-tartalmú globinok,
- periodikus rendezettségként nagy mennyiségben csak  $\beta$ -szerkezetet tartalmazók,
- $\alpha$ - +  $\beta$ -szerkezetet is tartalmazók, de a két szerkezet egymástól elválasztva található,
- $\alpha/\beta$ -szerkezetűnek tekintjük azokat, ahol a kétféle periodikus szerkezet váltakozva fordul elő,
- a viszonylag sok diszulfidkötést tartalmazó fehérjékben a periodikus rendezettség kevés vagy esetleg teljesen hiányzik.

**A fehérjék negyedleges szerkezete.** A polipeptidlánc szintézise után a fehérjéknek csak kis része marad meg egy polipeptidláncból álló monomerként, nagyobb részük több, rendszerint páros számú polipeptidláncból álló egységgé asszociál, azaz dimerek, tetramerek keletkeznek. Az asszociálódó polipeptidláncok azonos vagy eltérő kémiai felépítésűek lehetnek. A négy azonos alegységből felépülő *glicerinaldehidfoszfát dehidrogenáz*  $\alpha_4$ , a két-két azonos láncból álló hemoglobin  $\alpha_2\beta_2$ -szerkezetű. A negyedleges szerkezet kialakulásának több lehetősége ismeretes:

Kémiailag és funkcionálisan is azonos polipeptidláncok asszociálódnak.

Funkcionálisan azonos, de kémiailag különböző polipeptidláncok kapcsolódnak. Enzimek esetében nem ritka, hogy többféle kémiai felépítésű alakjuk létezik, amelyeket izoenzimeknek hívunk. A *tejsav dehidrogenáz* kétféle polipeptidláncból ötfajta kombinációban kapcsolódhat:  $\alpha_4$ ;  $\alpha_3\beta_1$ ;  $\alpha_2\beta_2$ ;  $\alpha_1\beta_3$  és  $\beta_4$ .

Funkcionálisan és kémiailag is különböző láncok kapcsolódnak a regulációs enzimek egyik csoportjában. Gyakori pl., hogy az egyik peptidlánc katalitikus, a másik regulációs tulajdonságú. A kétfajta lánc kapcsol-

lódásakor az enzim rendszerint inaktív; ha a regulációs rész disszociál, az enzim aktívvá válik.

Többféle felépítésű és többféle funkciójú peptidláncból alakulnak ki az enzimkomplexek. A *piruvát dehidrogenáz* enzim 3–5 különböző funkciót lát el; mintegy 60 polipeptidláncból áll.

A fehérjék negyedleges szerkezetének kialakulása ugyancsak azok önrendező tulajdonságaival függ össze. Ha a polipeptidláncok közötti kapcsolatot megszüntetjük, az oligomer monomerekre disszociál, a disszociációt előidéző hatás megszüntetése után viszont az eredeti negyedleges szerkezet és funkcionális tulajdonságok helyreállhatnak. Ezt az teszi lehetővé, hogy a láncok szerkezeti tulajdonságai egymást kiegészítik, azaz a kapcsolódó felületek komplementerek. A kapcsolódó felület és töltésmintázat a másikkal kiegészül, pl. pozitív töltésű csoporttal szemben a partneren negatív csoport, míg a hidrofíllal szemben hidrofílnak van. A komplementaritást biztosítja, hogy a polipeptidláncok más, eltérő polipeptidlánccal nem alkotnak stabilis oligomert, mert komplementer felületük nem teszi lehetővé az idegen felismerését. A negyedleges szerkezetet alegységek alakítják ki. Alegységnek tekinthető egy-egy polipeptidlánc akkor is, ha néhány polipeptidláncból alakul ki a funkcionális egységet mutató molekula. Más esetben azonos vagy különböző polipeptidláncokból olyan funkcionális alegységek keletkezhetnek, amelyek aggregációval milliós molekulatömegű vagy annál nagyobb egységekké rendeződhetnek. Az oligomerekben a polipeptidláncok egymással nem kovalens kölcsönhatások útján kapcsolódnak. A polipeptidláncok diszulfidkötéssel kapcsolódnak össze a két „könnyű” és a két „nehéz” láncból felépülő  $\gamma$ -globulinokban vagy a háromszor két azonos polipeptidláncból kialakult fibrinogénben. Az ilyen molekulákat monomereknek tekintjük, mert a láncok közötti kapcsolatot csak a kovalens diszulfidkötések hasítása útján szüntethetjük meg.

A negyedleges szerkezet a fehérje magasabb rendű szerveztségének kialakulását jelenti. A polipeptidláncok közötti kölcsönhatások révén kialakulnak a fehérje funkcionális tulajdonságai, és lehetővé válik a molekuláris szintű szabályozás.

**A fehérjék molekulatömege.** Az előző fejezetek alapján világossá válik, hogy a fehérjemolekula fogalma nehezen definiálható. Egyszerű a probléma, ha a fehérje csak egy polipeptidláncból áll, de bonyolultabb a helyzet az oligomer felépítésű fehérjéknél. Ezen utóbbiak többsége neutrális pH-n, kis ionerősség mellett egységes molekulának mutatkozik,

a körülmények megváltozása esetén azonban (alacsony vagy magas pH-n, tömény karbamid, detergensok) kisebb egységekre disszociál. A molekulatömeg meghatározásának többféle módszere ismert:

Felhasználhatók kémiai eljárások akkor, ha a fehérje nemfehérje komponenst (fématom, prosztetikus csoport, koenzim) is tartalmaz. Ilyenkor a nemfehérje komponens százalékos mennyiségéből számítható a fehérje molekulatömege.

Meghatározható a molekulatömeg ultracentrifugálással, a fehérje ülepedése alapján. Analitikai ultracentrifuga segítségével a szedimentációs egyensúly, illetve az egyensúly sebességének elérése alapján következtethetünk a molekulatömegre.

Viszonylag új módszer a molekulaszűrőkön végzett gélfiltrálással való molekulatömeg-meghatározás.

A fehérjék molekulatömegét az  $M_r$  relatív molekulatömeg-értékkel jellemezzük, amely viszonyszám, ezért dimenziómentes. Azt jelenti, hogy az illető fehérje tömege hányszorosa a molekulatömeg-számítás alapját képező  $^{12}\text{C}$  tömege 1/12-ed részének. Az ismertetett módszerek csak hozzávetőleges eredményt adnak a fehérjemolekulák tömegére. Pontos értéket csak akkor kaphatunk, ha megismerjük a fehérje aminosav-sorrendjét és az aminosavak molekulatömegének segítségével kiszámoljuk a fehérje pontos  $M_r$ -értékét.

**A fehérjék oldhatósága.** Az egyes fehérjék oldhatóságában jelentős eltérések mutatkoznak, amelyek egyrészt a hidrofíll és a hidrofób csoportok eltérő számából és térbeli elrendeződéséből, másrészt a molekula nagyságából, alakjából és az oldószer minőségéből adódnak. Az oldhatóság alapján megkülönböztetünk oldódó és nem oldódó, csak duzzadó fehérjéket. A fehérjék csak poláros oldószerekben oldódnak, mint pl. a víz, a glicerin, a hangyasav. Az oldódás azáltal következik be, hogy az oldószer-molekula jellegzetes kölcsönhatást alakít ki a fehérjével. Ehhez az szükséges, hogy kellő számú poláros csoport legyen a fehérjemolekulában; a molekulában lévő diszulfidhidak viszont az oldhatóságot jelentős mértékben csökkentik, ami magyarázza, hogy miért nem oldódnak a viszonylag nagy kéntartalmú fehérjék. Duzzadási folyamat indulhat meg olyan fehérjéknél, amelyekben sok szabad karboxil- és aminocsoport található, ezekhez ugyanis a poláros oldószerek elektrosztatikus kötőerőkkel kapcsolódhatnak. Az oldószer ionerősségének növelésével az oldhatóság nő. Semleges sók kis koncentrációban növelik

az oldhatóságot, azonban egy meghatározott koncentráción túl az oldhatóság csökken, és bekövetkezhet a fehérje kicsapódása.

A fehérjék *elektrokémiai tulajdonságait* a felépítő aminosavak hasonló karaktere határozza meg, ezért a fehérjék amfoter jellegűek. Polionoknak tekinthetők, amelyek töltésjellegét és mennyiségét a rendszer pH-ja jelentősen befolyásolja. *Izoelektromos pontnak* azt a pH-t nevezzük, ahol a pozitív és negatív töltések száma azonos, tehát a fehérje semleges molekulának tekinthető. Ezen a pH-n a fehérjék elektromos erőterében sem a pozitív, sem a negatív pólus felé nem mozdulnak el. *Izoionos pontnak* nevezzük azt a pH-értéket, amelyen a fehérjében lévő bázikus csoportokon felvett protonok száma megegyezik a savas csoportokon leadott protonok számával. Az izoelektromos ponton a legkisebb a fehérje oldhatósága, legnagyobb a kicsapódási hajlama, a kisózódási és a kristályosodási lehetősége. A fehérjék viszkozitása az izoelektromos ponton a legkisebb.

A fehérjék vizes oldatban általában balra *forгатják a poláros fény síkját*, a forгатás értéke  $-30^\circ$  és  $-60^\circ$  között mozog. A forгатást befolyásolja a fehérjemolekula szerkezete, az aminosav-maradékok jellege és helye a molekulában, a molekulákban fellépő kölcsönhatások és a pH. A fehérjék denaturálódása jelentősen megnöveli a fajlagos forгатás értékét ( $-80^\circ - -120^\circ$ ).

A fehérjék oldataikban az ultraibolya tartományban *fényabszorpciót mutatnak*. A peptidkötések jelenlétéből adódóan jellegzetes fényelnyelés mérhető a 180–230 nm tartományban, míg a fehérjékben lévő aromás aminosavak a 250–300 nm között adnak fényelnyelési maximumot.

A fehérjék térfogata és térfogattömege az alkotó atomok térfogatának összeadásával becsülhető. A térfogattömeg  $0,8-1,5 \text{ g/cm}^3$  között változik. Azon fehérjék *kristályosodási hajlama* nagy, amelyek gömb vagy ellipszoid alakúak, azaz nagyfokú rendezettséget mutatnak. Egyes hemoglobinok  $0^\circ\text{C}$ -ra lehűtve már a vörösvértestekben is kikristályosodnak.

### 3.3.2. A fehérjék kémiai reakciói, kapcsolódásai

#### 3.3.2.1. Csapadékképző reakciók

A fehérjék oldataikból szerves oldószerekkel, nehézfém sókkal, ásványi és bizonyos szerves savakkal kicsaphatók. A szerves oldószerek közül a legjobb fehérjekicsapó az acetone, a dioxán és az etil-alkohol.

A nehézfémek közül kicsapják a fehérjét az ólom-, a réz-, a higany-, az urán-, a vas- és a cinksók. Az ásványi savak mind alkalmasak a fehérje kicsapására, közülük leggyakrabban a sósavat, a salétromsavat és a foszforsavat használják erre a célra. A szerves savak közül kiváló fehérjekicsapó a triklór-ecetsav, a szulfo-szalicilsav és a pikrinsav.

### 3.3.2.2. A fehérjék színreakciói

A fehérjék számos színreakciója egy meghatározott aminosav jelenlétére vezethető vissza. E színreakciók közül több felhasználható a fehérje mennyiségi, illetve minőségi meghatározására. A legfontosabb színreakciók az alábbiak:

Biuret-reakció során a lúgos fehérjeoldat réz-szulfát-oldattal ibolyás elszíneződést mutat. A ninhidrin a fehérjével kékesibolya elszíneződést ad. A xantoprotein-reakció során az aromás aminosavakat tartalmazó fehérjék sárga elszíneződést mutatnak tömény salétromsav hatására. A sárga nitroszarmazékok ammónia hatására narancssárga színű vegyületekké alakulnak. Az ólom-szulfid-reakció során, ha a fehérjeoldatot lúggal főzzük, a kéntartalmú aminosavak felbomlanak, és ólomsó hozzáadására barnásfekete színű ólom-szulfid csapadék keletkezik. A fehérjeoldatot Millon-*reagenssel* forralva (nitrittartalmú salétromsavas higany-nitrát) a tirozin oxidálódik, és rózsaszín csapadék válik le az oldatból. A Pauly-*reakció* során tirozin- és hisztidintartalmú fehérjeoldatokban diazotál-szulfanilsav hatására cseresznyepiros elszíneződés mutatkozik. A Sakaguchi-*reakcióban* arginintartalmú fehérjeoldathoz  $\alpha$ -naftolt és hipobromitot adva vöröses elszíneződés keletkezik.

### 3.3.2.3. Fehérje-víz kapcsolódások

A víz különböző állapotban tud a fehérjékkel kapcsolódni. A szerkezeti és a fehérje belsejében lévő víz vagy a felületen erősen gorbeált, vagy a fehérje speciális felületi helyein kötött vizet jelenti, amely 0,3 g lehet 1 g vízmentes fehérjére számolva. A fehérjék a vízzel a peptidkötéseken keresztül (dipól-dipól kölcsönhatás vagy hidrogénkötés) vagy az aminosav-oldalláncokon keresztül (ionizált, poláros, esetleg nem poláros csoportokkal) kötődnek.

A fehérje feloldódásához olyan állapotba kell kerülnie, hogy szoros kapcsolatot tudjon létrehozni az oldószerrel. Az oldhatóságot a pH, az ionerősség, az oldószer és a hőmérséklet befolyásolja. Az izoelekt-

romos ponttól eltérő pH-n a fehérjék pozitív, illetve negatív töltéseket hordoznak, amelyek elősegítik a vízmolekulákhoz való kapcsolódásukat, tehát az oldhatóság nő. Semleges sók ionjai 0,5–1,0 mólos oldatokban növelni tudják a fehérjék oldhatóságát, mivel az ionok a fehérjékkel reagálnak, és csökkentik a szomszédos molekulák ellentétes töltéseinek vonzó hatását. Ha a sókoncentráció 1 mólnál nagyobb, az oldhatóság csökken, mert a só oldódásához, a szolvatációhoz vízmolekulákra van szükség. Így fehérje-fehérje kapcsolódások jönnek létre, amelyek nagyobb aggregátumok kialakulásához vezetnek, ami végső soron a fehérje kicsapódását eredményezi. Nem vizes oldószerek (etil-alkohol, metil-alkohol, acetone) a víz dielektromos állandójának csökkentésével csökkentik a vízoldhatóságot.

A *fehérje oldhatósága* azonos pH és ionerősség mellett 0–40 °C közötti tartományban a hőmérséklet emelkedésével nő. Ha 40 °C felett a másodlagos és harmadlagos szerkezetet tartó erők szétesnek, denaturálódás következik be, ami aggregációval folytatódhat; ez a fehérjék oldhatóságát csökkenti.

#### 3.3.2.4. *Fehérje-lipid kapcsolódások*

A fehérjék és a lipidek közötti kapcsolódás igen gyakori az élővilágban (pl. a fehérjék és a foszfolipidek között). A fehérje és a lipid viszonylagos aránya széles határok közt változhat. A kapcsolódás általában hidrofób kölcsönhatásokkal jön létre, amikor az apoláros alifás lipidlánc és a fehérje apoláros részei között alakul ki kapcsolat. A fehérje-lipid kapcsolódás védi a fehérjét a hődenaturációtól, egyrészt a lipid nagy hőkapacitása, másrészt a víz relatív távolléte miatt.

#### 3.3.3. **A fehérjék denaturálódása**

A denaturálódáson a fehérje natív szerkezetének reverzibilis vagy irreverzibilis változását értjük, amely változatlanul hagyja a peptidkötéseket, de a diszulfidhidak felszakadása előfordulhat. Denaturálódást okoz minden olyan behatás, amely a hidrogénhid, az ionkötés vagy a hidrofób kötés felbomlását idézi elő. A denaturáció megváltoztatja a fehérje tulajdonságait:

- csökken az oldékonyság,
- megváltozik a vízkötő kapacitás,
- elvész a biológiai aktivitás,

- megnövekszik az érzékenység a fehérjebontó enzimekkel szemben,
- növekszik a belső viszkozitás, megszűnik a kristályosodási készség.

### 3.3.3.1. A denaturációt előidéző fizikai módszerek

A fehérjék hő hatására bekövetkező denaturálódására több tényező van befolyással: a fehérje sajátosságai, a fehérje koncentrációja, vízáktivitása, a pH, az ionerősség és a jelen lévő ionok minősége. A fehérjék sokkal ellenállóbbak a hődenaturációval szemben száraz állapotban; hőhatásra kémiai átalakulások is végbemehetnek a fehérjét felépítő aminosavakban; a diszulfidhidak felhasadására szulfhidrilcsoportok keletkezhetnek, a glutamin és az aszparagin dezaminálódhat, a szerin dehidratálódhat, amely átalakulások jelentős befolyással vannak a fehérjék funkcionális és táplálkozásbiológiai tulajdonságaira. A fehérjék lehűtés hatására is denaturálódhatnak; kis hőmérsékleten, de leginkább fagyasztás hatására aggregálódhatnak, majd kicsapódnak. Bizonyos mechanikai behatások (kenyér dagasztása, tojásfehérje felverése) denaturálódást idézhet elő, amely behatás során elsősorban az  $\alpha$ -hélix szerkezet megy tönkre. Denaturálódást idézhet elő az 50 kPa feletti hidrosztatikus nyomás is. Az ultraibolya sugárzás energiája elég nagy ahhoz, hogy a diszulfidhidak felhasadásával konformációváltozás következhesen be. A  $\gamma$ -sugárzás és más ionizáló sugárzás szintén szerkezetváltozást okoz, miközben az aminosav-oldalláncok oxidálódhatnak, a kovalens kötések felhasadhatnak, szabad gyökök keletkezhetnek és polimerizációs reakciók játszódhatnak le. A fehérjemolekulák rendszerint irreverzibilis denaturálódást szenvednek a víz-levegő, a víz-nemvízes folyadékfázis vagy a víz-szilárd felületeken.

### 3.3.3.2. A denaturációt előidéző kémiai anyagok

A savak és lúgok szélsőségesen savas vagy lúgos pH-n a fehérjéket denaturálják. Hatásukra a disszociált csoportok visszaszorulnak a molekulán belül, ami a molekula kinyúlását eredményezi. A réz, a vas, a higany és az ezüst könnyen reagálnak a fehérjék tiolcsoportjával komplexeket képezve, melynek során a fehérje kicsapódik. A szerves oldószernek legnagyobb része ugyancsak denaturáló hatású, mert az apoláros szerves oldószer-molekulák be tudnak hatolni a molekula hidrofób részeinek

belsejébe, széttörve ezzel a hidrofób kötéseket, aminek eredményeként denaturáció jön létre.

### 3.3.4. A fehérjék funkcionális tulajdonságai

A fehérjék funkcionális tulajdonságait azok a fizikai-kémiai tulajdonságok adják, amelyek hozzájárulnak az élelmiszerek megfelelő jellemzőinek kialakításához. A funkcionális tulajdonságoknak három fő csoportja van: hidratációs tulajdonságok, fehérje-fehérje kapcsolódások és felületi tulajdonságok. Az első csoportba olyan tulajdonságok tartoznak, mint a vízadszorpció és a vízvisszatartó képesség, a nedvesedés, a duzzadás, az adhéziós kapcsolódás, a diszpergálhatóság, az oldhatóság és a viszkozitás. A második csoportba azok a tulajdonságok tartoznak, amelyek bizonyos szerkezetek létrejötténél és stabilizálásánál fontosak (gélképződés, téztszerkezet kialakulása, szálás szerkezet). A harmadik csoport tulajdonságai a felületi feszültség, az emulzióképződés és a fehérjék habképző tulajdonságainak kialakításában játszanak szerepet.

#### 3.3.4.1. Hidratációs tulajdonságok

Az élelmiszer-fehérjék hidratációs-rehidratációs tulajdonságainak nagy jelentősége van a gyakorlatban, mivel a száraz fehérjekoncentrátumokat és -izolátumokat felhasználáskor hidratálni kell. A száraz fehérje és a víz kapcsolódása során első lépésben a vízmolekulák adszorbeálódnak a fehérje poláros csoportjain, majd többrétegű adszorpcióos vízréteg alakul ki a fehérje körül. A folyékonyvíz-kondenzációt követően a fehérje megduzzad, oldhatatlan részei duzzadt állapotban maradnak, oldható részei pedig a szolvatációs diszperziót követően oldatba mennek.

#### 3.3.4.2. Oldhatóság

A fehérjék oldhatóságát egyrészt befolyásolja maga a fehérje, másrészt a koncentrációja, valamint a pH, az ionerősség és a hőmérséklet. Gyakorlati szempontból rendkívül fontos a fehérje oldhatóságát befolyásoló tényezők ismerete a fehérjék kinyerésénél és tisztításánál. A különböző körülmények között mutatózó oldhatóság felvilágosítást ad a fehérjék felhasználásának lehetőségeiről. Az oldhatatlanság mértéke a legjobb jellemzője a fehérjedenaturációnak és -aggregációnak. Azok a fehérjék, amelyek könnyen denaturálódnak vagy aggregálódnak, igen



rossz gél-, emulzió- vagy habképző tulajdonságot mutatnak. Hőkezelés hatására a legtöbb fehérje oldhatósága csökken. Egészen enyhe hőkezelésnél is megindul a fehérjedenaturáció, amely maga után vonja az oldhatatlanság növekedését.

#### 3.3.4.3. *Viszkozitás*

A viszkozitást, azaz a fehérjeoldatnak a folyással szemben kifejtett ellenállását leginkább a diszperz molekulák vagy részecskék látszólagos átmérője befolyásolja. A fehérjeoldatok viszkozitása függ:

- a fehérjemolekula tulajdonságaitól (molekulatömeg, méret, térfogat, szerkezet, aszimmetria, elektromos töltés) és a külső tényezőktől (pH, ionerősség, hőmérséklet),
- a fehérje-oldószer kapcsolatoktól, amelyek a duzzadást, oldhatóságot és a molekulát körülvevő hidratációs szféra állapotát befolyásolják,
- a fehérje-fehérje kapcsolódásoktól, amelyek meghatározzák az aggregátumok nagyságát.

A fehérjerendszerek konzisztenciája, viszkozitása igen fontos funkcionális tulajdonság több élelmiszer (italok, levesek, krémek, mártások) esetében, és az egyes technológiai műveletek (szivattyúzás, keverés, melegítés, hűtés, porlasztva szárítás) optimalizálásánál is szükséges ismeretük.

#### 3.3.4.4. *A gélképződés*

Gélesedésnek hívjuk azt a folyamatot, amikor a fehérjék összetömörülnek és rendezett térhálós szerkezetet hoznak létre. A gélképződésnek számos élelmiszer előállításánál van meghatározó szerepe (egyes tejtermékek, koagulált tojásfehérje, zselatingél, számos hús- és halkészítmény).

A *texturálás* során a molekulák közötti és a molekulán belüli kölcsönhatások megszűnnek, majd új kapcsolódások jönnek létre, amelyek stabilizálják a szerkezetet. Ezt a hatást két úton lehet elérni:

- a fehérjét feloldjuk, majd fonófejen keresztül kicsapófürdőbe nyomjuk, amit szálképzési eljárásnak hívunk,
- az adott fehérjékben nedves állapotban, nagy nyomáson és hőmérsékleten nyírófeszültséget hozunk létre, amely műveletet extrúziós eljárásnak nevezünk.

Jelenleg leginkább az extrúziós eljárás használatos texturálásra. Ezzel az eljárással száraz, szálas vagy szálszerű anyagok, porózus granulátumok nyerhetők, amelyek rehidratálással gumiszerű szerkezetté alakíthatók.

#### 3.3.4.5. Emulgeálóképesség

Az élelmiszer-emulziók jelentős részénél a fehérjéknek stabilizáló szerepük van. A tejben pl. a zsírcseppecskék felületén többrétegű fehérjemembrán akadályozza meg azok összefolyását. A zsírgolyócskában a triglicerideket foszfolipidek, lipoproteinek, vízdoldható albuminok és globulinok veszik körül, amelyek adszorbeálni tudják felületükön a stabilizációhoz szükséges vízmolekulákat. A fehérjék az ilyen, *olaj a vízben* típusú emulziókat jól stabilizálják. Emulzióstabilizáló képességük azonban a *víz az olajban* emulzióknál gyenge. *Emulziókapacitás*on értjük azt az olajmennyiséget  $\text{cm}^3$ -ben kifejezve, amelyet a fehérje egységnyi mennyisége (g) fázismegfordulás nélkül emulgeálni képes.

#### 3.3.4.6. Habképző tulajdonságok

Az élelmiszerhabok gázbuborék-diszperziók folytonos folyadék- vagy félszilárd hártályka ágyazva. A hártályk rugalmasságát és mechanikai ellenálló képességét a bennük lévő felületaktív anyagok, többek között a fehérjék biztosítják. A fehérjéknek a hab stabilizálásakor a gáz/víz fázis felületéhez kell diffundálniuk, ott ki kell egyenesedniük, szét kell terjedniük, hogy a felületi feszültséget csökkentsék. A legjobb habképző fehérjék a tojásfehérje fehérjei, a hemoglobin globinrésze, a marhaszérumalbumin, a zselatin, a savófehérjék, a kazein, a búzafehérjék közül a gluteninek, a szójafehérjék és egyes fehérjehidrolizátumok.

#### 3.3.5. A fehérjék csoportosítása

A fehérjék klasszikus felosztása *Osborne* nevéhez fűződik, aki a fehérjéket oldhatóságuk alapján csoportosította. Csoportosíthatjuk a fehérjéket *kémiai összetételük alapján* is; ezek szerint egyszerű fehérjének nevezzük azokat a fehérjéket, amelyeknek savas vagy enzimés hidrolizátumában csak aminosavak találhatók, összetett fehérjék pedig azok, amelyek hidrolizátuma az aminosavak mellett más anyagokat is tartalmaz.

Az egyszerű fehérjék lehetnek:

- protaminok,
- hisztonok,
- albuminok,
- globulinok,
- prolaminok,
- glutelinek,
- vázfehérjék.

Az összetett fehérjék a prosztetikus csoport szerint lehetnek:

- foszfoproteinek,
- mukoproteinek,
- kromoproteinek,
- nukleoproteinek,
- lipoproteinek.

#### 3.3.5.1. Egyszerű fehérjék

A *protaminok* egyes halak spermájában fordulnak elő, molekulatömegük 6000 dalton körüli. Nagy mennyiségben tartalmaznak bázikus aminosavakat. Vannak csak arginint tartalmazó protaminok, az arginin mellett hisztidint vagy lizint tartalmazók és olyanok, amelyek arginint, lizint és hisztidint is tartalmaznak. A fehérje nitrogéntartalma a bázikus aminosavaknak köszönhetően 18–25% között van. Bázikus karakterüknek megfelelően izoelektromos pontjuk  $\text{pH}=10\text{--}12$  közötti. Ként egyáltalán nem tartalmaznak, és a fehérjében aromás aminosav sem található. Mérsékelten oldódnak ammóniában és vízben. Ismertebb fehérje a szalmin, amely a lazacban és a klupein, amely a heringben fordul elő. Mindkét fehérje arginintartalma 80–85%.

A *hisztonok* bázikus karakterű fehérjék, triptofánt egyáltalán nem, és cisztint is csak kis mennyiségben tartalmaznak, vízben és híg savakban oldódnak, nukleoproteinek formájában nukleinsavakhoz kapcsolódnak. Valószínűleg a gének specifikus csoportjainak tevékenységét képesek gátolni. Molekulatömegük nagy, izoelektromos pontjuk a bázikus tartományban  $\text{pH}=10\text{--}11$  között van. A hisztonok közül legismertebb a globin, amelynek kristályos alakját több mint 110 éve állították elő hemoglobinnal.

Az *albuminok* desztillált vízben és híg sóoldatban oldhatók, ammónium-szulfát telített oldatából kicsapódnak. Igen elterjedtek mind állati, mind növényi szervezetekben (vérben, nyirokrendszerben, izomban,

tojásban, tejben, hüvelyesekben, gabonafélék magjaiban). Az albuminok csaknem valamennyi fehérjealkotó aminosavat tartalmazzák. Izoelektromos pontjuk  $\text{pH}=4\text{--}5$  körüli.

A *globulinok* az albuminokkal általában együtt fordulnak elő, szétválasztásuk a molekulatömeg alapján lehetséges. A globulinok nagyobb molekulatömegük révén oldataikból semleges sókkal könnyen kisózhatók, s a csapadék eltávolítása után az oldatban az albuminok maradnak vissza. A globulinok híg sóoldatokban, egyesek desztillált vízben is oldódnak. Ez utóbbiakat pszeudo- (ál-)globulinoknak nevezték el, szemben az eredeti, híg sóoldatban oldódó eu- (valódi-)globulinokkal. Ismertebb globulin a fibrinogén a vérplazmában, a fazeolin a babban, az amandin a mandulában, az ovoglobulin és a lizozim a tojásfehérjében, a livetin a tojássárgájában, a legumin és a vicilin a borsóban, a miozin az izomban és a  $\beta$ -laktoglobulin a tejben.

A *prolaminok* etil-alkoholban, fenolban, p-krezolban oldódnak. aminosav-összetételükre jellemző a prolin és a glutaminsav nagy koncentrációja, lizint nem tartalmaznak. A gliadin a gluteninnel együtt képezi a sikér (glutén) komplex fehérjéjét, amely a búzátészta előállításának kulcsfehérjéje. Az árpában a hordein, a kukoricában a zein található.

A *glutelinek* jellegzetes növényi fehérjék, amelyek a magvakban fordulnak elő. Jól oldódnak híg savakban és híg lúgokban, de semleges sóoldatokban oldhatatlanok. aminosav-összetételükben dominál az arginin, a prolin és a glutaminsav. Ismertebb a búzában található glutenin, a rozsbán a hordenin, a rizsben az orizein és a kukoricában a zeanin.

A *vázfehérjék* a támasztó- és kötőszövetekben fordulnak elő. Feladatuk a szilárdítás, ezért nehezen oldódnak oldószerekben, és az enzimhatással szemben is igen ellenállók. Megtalálhatók a bőrben, a szőrben, a tollban, a körömben, a csontokban, a selyemben, a szivacsfélékben. A keratinok és a kollagének csoportjára oszthatók. A keratinokat oldhatóságuk alapján feloszthatjuk eukeratinokra, amelyek oldhatatlanok oldószerekben, és nagy mennyiségben tartalmazzák cisztint; a *tripszin* és a *pepszin* sem képes lebontani őket. A pszeudokeratinok jobban oldódnak, és az enzimek is képesek megtámadni e fehérjéket. Cisztintartalmuk lényegesen kisebb az eukeratinokénál. Ide tartoznak az idegszövet keratinjai. A kollagének a bőrben, a kötőszövetekben és a csontokban találhatóak. Vízben nem oldódnak, de  $\text{pH}=3\text{--}4$  között különböző pufferekben feloldhatók. Hosszabb ideig főzve zselatinná alakulnak, aminosav-összetételükre jellemző a glicin, az alanin, a prolin és a hidroxiprolin nagy koncentrációja. A zselatinnak jelentős szerepe van az élelmiszer-

gének előállításánál. Az elasztin ínszövetekben és érfalakban található. A fibroin és a szericin a selyem jellegzetes fehérjéje. A spongin a szivacsfélékből izolálható. Ezekre a fehérjékre jellemző a sok glicin és alanin mellett a szerin, valamint a tirozin nagy koncentrációja.

### 3.3.5.2. Összetett fehérjék

A *foszfoproteinek* nemfehérje része, az ortofoszforsav, észterkötésen keresztül kapcsolódik a fehérjéhez a szerin vagy a treonin alkoholos hidroxilcsoportján keresztül. Sóoldatokban jól oldódnak. Ismertebb foszfoprotein a tojássárgájában található vitellin és foszvitin, továbbá a tej jellegzetes fehérjéje, a kazein. Ezek a fehérjék kalciumsóik formájában léteznek, feladatuk az embrió, illetve a fiatal szervezet táplálása.

A *mukoproteinek* nemfehérje része szénhidrát. A mukoidok 4%-nál több, a glikoproteinek 4%-nál kevesebb hexóزامint tartalmaznak. A mukopoliszacharidok savas karakterű vegyületek (kondroitinkénsav, hialuronsav, heparin). A mukoproteinek nagy része a szervezetben kenőanyagként szerepel; feladatuk a felület (nyelv, orr, gyomor, ízület) védelme a kémiai, mechanikai és fertőző hatásokkal szemben.

A *kromoproteinek* fémet nem tartalmazó és fémtartalmú vegyületekre oszthatók. A fémet nem tartalmazó kromoproteinek képviselője a rodopszin, amely a látás alapvegyülete. Nemfehérje része karotinoid típusú vegyület. A sárga színű flavinenzimek nemfehérje része az izoalloxazin vázú riboflavin. A fémtartalmú kromoproteinek csoportjába tartozik a vér színezőanyaga, a hemoglobin. Legfontosabb funkciója a belső szöveti részek oxigénellátása. Prosztetikus csoportja a hem, amelyben a Fe(II)-ion két fő vegyértékével a hemet alkotó két pirrol-nitrogénhez, két koordinációs kötéssel pedig a másik két pirrol-nitrogénhez kapcsolódik. Az izom színezőanyaga a mioglobin, amelynek prosztetikus csoportja egy Fe(II)-porfirinből áll. A kloroplasztin a zöld növények színezőanyaga, prosztetikus csoportja a forbinváz, amelyben magnéziumatom található. A ferritin a gerincesek májában és lépében kimutatható Fe(III)-iont tartalmazó fehérje. A hemokupreinben és a hemocianinban Cu(II)-ion található; oxidált formában kék, redukált formában sárga színűek. A citokróm enzimek oxidációs-redukációs állapotuktól függően Fe(II)-, illetve Fe(III)-iont tartalmazó, a biológiai oxidációs folyamatokat szabályozó enzimrendszerek. A kromoproteinek molekulatömege igen tág határok között változik a *citokróm-c* enzim 12 ezer dalton értékétől a meocianin milliós nagyságrendjéig.

A *nukleoproteinek* a nukleinsavaknak hisztonokkal, protaminokkal vagy más fehérjékkel képzett, sószerű vegyületei. A citoplazmában és a sejtmagban fordulnak elő; a kromoszóma fő alkotóelemei. A vegyületek prosztetikus csoportjai nukleinsavakból állnak, amelyeket más néven polinukleotidoknak is hívunk. A nukleoproteinek vizes sóoldatokban kismértékben oldódnak. Gyenge savakkal könnyen kicsaphatók, könnyen disszociálnak, és hő hatására denaturálódnak. Savakkal vagy enzimekkel könnyen hidrolizálhatók.

A *lipoproteinek* olyan, összetett fehérjék, amelyeknek prosztetikus csoportja a lipidekhez tartozik. Oldhatóságuk alapján megkülönböztetünk zsíroldható lipoproteineket, amelyek zsírokban, olajokban és zsíroldószerekben jól oldhatók, valamint vízoldható lipoproteineket, amelyek hidofil tulajdonságokkal rendelkeznek. Az oldhatóságban mutatkozó eltérés a két összetevő térbeli elhelyezkedésével magyarázható; ha a fehérje a molekula külső részén helyezkedik el, akkor ez hidofil karaktert ad a lipoproteineknek, amely vízben oldódni fog. Amennyiben a lipidkomponens helyezkedik el a molekula felszínén, lipofil tulajdonság lesz jellemző a lipoproteinre, és a molekula zsíroldhatóvá válik. A vízoldható lipoproteinek segítségével a vízben egyébként nem oldódó lipidek a tápcsatornából képesek felszívódni, és a vér- vagy nyirokáram segítségével a különböző szövetekbe eljutni. A lipoproteinek lipidkomponense könnyen eltávolítható a molekulából, a prosztetikus csoport lehet glicerid, foszfátid, karotinoid vagy más lipidvegyület.

A lipovitellinben főként a lecitin és a kefalín található. A vérszérum  $\alpha_1$ -lipoproteinjében 30–40%-ban található glicerid, foszfátid és koleszterin. A  $\beta_1$ -lipoprotein viszont 75%-ban tartalmaz gliceridet, koleszterint és foszfátidot.

### 3.3.6. Fontosabb természetes fehérjék

A fehérjék eredetét vagy funkcióit tekintve a fontosabb természetes fehérjéket az alábbiak szerint csoportosíthatjuk: izomfehérjék, plazmafehérjék, légzőfehérjék, tejfehérjék, tojásfehérjék, szkleroproteinek, protaminok, hisztonok, növényi fehérjék és toxikus fehérjék.

Az *izomfehérjéket* szarkoplazma fehérjékre és fibrillafehérjékre osztjuk. A szarkoplazma fehérjék közül legjelentősebb a miogén, amely albumin jellegű tulajdonságokkal rendelkezik. A fibrillafehérjék közé tartozik a miozin, az aktin és az aktomiozin. A miozin három polipeptidláncból álló, globulin típusú fehérje, amelyben a fehérjeláncok  $\alpha$ -hélixet

alkotnak. Az aktin vízben jól oldódó fehérje. Az aktomiozin a miozin és az aktin 3:1 arányban való összekeverésével jön létre, amelyből vízben vékony szálak válnak ki. A vérplazma mintegy 6,5–6,8% fehérjét tartalmaz.

A plazmafehérjék közé tartoznak az albumin, a fibrinogén, az  $\alpha$ -, a  $\beta$ - és a  $\gamma$ -globulinok. A 65 ezer molekulatömegű albumin perhangyasa-vas oxidációval 32 ezer dalton nagyságú alapegységekre hasad. A marha és juh szérumalbuminjainak peptidjei több treonint tartalmaznak, mint a lóé. A vérplazma fibrinogéntartalma 0,25%, a fehérje molekulatömege 33–34 ezer dalton. A molekula nitrogéntartalma 16,9%, a fehérje mellett 4,6% redukáló cukrot, 1,1% hexózamint és 0,64–0,89% neuraminsavat tartalmaz. Véralvadáskor a fibrinogén *trombin* enzim hatására fibrinné alakul. A protrombin mintegy 0,015%-ban található a vérplazmában. A szérumglobulinok közül a legfontosabb a  $\gamma$ -globulin, amely védő funkciót tölt be az emberi szervezetben. A lipoproteinek között ismeretesek az  $\alpha$ -lipoprotein és a  $\beta$ -lipoprotein frakciók. A fehérje-fém komplexek úgy keletkeznek, hogy a szervezetben lévő fémionok egy része a fehérjékhez kötődik, és ilyen formában vándorol a szervezetben. A Fe(III)-transzferrin az emlősök vérplazmájában fordul elő. A ceruloplazmin réztartalmú, globulin típusú fehérje. A vérplazmában glikoproteinek is előfordulnak, amelyek 14,9% fehérjenitrogént és 37,3% összes szénhidrátot tartalmaznak. A plazmin proteolitikus hatású fehérje, amelynek inaktív formája a plazminogén, amelyet az euglobulin frakcióból lehet kristályos formában kinyerni.

*Légzőfehérjéknek* nevezzük azokat a fehérjéket, amelyek képesek a molekuláris oxigénnel laza kapcsolatot létesíteni, majd azt a kisebb parciális nyomáson a szövetekben átadni. A hemoglobin, amelynek molekulatömege 68 ezer dalton, négy polipeptidláncból épül fel, amelyek egy hemcsoportot hordoznak. A négy polipeptidláncból kettő mindig azonos. A hemoglobinmolekula hem része egy vasatomból áll, amely a négy pirrolgyűrűt metinhidakkal összekötő porfirinváz közepén helyezkedik el. A vas a hemoglobinban mindig kétértékű, a hozzá kapcsolódó vízmolekula helyére molekuláris oxigén, hidrogén-cianid, szén-monoxid vagy nitrogén-oxid kapcsolódhat vegyértékváltozás nélkül. Ha a vasatom háromértékűvé oxidálódik, methemoglobin keletkezik, amely képtelen az oxigén szállítására. Ha oxigénmolekula kötődik a hemoglobinhoz, oxihemoglobin keletkezik, amely a tüdőből a szövetbe szállítja az oxigént. A mioglobin az izmokban található fehérje, amely az izomszöveteket látja el oxigénnel. A molekuláris oxigént a hemoglobinhoz

hasonló mechanizmussal köti meg. Az így keletkezett oximioglobinnal a vas kétértékű; az oxigén erősebben kötődik, mint a hemoglobinnal, ezért azt nehezebben is adja le. A mioglobinnal vasatomja metmioglobinnal keletkezése közben oxidálódni tud, amelynek színe az eredeti rózsaszínről barnára változik. A hemocianin réztartalmú fehérje, amely képes a molekuláris oxigén megkötésére. A puhatestűek és a lábasfejűek sejt közötti állományában található, az oxigénnel szemben mutatott affinitása gyengébb, mint a hemoglobinnal. A hemovanadin egyes tengeri állatokban mutatható ki, benne a fehérjéhez háromértékű vanádium kapcsolódik.

A *tejfehérjéket* két csoportra oszthatjuk; kazeinfehérjékre és savófehérjékre. A különböző emlősök tejének kémiai összetétele nagyon eltérő lehet egymástól. A kanca tejének pl. rendkívül magas (6,9–7,0%) a tejcukortartalma, tejfehérje- és tejszírtartalma viszont alig több, mint fele a tehéntejének. Az élelmiszeripar szempontjából legnagyobb jelentősége a tehéntejnek van, ezért a tej elnevezésen, ha az eredet egyébként nincs megjelölve, mindig tehéntejet kell érteni. A tehéntejfehérje mintegy 77–79% kazeint tartalmaz, amely a foszforproteinek csoportjába tartozó, összetett fehérje. A savas jellegű aminosavak dominanciája miatt izoelektromos pontja  $\text{pH}=4,6$ , amelyen savval kicsapható. A kazein poliakrilamid-gélelektroforézissel több kazeinfrakcióra választható szét, amelyek közül az  $\alpha$ -,  $\beta$ - és a  $\gamma$ -kazein képez nagyobb egységet. A kazein 75%-a  $\alpha$ -, 22%-a  $\beta$ - és 3%-a  $\gamma$ -kazein, amely frakciók további alcsoportokra választhatók szét. Az elektroforézis mellett az egyes kazeinfrakciókat alkoholos eljárással, karbamidos módszerrel és kalcium-kloridos kizsáccsal is el lehet egymástól választani. Az  $\alpha$ -kazein kalciumérzékeny kazeinfrakcióra és kalciumra nem érzékeny  $\kappa$ -kazeinre bontható. A  $\kappa$ -kazein glikoprotein típusú fehérje, amelyben a neuraminsav mellett más szénhidrát is található. Molekulatömege lúgos pH-nál 26 ezer dalton; a pH csökkentésével a molekula aggregálódik. Gélelektroforézissel (módszertől függően) 10–15 kazeinfrakciót kaphatunk. Oltós alvadás közben a  $\kappa$ -kazeint az oltóenzim lebontja, a  $\kappa$ -kazeinből felszabadítja a glikomakropeptideket, miközben oldhatatlan para- $\kappa$ -kazein keletkezik. Mivel a  $\kappa$ -kazein a kalcium-kazeinát micellát stabilizálja, a  $\kappa$ -kazein lebontódása kalciumionok jelenlétében kazein-kalciumsók kiválását, a kazein kicsapódását okozza. Egyes tejtermékek – különösen sajtféleségek – érése során a kazein proteolízisével kell számolni, aminek következtében megnő a szabad aminosavak, a peptidok és a kisebb tömegű fehérjefrakciók mennyisége. A tejben a savófehérjék mennyisége 0,6–0,7%, amely albumin- és globulinfrakcióból áll. A globulinok a magnézium-szulfáttal



telített savóból kicsapódnak; ezek dialízissel euglobulin és pszeudoglobulin frakciókra választhatók szét. A savófehérjék mintegy 13%-át képezik az immunglobulinok, amelyek ugyancsak euglobulin és pszeudoglobulin frakciókra bonthatók. Molekulatömegük 160–190 ezer dalton; az immunvédekezés alapját képezik. Az albuminok  $\alpha$ -laktalbumin és  $\beta$ -laktoglobulin frakciókra választhatók szét, amely utóbbi a savófehérjék mintegy 50%-át teszi ki.

A tejfehérje legfontosabb feladata az újszülött és a fiatal állat aminosavakkal való ellátása, illetve a kolosztrum, magas immunglobulintartalmának köszönhetően, hozzájárul a passzív immunitás kialakításához. A savófehérjék esszenciálisaminosav-tartalma nagyobb, mint a kazeiné, ezért a savófehérjék biológiai értéke mintegy 20–30%-kal több a kazeinénél.

*A tojásfehérjék.* A különböző háziszárnyas- és madártojások közül étkezésre a tyúktójtást használjuk; ezt nevezzük egyszerűen tojásnak. A tojás két jellegzetes részből áll, a tojásfehérjéből és a tojássárgájából. A tojásfehérje átlagosan 86,6% vizet, 0,2% zsírt és 13–14% fehérjét tartalmaz. A tojásfehérje valójában fehérjemolekulák kolloid oldata, amely három térben jól elkülöníthető részből áll. Középen sűrűn folyó rész helyezkedik el, amelyet a tojássárgája és a tojáshéj felől egy-egy hígan folyó rész vesz körül. Az ovalbumin a tojásfehérje fő komponense; az összes fehérjetartalom 65%-át teszi ki. A konalbumin az összes fehérje mintegy 13%-a, a lizozim jellegzetes bázikus fehérje, az ovomukoid pedig a glikoproteinek csoportjába tartozó, összetett fehérje. Jelentős még a tojásfehérjék globulin-, ovomucin- és avidintartalma. Ez utóbbi a biotinnal oldhatatlan komplexet képez, miáltal megakadályozza annak biológiai hasznosulását.

A tojássárgája víztartalma 50%, lipidtartalma több mint 30%, fehérjetartalma pedig 17% körül van. A lipidek részben szabadon, részben lipoproteinként, kötött formában fordulnak elő. A legfontosabb fehérjefrakció a foszvitin és a livetin. A tojássárgája lipoproteinjei  $\alpha$ - és  $\beta$ -lipovitellinből és vitellinből állnak. aminosav-összetételükben nem különböznek lényegesen egymástól, eltérő azonban foszfortartalmuk, és a vitellinnek lényegesen nagyobb a lipoidtartalma. A foszvitin 9,5% foszfort tartalmaz. A livetinfrakcióra jellemzők a vízdoldható és a hő hatására koaguláló fehérjék.

*A vázfehérjék* vagy szkleroproteinek szálas szerkezetű vegyületek; olyan, állati szervezetben található, vázat alkotó, védő tulajdonságokkal rendelkező fehérjék, amelyek csak aminosavakból épülnek fel, és

ellenállók a kémiai és enzimikus behatásokkal szemben. Közéjük tartozik a kollagén, a zselatin, az elasztin, a keratin és a selyemfibroin. A kollagén a kötőszövet legfontosabb része. aminosav-összetételére jellemző a glicin, a prolin és a 4-hidroxi-prolin nagy mennyisége, és ezek mellett kevés aromás és kéntartalmú aminosavat tartalmaz. Ezek miatt a fehérje biológiai értéke csekély. A kollagén hideg vízben nem oldódik, enyhén savas, erősen lúgos vagy nagy sótartalmú oldatban melegítve azonban zselatin keletkezése közben oldatba megy. Az emlősök bőréből kinyert kollagént a *tripszin* és a *papain* nem képes lebontani; lebontására csak a *kollagenáz* képes. A zselatin a kollagén savas vagy lúgos kezelésével jön létre. Enyvnek is hívják, nitrogéntartalma (18%) nagyobb, mint a legtöbb természetes fehérjéé. Az elasztin a rugalmas tulajdonságú rostokban fordul elő. A kollagénből vizes forralással lehet elválasztani, aminek során az elasztin változatlan marad, a kollagénből pedig zselatinoldat keletkezik.

A keratin megtalálható a szaruban, a hajban, a szőrben és a tollakban. Kéntartalma igen nagy, ami a cisztein viszonylag nagy mennyiségével (10%) függ össze. Eukeratin (kemény keratin) és pszeudokeratin (lágy keratin) frakciókra osztható. A kemény keratin kéntartalma és arginintartalma lényegesen nagyobb a lágy keratinénál. A fehérjebontó enzimek (a sok diszulfidhídznak köszönhetően) egyik keratinfrakciót sem tudják lebontani, ezért a feltáratlan toll-liszt értéktelen fehérjeforrás. A hajkeratinban a polipeptidláncok  $\alpha$ -hélix szerkezetűek ( $\alpha$ -keratin). Az  $\alpha$ -keratin a hőmérséklet és a nedvességtartalom függvényében át tud alakulni hajtogatott lemez szerkezetű  $\beta$ -keratinná, amely az eredeti molekulánál lényegesen rövidebb. A selyemfibroin olyan, összetett szerkezetű fehérje, amelynél a selyemszálfehérjét egy hüvelybe beágyazva enyvszerű, selyemenyvnek vagy szericinnek nevezett anyag vesz körül. A szericin nagy szerintartalmú, forró vízben jól oldódó anyag. Igen nagy a glicin-, alanin- és szerintartalma.

A *protaminok* és a *hisztonok* erősen bázikus jellegű fehérjék, amelyek a sejtmagban találhatóak, dezoxiribonukleinsavakhoz kötve. A protaminok csak a spermában vannak jelen, a hisztonok viszont igen elterjedtek az élő szervezetekben. A protaminok kis móltömegű (4–8 ezer dalton), erősen bázikus kémhatású fehérjék, ami a bázikus aminosavak nagy arányának tulajdonítható, amelyek mintegy 2/3-át teszik ki az összes aminosav-tartalomnak. Magas arginintartalma miatt a protaminok nitrogéntartalma 20–30% között van. A hisztonok a sejtmagban található, bázikus jellegű fehérjék, amelyek a dezoxiribonukleinsavakhoz nukle-

ohisztonok képződésével kapcsolódnak. A triptofán kivételével valamennyi aminosavat tartalmazzák.

A *növényi fehérjék* általában albumin-, globulin-, prolamin- és glutelinfrakciókat tartalmaznak, amelyek vízzel, sóoldattal, 70%-os alkohollal vagy híg savakkal és lúgokkal nyerhetők ki a növényekből. A gabonafehérjék közül a búzafehérjéket eltérő oldékonyságuk alapján négy frakcióra bonthatjuk, amelyek közül az albumin vízdoldható, a globulin híg sósavoldattal, a prolaminok 70%-os alkohollal, a glutelinek pedig alkáliákkal nyerhetők ki. A gliadin és a glutenin egy-egy arányú komplexe a sikér (glutén), ami a tésztakészítés elengedhetetlen komponense. A sikér összetett fehérje, amelyből a különböző búzafajták különböző mennyiséget tartalmaznak: a lágy búzában 8–10,5%, a kemény búzában 9–11%, a durumbúzában pedig 17% szárazsikér van.

A búzához hasonló összetételű fehérjék találhatók a rozsban, az árpában, a zabban és a rizsben. A kukoricafehérjék hasonló fehérjefrakciókra bonthatók szét, mint a búzafehérjék. Legfontosabb fehérjéjük, a zein, a prolaminok csoportjába tartozó, 92%-os alkoholban jól oldódó, heterogén anyag. A kukorica fehérjéi közé tartozik még a glutelin, a mayzin és az edesztin. A kukoricafehérjében limitáló aminosav a lizin, amely a fehérje 2,6–2,8%-át teszi ki. A hüvelyesek fehérjéi közül legnagyobb jelentőségű a szójafehérje, amely a szójanövény szemtermésének 40%-a. A szója fehérjetartalmának 80%-át a glicinin teszi ki, amely globulin típusú vegyület. A szójafehérje aminosav-összetétele a növényi fehérjék közül az egyik legkedvezőbb, mert az összes esszenciális aminosavat az optimálisához közelítő arányban tartalmazza. A babfehérjék az érett étkezési babban 20–25%-os arányban fordulnak elő. Fő komponensük a globulinokhoz tartozó fazeolin. A lencse és a borsófehérjék fő komponense az ugyancsak a globulinokhoz tartozó legumin.

Az olajosmagvak fehérjéi közül a napraforgó-fehérjék a jelentősebbek, amelyek a szójafehérjénél kisebb metionin- és lizintartalmúak. A burgonya fehérjetartalma rendkívül alacsony, a legfontosabb, globulintípusú tuberin fehérjéjének aminosav-összetétele azonban rendkívül kedvező. A friss zöldségfélék fehérjetartalma általában 1% vagy kisebb. A levélzöldségekben 1,7%, a gyökerekben 0,6%, a zöldségfélék termésében pedig 0,4% a fehérjetartalom.

### 3.3.7. Új fehérjeforrások

Régebbitől folynak genetikai kísérletek olyan gabonafélék előállítására, amelyek nagyobb fehérjetartalmúak magas lizintartalommal. Ilyen kísérletek eredménye pl. a rozs és a búza keresztezésével előállított triticale. Az új fehérjeforrások közé tartoznak az olajosmag-fehérjék; közülük is kiemelkedik a magas biológiai értékű fehérjét tartalmazó szójafehérje, amelynek hasznosítására számos új technológiai megoldást dolgoztak ki. Jelentős tartalékok vannak az élelmiszer-termelés melléktermékeinek és hulladékainak felhasználása területén, hisz pl. a savóban lévő fehérjét, a vágóhídi vért, tollat még ma sem hasznosítjuk kellő hatékonysággal. Jelentős eredményeket értek el az egysejt fehérjék előállítása területén, amikor a különböző mikroorganizmusok a fehérjeforrások. Az élesztők *Candida* törzsei paraffinbázison, folyamatos fermentorokban jelentős mennyiségű fehérje termelésére képesek. Az egysejtfehérje-előállítás során az alkánokat először a megfelelő zsírsav-előállítás céljából oxidálják, majd  $\beta$ -oxidációval lebontják. A keletkezett élesztősejteket centrifugálással leválasztják, mosás, majd szárítás után egy tonna alkánból és 0,11 tonna ammóniából 1,2 tonna száraz élesztő nyerhető, 63%-os fehérjetartalommal. Jelenleg megoldottnak tekinthető a fontosabb esszenciális aminosavak kémiai vagy fermentációs úton való szintézise. Kémiai úton a DL-metionint, fermentációval az L-lizint, L-treonint, L-triptofánt és az L-izoleucint állítják elő. Az ily módon előállított esszenciális aminosavakat növényi fehérjékhez keverve azok biológiai értéke jelentősen megnövelhető.

### 3.3.8. Élelmiszer-fehérjék átalakulása a feldolgozás és tárolás során

A legtöbb élelmiszer-fehérje már mérsékelt hőhatásra *denaturálódik*, ami jelentős változást eredményez mind a biológiai, mind a funkcionális tulajdonságok alakulásában. A főzés inaktíválja az enzimeket, előidézhet nemkívánatos szín- és ízváltozásokat, textúraváltozásokat, valamint csökkentheti a vitamintartalmat. A legtöbb fehérjetoxin és antinutritív anyag viszont hőhatásra denaturálódik és ezáltal inaktíválódik. Az inaktíválás nedves állapotban végezve hatékonyabb; a hőkezelés módja lehet autoklavozás, sterilizálás, sütés és extrúziós főzés.

### 3.3.8.1. Az aminosavak átalakulása a feldolgozás és tárolás során

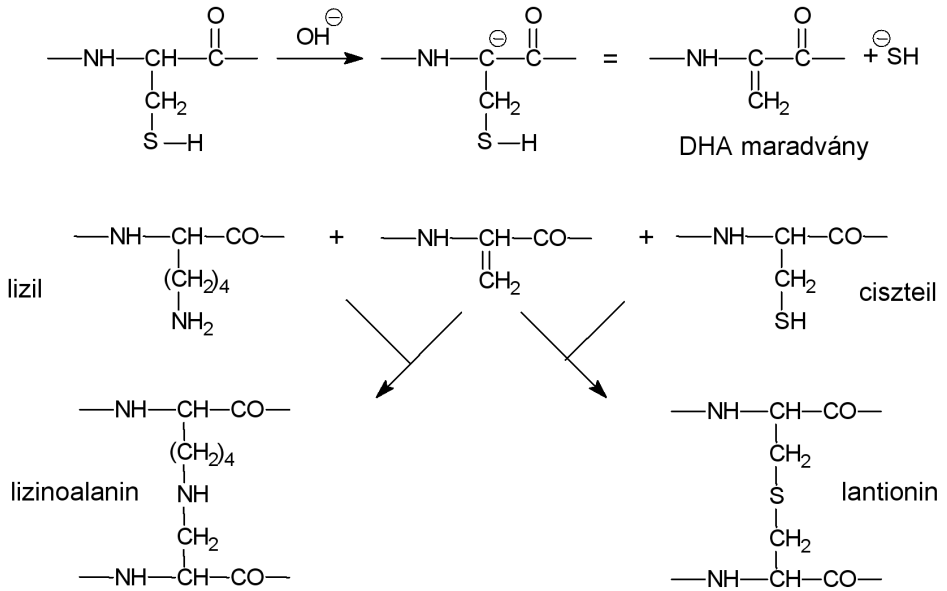
A fehérjék hőkezelése az egyes aminosavak deszulfurálódásához, dezaminálódásához, izomerizációjához és egyéb kémiai átalakulásához vezethet. 115 °C feletti hőkezeléskor a cisztin és a cisztein részleges lebomlása kén-hidrogén, dimetil-szulfid és ciszteinsav képződéshez vezet. Dezaminálódás játszódik le 100 °C feletti hőkezelés alkalmával, amely elsősorban a glutamin és aszparagin amidcsoportjait érinti. Oxigén jelenlétében a hőkezelés során számolni kell a kéntartalmú aminosavak oxidációjával és a triptofán indolcsoportjának hasadásával. A 200 °C feletti vagy lúgos közegben való hőkezelés az L-aminosavak kisebb-nagyobb mértékű racemizációját okozhatja, amelynek során D-aminosavak keletkezhetnek. Ezek nemcsak csökkentik a fehérje emészthetőségét és rontják biológiai értékét, hanem egészségkárosodást is okozhatnak. Hosszan tartó hőkezeléskor gyűrűs származékok is keletkezhetnek, amelyek mutagén hatást fejthetnek ki. Alkalikus közegben végezve a hőkezelést, az arginin ornitinre, karbamidra, citrullinra és ammóniára bomolhat, a ciszteinből pedig rendkívül reaktív dehidro-alanin képződik.

### 3.3.8.2. A feldolgozás és tárolás során létrejövő fehérje-fehérje kapcsolódások

Hőkezelés során keletkező inter- és intramolekuláris kötések a lizin-, a cisztein- vagy az ornitin-oldalláncok és a ciszteinből keletkező dehidroalanin (DHA) között jönnek létre, kondenzációval. A dehidroalanin a ciszteinből vagy a szerinből alakul ki  $\beta$ -eliminációval; a vegyület rendkívül reakcióképes, amely a cisztein szabad szulfhidrilcsoportjával lantionin, a lizin  $\varepsilon$ -aminocsoportjával pedig lizinoalanin képződése közben hoz létre keresztkötéseket (3.31. ábra).

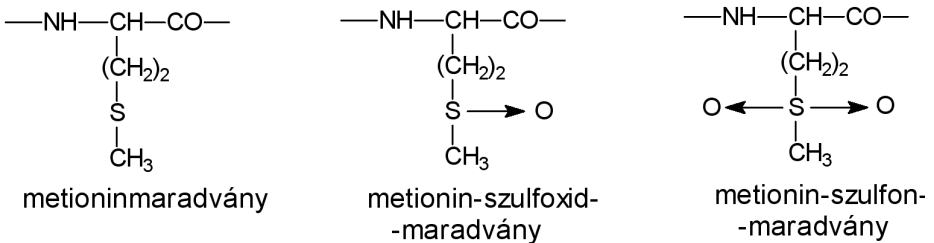
A keresztkötéseket az emésztőenzimek rendkívül nehezen tudják lebontani, ezért az ilyen fehérjék biológiai értéke kisebb, mint a natív, kezeletlen fehérjéé. Erélyesebb hőkezelés hatására a lizin  $\varepsilon$ -aminocsoportja, valamint a glutamin és az aszparagin amidcsoportja között jöhetnek létre keresztkötések. A fehérjében lévő lizin 15%-a képes így reakcióba lépni, ami a fehérje biológiai értékét jelentősen csökkenti.

A fehérjék oxidálóanyagokkal is reagálhatnak a termék előállítása alkalmával. Az aminosavak közül a kéntartalmú cisztin, cisztein és metionin, valamint a triptofán a legérzékenyebb az oxidációra. A metionint



3.31. ábra. A dehidroalanin kialakulása és reakciói

erős oxidálószeres metionin-szulfoxiddá, metionin-szulfonná oxidálják (3.32. ábra). A cisztin és a cisztein számos oxidációs terméke közül a mono- és diszulfidok és a cisztein-szulfénsav még vissza tud alakulni L-ciszteinné, a ciszteinsav és a cisztein-szulfénsav azonban már felhasználhatatlan az ember és az állat számára.



3.32. ábra. A metionin oxidációja

A fehérjék szénhidrátokkal is kapcsolatba léphetnek a feldolgozás és a tárolás során. Ilyen kapcsolat lehet a korábban már tárgyalt nem

enzimes barnulás vagy *Maillard*-reakció. A reakció alkalmával létrejött termékek biológiai értéke kisebb. A reakció végtermékei, a melanoidinek, nehezen emészthető, nagy móltömegű komplexek, amelyek még mutagén hatást is mutatnak.

A feldolgozás és a tárolás során jelentős változások mehetnek végbe a *funkcionális tulajdonságokban* is. A funkcionális tulajdonságokra leginkább a fehérje másodlagos, harmadlagos és negyedleges szerkezetében bekövetkező változások vannak hatással. A pH vagy a sókoncentráció megváltoztatásával reverzibilis aggregáció áll elő, amely módszert előszeretettel alkalmaznak fehérjekészítmények előállítására és tisztítására. A víz részleges eltávolítása következtében fehérje-fehérje, fehérje-só és fehérje-szénhidrát kapcsolódások alakulhatnak ki, amelyek ugyancsak megváltoztatják a funkcionális tulajdonságokat. Enyhe alkalikus kezelés hatására proteínátok (fehérje-sók) jönnek létre, amelyek vízben jól oldódnak, vízmegkötő képességük igen jó, és felületaktív tulajdonságaik is kiválóak. Mechanikai hatásokra a részecskék fajlagos felületének megváltozása következtében megnő a víz- és zsíradszorpció, a fehérje oldhatósága és habképző tulajdonsága az eredeti anyaghoz viszonyítva. Hőkezelés hatására megváltozik a fehérjék szerkezete, ami a peptidkötés hidrolízisét és az aminosav-oldalláncok módosulását okozhatja. Az oldalláncban bekövetkező változások és az ezt követő kondenzációs reakciók jelentős mértékben csökkenthetik a biológiai értéket.

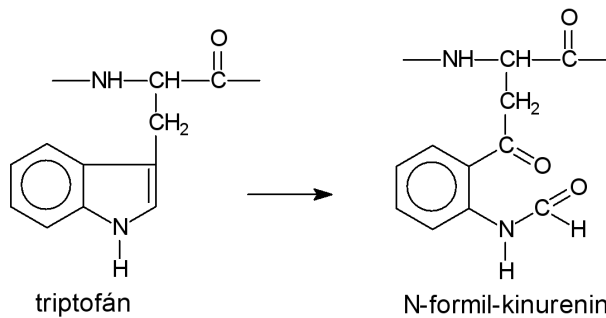
Enzimek hatására jelentős változások jöhetnek létre a funkcionális tulajdonságokban is. Az élelmiszer-iparban a legtöbb esetben fehérjebontó enzimeket alkalmaznak a kedvezőbb fizikai és kémiai tulajdonságok elérése céljából. Ilyen módszer pl. a hús érlelése *papainnal*, a kazein kicsapása *kimozinnal* és a vízdoldható fehérjekészítmények előállítása növényi és állati fehérjékből. Részleges proteolízissel javítani lehet a hődenaturált fehérjék emulgeáló- és habképző tulajdonságait, valamint a fehérjék emészthetőségét.

### 3.4. A fehérjék biokémiai változásai

A fehérjék és a belőlük hidrolízissel előállított aminosavak sokfélesége, az aminosavak átalakulásának lehetséges útjai rendkívül bonyolulttá teszik az élelmiszer-fehérjékben végbemenő változásokat. Ezen változások közül elsősorban azokkal foglalkozunk, amelyek a fehérjéket alkotó aminosavak oldalláncaiban mennek végbe. Röviden foglalkozunk

a fehérje-fehérje, a fehérje-lipid és a fehérje-szénhidrát kölcsönhatásokkal, valamint a fehérje és a fitinsav között lehetséges reakciókkal.

Az aminosav-oldalláncok egyszerű átalakulásai közül az *oxidatív átalakulások* talán a legjellemzőbbek. Erélyes oxidatív hatásra először a kéntartalmú aminosavak oxidációja következik be, amelynek során metioninból és ciszteinből metioninszulfon és ciszteinsav keletkezik. Triptofánból az indolgyűrű hasadását követően N-formil-kinurenin keletkezhet (3.33. ábra), és oxidatív változást szenvedhet a tirozin, a szerin és a treonin is.

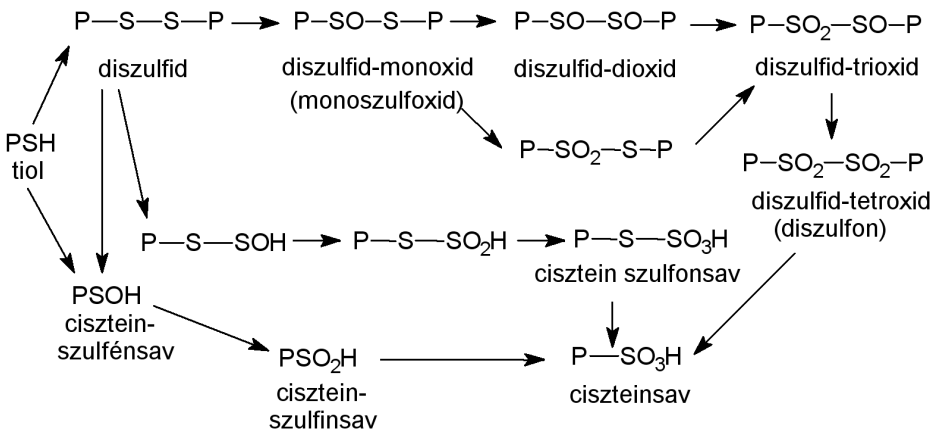


**3.33. ábra.** A triptofán oxidatív átalakulása N-formil-kinureninné

Az élelmiszer-ipari gyakorlatban az erélyesebb oxidatív szerek alkalmazása ritka. A hidrogén-peroxidot alkalmazzák a tejiparban a sajtgyártás során, esetleg sütőipari célokra fehérjeizolátumok, illetve -koncentrátumok fehérítésére, bár a peroxidok lisztjavító célú felhasználását ma már a legtöbb országban tiltják. Zsírsav-peroxidok a zsírtartalmú élelmiszerek természetes alkotórészei, amelyek a lipidek enzimes vagy nem enzimes oxidációja során keletkeznek. Az oxidáló hatást levegő jelenlétében elősegíti még az ionizáló sugárzás is.

A hidrogén-peroxid a tejipari kezeléseknél szokásos körülmények (0,2 mol, 50 °C, 30 perc) mellett fokozatosan oxidálja a kazein metioninját metionin-szulfoxidá. A savófehérjék lényegesen érzékenyebbek az oxidációra, amelynek során metionin-, cisztein- és triptofántartalmuk is csökken. Riboflavin jelenlétében, amely szenzibilizáló, színes vegyület, fotooxidáció léphet fel, aminek során a kéntartalmú aminosavak mellett a triptofán, a tirozin és a hisztidin is károsodik. 4-nél alacsonyabb pH-nál csak a metionin és a triptofán oxidálódik. Az ionizáló sugárzásos kezelés hatására levegő jelenlétében ugyancsak hidrogén-peroxid ke-





3.34. ábra. A kéntartalmú oldalláncok oxidációjának lehetséges útjai

letkezik, ami a kéntartalmú aminosavak mennyiségének csökkenéséhez vezet. A  $\gamma$ -sugárzás a fehérjék radiolízisét eredményezheti, s a keletkező illó kénvegyületek a besugárzott tej, hús és zöldségfélék mellékízét okozzák. Oxidációra hajlamos lipidek jelenlétében kimutatható a metionin oxidációja szulfoxiddá, amely átalakulásban feltételezhetően a zsírsav-peroxid játszik szerepet. *Pirrol oxigenázok* hatására a triptofánból N-formil-kinurenin képződik, a tirozinból pedig a *polifenil-oxidázok* révén dihidroxi-fenil-alanin keletkezik. A kéntartalmú aminosav-oldalláncok oxidációjának lehetséges útjait a 3.34. ábra mutatja.

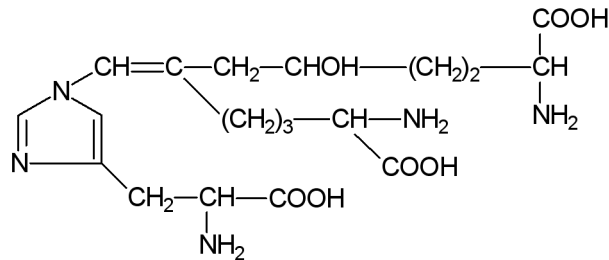
Táplálkozási szempontból a ciszteinsav, a metionin-szulfon és a formil-kinurenin nem helyettesítheti a megfelelő aminosavakat. A szabad L-cisztin szulfoxidja, illetve diszulfid-oxidja, a cisztein-szulfénsav, valamint a metionin-szulfoxid részben hasznosulhat a szervezetben. Általánosságban azonban megállapítható, hogy az oxidatív változások a fehérjék biológiai értékét csökkentik.

Nagy nedvességtartalmú élelmiszerek magasabb hőmérsékletre melegítéskor a cisztein számottevő mértékben elbomlik. A bomlás kéntartalmú vegyületek (kén-hidrogén, metil-merkaptán, dimetil-szulfid) képződésével jár együtt, amelyek az érzékszervi tulajdonságokat nagymértékben befolyásolják. A *deszulfurizáció* következtében olyan újabb, re-

akcióképes csoportok keletkeznek, amelyek további reakciók kiindulópontjai lehetnek.

Főleg lúgos kezelés hatására, a fehérjét alkotó aminosavak *izomerizációja* is bekövetkezhet. A racemizáció lúgos közegben *D-aminosavakat* eredményezhet, amivel bővebben a fejezet végén foglalkozunk. A száraz fehérje hevítése (pl. pörkölés) szintén okozhat izomerizációt, ami legnagyobb mértékben az aszparaginsavnál, a glutaminsavnál, az alaninnál és a lizinnél tapasztalható. Hosszabb hőkezelés során kisebb molekulatömegű peptidek és D-aminosavak is keletkezhetnek. Ezek az átalakulások általában gátolják a proteolízist és rontják a fehérje biológiai értékét.

A polipeptidláncok reakcióképes csoportjai révén lehetőség van a *fehérjék közötti* reakciók, *kölcsönhatások* fellépésére is. A reakciók révén kialakuló keresztkötések gátolják a proteolízist, és ezen keresztül csökkentik a fehérjék táplálkozási értékét. Néhány természetes fehérje kovalens keresztkötései, mint pl. a fibrin  $\epsilon$ -N-( $\gamma$ -glutamil)-lizin keresztkötése a keratinban és a fibrinben, valamint a hisztidil-allizil-hidroxi-allizin kötés (3.35. ábra) a kollagénbén nagymértékben rontják az emészthetőséget.

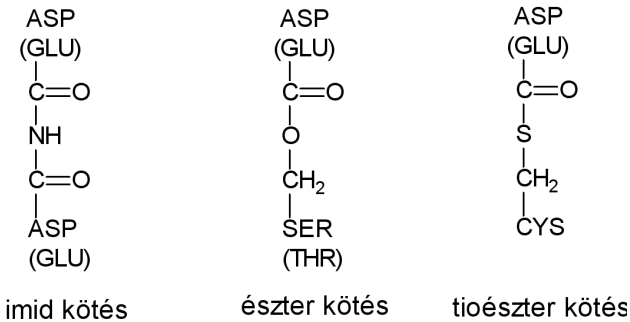


hisztidil-allizil-hidroxi-allizin

3.35. ábra. Keresztkötések kialakulása a fehérjeláncok között

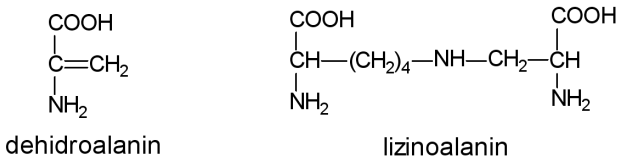
A fehérje-fehérje keresztkötések a fehérjék előállítása és feldolgozása során is kialakulhatnak. A plazmaalbumin hevítésekor a glutamil- és a lizil-oldallánc között ammónia felszabadulása közben keresztkötés alakul ki, amely csökkentheti a lizin hasznosíthatóságát.

A lizin  $\epsilon$ -aminocsoportjának acilezése annak hasznosulását különbözőképpen módosítja. Vannak olyan származékok, amelyek 100%-ban, vannak, amelyek csak 50%-ban, és vannak olyan származékok, amelyek egyáltalán nem hasznosulnak az állati szervezetben. A laktalbu-



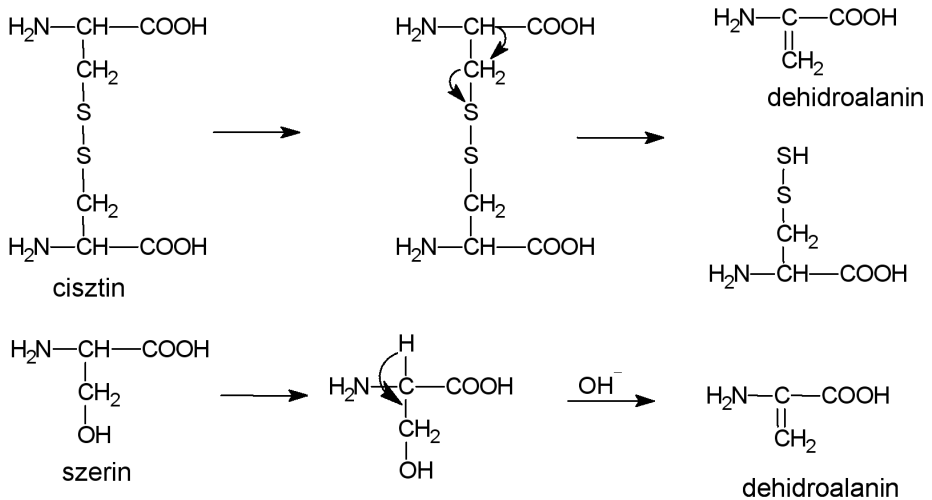
**3.36. ábra.** *Imid, észter és tioészter kötés kialakulása*

min egyes aminosav-oldalláncainak acilezésével kapott származékai 43–77%-ban hasznosulnak a szervezetben. A fenti keresztkötéseken túl a lizin-glutaminsav keresztkötések mellett imid, észter és tioészter keresztkötések is kialakulhatnak a fehérjeláncok között (3.36. ábra). A fehérjék lúgos kezelése során keletkező új származékok közül legnagyobb gazdasági jelentőséggel a lizinoalanin bír: az első ízben szójaizolátumban kimutatott vegyület prekuzora a cisztein lebomlásából keletkező dehidroalanin (3.37., 3.38. és 3.39. ábra).



**3.37. ábra.** *A dehidroalanin és a lizinoalanin*

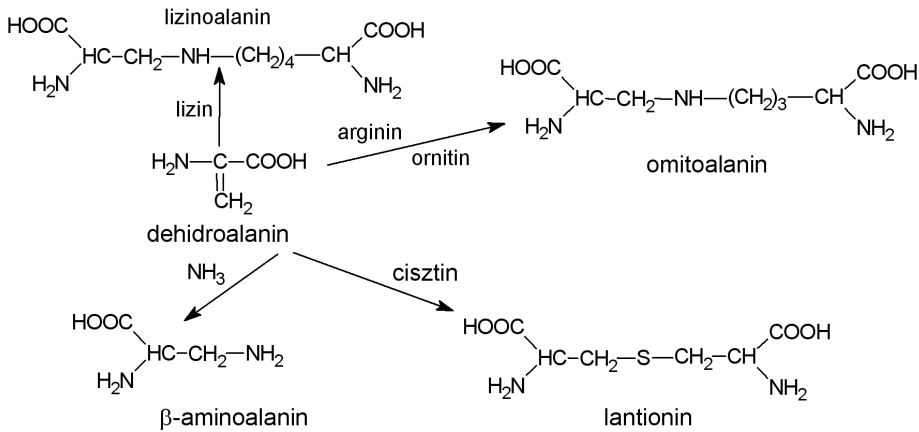
A lizinoalanin (LAL) káros biológiai hatását először a lúgos kezeléssel előállított szójapreparátummal végzett patkányetelési kísérletek során észlelték. A kísérleti patkányok veséjében a hámszövet sejtjeinek sejtmagja, valamint a DNS- és fehérjetartalma megnőtt. A jelenséget nephrocytomegaliának nevezték el, amelynek tünetei már az első etetési hét után jelentkeztek a vesetubulusok sejtjeinek fokozott osztódásában. A vesekárosodási tünetek a patkánytörzstől függően 50–100 mg/kg LAL etetéskor jelentkeztek, extrém nagy dózisok (10 000 mg/kg) esetén pedig a károsodás a teljes vesére is kiterjedt. A LAL vesekárosító hatása nem tekinthető karcinogén jellegűnek, mert egy kétéves kísérlet alatt



3.38. ábra. A dehidroalanin keletkezése

200 mg/kg LAL-tartalmú takarmánnyal etetett patkányokon nem tapasztaltak rákos tüneteket, sőt nephrocytomegaliás tüneteket csak szintetikus LAL adagolása esetén tudtak kimutatni. LAL-tartalmú fehérjék savas hidrolizátumával végzett etetés esetén a nephrotoxikus tünetek már 200 mg/kg koncentráció esetén is megjelentek, míg a hidrolizátatlan fehérje 2000–6000 mg/kg LAL-koncentráció mellett sem produkált tüneteket. Egy másik kísérletben 10 000 mg/kg LAL-tartalom ellenére is csak 52 hét után jelentek meg a tünetek. Az ellentmondó eredményeket talán a kísérleti feltételek különbségei magyarázhatják.

A LAL hatását a különböző dietetikus faktorok jelentősen befolyásolhatják. A LAL-t nem tartalmazó védő fehérjék ellensúlyozhatják a LAL hatását. Úgy tűnik, hogy a szabad, illetve oligopeptid formában található LAL toxicitása jóval nagyobb, és a fehérjékben kötött LAL toxicitásának érvényre jutását akadályozhatja a fehérje emészthetőségének csökkenése, amely a keresztkötések kialakulása miatt következett be. A LAL toxicitását még befolyásolhatja az is, hogy milyen sztereoiszomer formában van jelen a molekulában. A négy sztereoiszomer közül a legtoxikusabb az LD-forma (az első betű a lizin részre, a második az alanin részre vonatkozik), amely az LL-, a DL- és a DD-formáknál 20–30-szor hatásosabb. A kísérletek ellentmondásait okozhatja az is, hogy a nyúl,

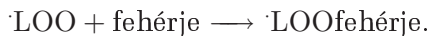


3.39. ábra. A lizinoalanin képződése

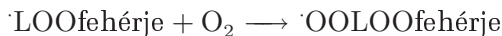
az aranyhőrcsög, az egér, a kutya és a japánfürg, valamint a Rhesus majom a lizinoalaninra egyáltalán nem mutatott semmiféle tüneteket. Úgy tűnik, hogy a LAL által okozott nephrocytomegalia nem csupán a patkányokra korlátozódik, a patkányok azonban a többi állatfajnál nagyságrendekkel érzékenyebbek a lizinoalaninre. Az emberi táplálkozásban használt élelmiszerek az állatkísérletekben használtakhoz képest alacsony LAL-tartalmúak, ezért ezek semmiféle egészségügyi kockázatot nem jelentenek.

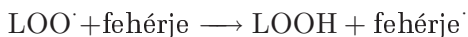
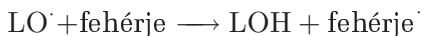
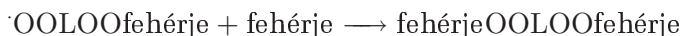
*A fehérje szénhidrátokkal való kölcsönhatását (Maillard-reakció) a szénhidrátoknál tárgyaltuk.*

*A fehérjék és a lipidek oxidációs termékei közötti kölcsönhatások már jó ideje ismertek. Leggyakrabban a fehérjekészítmények és az oxidált linolsavészterek kölcsönhatásait vizsgálták. Ennek során megállapították, hogy a lipidek szabad gyökei (L·, LO· /alkoxi/, LOO· /peroxi/) a fehérjékkel különböző módon reagálhatnak. Lehetséges addícióval gyök képződése az alábbiak szerint:*



A további reakciókban polimerek keletkezhetnek a következők szerint:





A gyök általában az  $\alpha$ -szénatomon, ritkábban pedig a cisztein kénatomján alakul ki. A szabad fehérjegyökök lipidmentes fehérjepolimerizátumokat eredményezhetnek, amelynek tényét vízdoldható fehérjéket, enzimeket és peroxidált lipideket tartalmazó rendszerekben sikerült bizonyítani, aminek során a molekulatömeg jelentősen növekedett. E reakciók alkalmával veszteség lépett fel a metionin, a cisztein-, a hisztidin- és a lizintartalomban. A peroxidok hatására a fehérjében láncszakadások is előfordulhatnak.

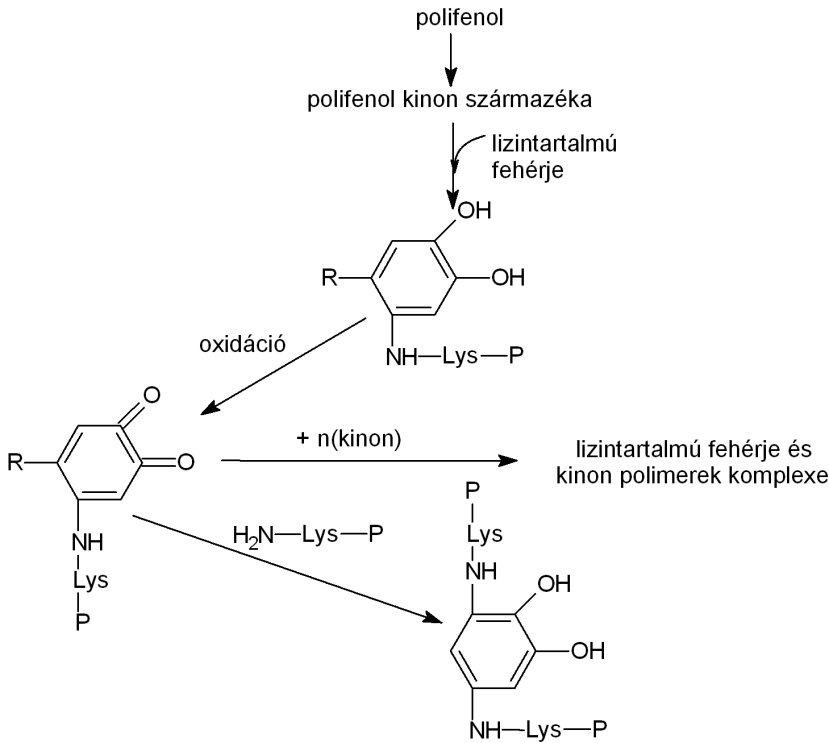
Karbonil-amin reakció a lipid autooxidáció második szakaszában keletkező oxovegyületek, valamint a fehérjék aminocsoportot tartalmazó oldalláncai között jön létre:



Az ilyen típusú reakciók létrejöttét bizonyítja többek között a fehérjék oldhatóságának változása és a *Schiff*-bázis kötésekre jellemző elnyelési sávok megjelenése a spektrumban. A malon-aldehid két fehérjelánc között keresztkötéseket tud létrehozni, amely reakció nemcsak a fehérjék, hanem az egyes aminosavak között is létrejöhet. A reakciónak jelentősége lehet a zsírszövetek, illetve zsírtartalmú élelmiszerek nemkívánatos elszíneződésével kapcsolatban.

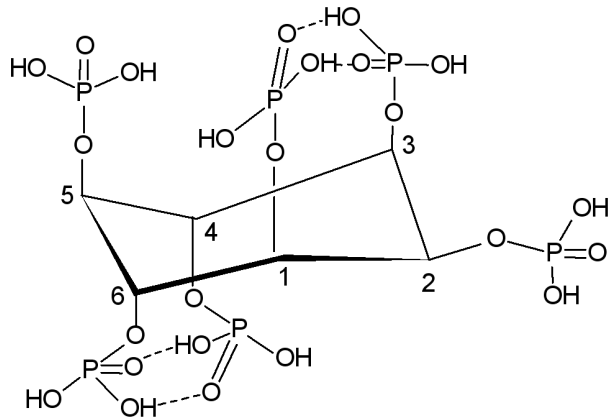
A polifenol-vegyületek, amelyek számos élelmiszer-ipari nyersanyag összetevői, a sérült növényi szövetekben, így az élelmiszer-ipari feldolgozás során is, könnyen oxidálódnak. Az *oxidált polifenolok fehérjékkel kölcsönhatásba lépve* lényegesen csökkentik a hozzáférhető lizin mennyiségét, és ezen keresztül jelentősen rontják a fehérjék biológiai értékét. Különösen igaz ez alkalikus közegben végbemenő változásokra, de semleges közegben is a lizin oldalláncai közvetlenül kapcsolódhatnak az aromás gyűrűhöz. A feltételezett reakciókat a 3.40. ábra mutatja.

A fitinsav és sói a növényi magvak állandó természetes összetevői, amelyek szerepe elsősorban a foszforsav és az inozit tárolása. A mikroelemek táplálkozástani értékét és hasznosulását a fitinsav, mint kelátképző, jelentősen befolyásolhatja (3.41. ábra).

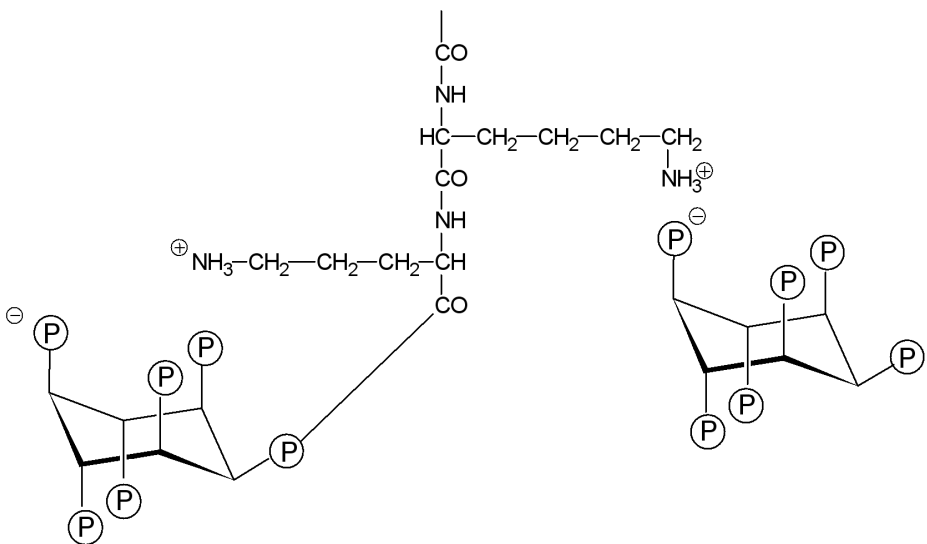


**3.40. ábra.** Polifenol-fehérje reakciók semleges közegben

A fitinsav azonban kapcsolatba léphet a fehérjékkal is, mind savas, mind lúgos közegben, fitinsav-fehérje komplexeket létrehozva. Többértékű kation jelenlétében hármas fitinsav-fém-fehérje komplexek is keletkezhetnek, amelyben a kölcsönhatás jellege savas közegben ionos. Olyan savas közegben, amelyben a fitinsav egyes hidrogénjei disszociálnak, vagyis a fitinsav negatív töltésű, a legtöbb fehérje pedig pozitív töltésekkel rendelkezik, a kölcsönhatás gyors, és a komplexek stabilak. Alacsony pH-értéknél a fehérje pozitív töltésű csoportjai reagálnak a fitinsavval, és kedvező szterikus viszonyok között a fitinsav hidat létesíthet a két polipeptidlánc között (3.42. ábra). Kétértékű kation hármas komplex képződését eredményezheti, és többszörös lipid- és szénhidrát-tartalmú komplexek kialakítására is van lehetőség.



3.41. ábra. A fitinsav szerkezete



3.42. ábra. Polipeptidhíd két fitinsav-molekula között



### 3.5. Élelmiszerek D-aminosav-tartalma

Az élelmiszerek nagy mennyiségben tartalmazhatnak olyan, idegen eredetű, nem természetes anyagokat, amelyek nagymértékben befolyásolhatják az emészthetőséget. Ilyenek például a D-sztereoizomer aminosavak, amelyek a közönséges L-sztereoizomer aminosavakból képződnek vagy az előállítás folyamán, vagy az élelmiszer mikrobiológiai minőségében beállt változás következtében. Jelenlétük nagymértékben csökkentheti az élelmiszer-fehérje emészthetőségét és az átalakult aminosav felhasználhatóságát. Annak ellenére azonban, hogy a D-aminosavakat nemkívánatosnak tartják az élelmiszerekben, többen azon a véleményen vannak, hogy a D-aminosavak némely esetben még előnyösek is lehetnek az emberi szervezet számára.

*Pasteur*, mint sok minden másban, e területen is úttörő munkát végzett. A bükkönyből előállított aszparaginsavról kimutatta, hogy az optikailag aktív (királis), az ammónium-fumarát hevítésével előállított pedig nem mutat optikai aktivitást. Ezt követően rájöttek arra, hogy az élő szervezet fehérjéit kizárólag L-aminosavak építik fel, annak ellenére, hogy a D- és az L-sztereoizomerek (enantiomerek) ugyanazzal a kémiai és fizikai tulajdonsággal rendelkeznek, egyetlen kivétellel, ez pedig a polarizált fény síkjának az elforgatása. A két sztereoizomer a polarizált fény síkját különböző irányban forgatja el. Az élő szervezet fehérjeinek sztereospecifikus szintézisét nem tudták megmagyarázni, és ez a problémakör csaknem egy évszázadon át foglalkoztatta a tudósokat.

Az aminosav enantiomerek szétválasztására és meghatározására kifejlesztett módszerek tökéletesedésével úgy találták, hogy a D-aminosavak – a korábbi felfogással ellentétben – nagyon sok szervezetben előfordulnak. A baktériumok sejtfalának peptidoglikánjai például D-aszparaginsavat, D-glutaminsavat és D-alanint tartalmaznak. Néhány tengeri féreg és gerinctelen állat sejtfolyadékának fő komponensei a D-aminosavak, és néhány tengeri kagylóban a D-aminosav mennyisége az 1%-ot is meghaladhatja. Ezt követően kimutatták, hogy a magasabb rendű növények is tartalmaznak D-aminosavakat. A hosszú élet-tartamú emlősök metabolikusan stabil fehérjéi nagyobb mennyiségben tartalmaznak racemizációból származó D-aszparaginsavat; az emberi agy fehérállományának D-aszparaginsav-koncentrációja eléri a 3, a gerincvelő tisztított bázikus fehérjéje esetében pedig a 10%-ot. Bizonyították, hogy az aszparaginsav az emberi szövetekben *in vivo* racemizálódik, bár

a gyors anyagforgalom miatt nem akkumulálódik mérhető mennyiségben.

A királis aminosavak átalakulhatnak racém keverékké, amely átalakulás reakciómechanizmusa feltételezi az  $\alpha$ -helyzetű szénatom hidrogénjének leszakadását, a planáris karbanion szerkezet kialakulását. A racemizáció aránya függ attól, hogy az aminosav szabadon vagy a peptidláncban, kötött formában van jelen, és természetesen leginkább függ a hőmérséklettől, a pH-tól és az aminosavban előforduló R csoport tulajdonságától. A szabad aminosavak racemizációját tanulmányozva megállapították, hogy 100 °C-on 7 és 8 pH között a szerin racemizációs felezési ideje (az az idő, amikor a D/L arány eléri a 0,33-at) három nap, az aszparaginsavé 30 nap, az alaniné 120 nap, az izoleuciné pedig 300 nap. A pH=9-nél 83 °C-on kazein esetében az előbbi négy aminosav racemizációs felezési ideje az alábbiak szerint alakult: 16 óra, 19 óra, 11 nap, 57 nap, a szójafehérje esetében 75 °C-on 0,1 mólos nátriumhidroxidban pedig: 9 perc, 20 perc, 5 óra, 25 óra. Amint az összeállításból is látható, a különböző aminosavak különböző körülmények között eltérő idejű racemizációs időt mutatnak, de az aminosavak közötti racemizációs sorrend többé-kevésbé változatlan marad. A szerin, a cisztin és a treonin racemizációja nemcsak a vonatkozó D-enantiomert eredményezheti, hanem a fehérjeépítő aminosavaktól eltérő aminosavat is. A szerin pl. a karbanion köztiállapotban gyorsan elveszítheti OH-csoportját dehidroalanin keletkezése közben. A dehidroalanin reakciója a lizin  $\epsilon$ -amino-csoportjával lizinoalanint eredményez, egy olyan aminosavat, amelynek alaninrésze racém, lizinrésze pedig optikailag aktív. A táplálékfehérjékben ez a reakció keresztkötéseket hozhat létre, ami csökkenti a fehérje emészthetőségét, és a táplálék lizinoalanin-tartalma toxikus hatású is, amiről korábban már volt szó.

Táplálkozási szempontból az esszenciális aminosavak racemizációjának van a legnagyobb jelentősége. Az esszenciális aminosavak D-enantiomerjeinek emészthetőségét és metabolizmusát már régóta vizsgálják. A korai tanulmányokat összefoglaló munkákból kitűnik, hogy az emlősökben az esszenciális aminosavak D-enantiomerjei igen gyengén hasznosulnak, néhány esetben növekedési inhibítorként hatnak, és főként a vizelettel ürülnek ki.

Az esszenciális aminosavak racemizációs felezési idejét csak a legutóbbi időkben vizsgálták. 7 és 8 közötti pH-n az izoleucin, a leucin és a valin racemizációs felezési idejét 100 °C-on 300 napnak, a fenilalaninét és a tirozinét pedig 50 napnak mérték. Ugyanilyen körülmények

között a lizinét 40 napnak, a triptofánét pH=9-en és 83 °C-on 40 napnak, a treoninét 20 napnak, a ciszteinét pedig két napnak mérték. A metionin racemizációs felezési idejére 100 °C-on és pH 7 és 8 között 30 napot kaptak. A mérési adatokból úgy tűnik, hogy a cisztein különösen hajlamos a racemizációra, míg az alifás oldalláncú aminosavak a legstabilabbak e tekintetben. A legtöbb esszenciális aminosav racemizációs felezési ideje hosszabb, mint az aszparaginsavé.

A lúgos kezelésnek vagy hosszabb ideig hőnek kitett élelmiszer-fehérjék nagyobb koncentrációban tartalmazznak racemizációból eredő aminosavakat. Kimutatták, hogy a hőnek és az erős alkáliáknak kitett fehérjék emészthetősége csökken. Ma már nyilvánvaló, hogy az emészthetőség csökkenése összefüggésben van a lizinoalanin keletkezésével és a fellépő racemizációval.

*Élelmezési eredetű D-aminosavak.* Annak ellenére, hogy néhány rovar, féreg és tengeri gerinctelen állat jelentős mennyiségű D-aminosavat tartalmaz – mivel ezek nem fő élelmiszer-komponensek az emberiség számára – mennyiségük jelentéktelen, jelentőségüktől ezért eltekinthetünk. Azokban a közösségekben azonban, ahol a tengeri kagylók fontos élelmiszerforrások, a nagy mennyiségben elfogyasztott D-aminosavakat nemcsak táplálkozási, hanem toxikológiai szempontból is figyelembe kell venni, a tengeri kagylókban ugyanis a D-aminosavak mennyisége az 1%-ot is meghaladhatja. A D-aminosavak mennyisége a tengeri puhatestű állatokban 0,11–1,6 mM között változhat 70% víztartalmú testszövetre vonatkoztatva.

Az élelmiszer-kezelések többsége (melyet az íz, az állag vagy eltartóhatóság miatt végeznek, beleértve a főzést és a sütést is) hőkezeléssel jár, és esetenként alkalikus körülményeket is alkalmaznak. Ez a beavatkozás által indukált racemizáció eredményezi a D-aminosavakat a fehérjékben. Kimutatták, hogy néhány, technológiai behatásnak alávetett, kereskedelmi forgalomban kapható élelmiszerben nagyobb mennyiségű D-aminosav van. A lizinoalanin szinte mindenütt jelen van az élelmi anyagokban. Ráadásul az olyan, szintetikus előállított termékek, mint az aszpartám-dipeptid, különösen hajlamosak a racemizációra. Vizsgálataink szerint a lúgos hidrolízissel előállított toll-liszt aminosavainak 10–40%-a racemizálódik az előállítási paraméterek függvényében.

*Természetes alapanyagok.* A tej, a hús és a gabonafélék, amelyek nyers állapotban nem tartalmazznak jelentős mennyiségben D-aminosavakat, a fogyasztásra való előkészítés folyamán gyakran vannak olyan körülményeknek kitéve, amelyek racemizációt okozhatnak. A tej és tej-

termékek a legjobb példák arra, hogy hogyan változhat meg a természetes anyag összetétele. Bár az élelmiszer-áruházak egy részében kezeletlen (nyers) tej is kapható, a legtöbb tejterméket először pasztörözik (hőntartás 30 percig, 68–72 °C-on) vagy ultrapasztörözik (hőntartás 135–145 °C-on, 15 másodpercig). Ezt követi aztán a homogénezés, a kondenzálás és befejezésképpen olyan, speciális terméket kapunk, mint a fogyasztási tej, a joghurt vagy a különböző tejfehérje frakciókból kapott sajt. Ez utóbbi két tejterméket baktériumok segítségével fermentálják, ami ugyancsak forrása a D-aminosavaknak. A következőkben a D-aminosavak koncentrációját minden esetben az alábbiak szerint adjuk meg:

$$\% \text{ D-aminosav} = \frac{D}{D + L} \cdot 100.$$

A tejkezelés hatására bekövetkező változásokat a D-aszparaginsav koncentrációjának mérésével tanulmányozták. A kezeletlen nyers tej tartalmazta a legkevesebb D-aszparaginsavat (1,48%), a kezeléseket növekvő számával pedig nőtt a mennyisége (acidofil tej: 2,05%, zsírtalanított tejpor: 2,15%, kefir: 2,44%, sűrített tej: 2,49%, joghurt: 3,12%, tejalapú csecsemőtápszer: 4,95%). Azok a termékek tehát, amelyek előállításához melegítés szükséges, akár 5% D-aszparaginsav-tartalmúak is lehetnek. Legnagyobb a D-aszparaginsav aránya a csecsemőtápszerekben, amelyek olyan technológiai beavatkozásokon mennek keresztül, mint pl. a porlasztva szárítás vagy a hővel való sterilizálás.

A hőkezelés és a baktériumok hatását vizsgálva a tej szabad és fehérjében kötött D-aminosav-tartalmára megállapították, hogy a nyers tej szabad D-aminosav-tartalma nem nőtt a pasztörözés, az ultrapasztörözés vagy a sterilizálás hatására. A vizsgált tejminták szabad D-alanin-tartalmát 3–8% közöttinek, D-aszparaginsav-tartalmát 2–5% közöttinek, D-glutaminsav-tartalmát pedig 2–4% közöttinek mérték. Ezzel szemben megállapították, hogy a nyers tejminták szabad D-aminosav-tartalma jelentősen nőtt a 4 °C-on való tárolás alatt, ezért a D-alanin-tartalmat a tej bakteriális szennyezettségének ellenőrzésére javasolják felhasználni. A tejfehérjében kimutatott D-aminosav-tartalmat a fehérje hidrolízise során bekövetkezett racemizációnak tulajdonítják.

A tejpor szabad D-aszparaginsav-tartalmát 4–5%, D-alanin-tartalmát pedig 8–12% közöttinek találták. A joghurt szabad D-alanin-tartalmát 64–68%-nak, szabad D-aszparaginsav-tartalmát 20–32%-nak, szabad D-glutaminsav-tartalmát pedig 53–56%-nak mérték az összes szabad D-aminosav százalékában. Ugyanezek az értékek érett sajt esetében 20–

45%, 8–35% és 5–22% között alakultak. Az érett sajt szabad D-fenilalanin-tartalmát 2–13% közöttinek találták, és minimális mennyiségű D-leucint is ki tudtak mutatni az érett sajtból. A pörkölt kávé D-aszparaginsav-tartalmát 23–38%, D-glutaminsav-tartalmát 32–41%, D-fenilalanin-tartalmát pedig 9–12% között találták. A mérések eredményei felhívják a figyelmet arra, hogy nem azok az élelmiszerek tartalmazznak sok D-aminosavat, amelyeket hosszabb ideig tartó hőkezelésnek tettek ki, hanem inkább azok, amelyek baktériumos fermentáción mentek keresztül.

**3.3. táblázat.** *A tej és a savanyú tejtermékek szabad aminosav-tartalma<sup>1</sup> (mg/100 g)*

| Aminosav                          | Nyers tej –<br>Pasztőrözött | Kefir | Joghurt | Aludt-<br>tej | Friss sajt | Harzer sajt |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------|---------|---------------|------------|-------------|
| D-Ala                             | 0,003–0,012                 | 0,31  | 1,35    | 0,46          | 1,07       | 2,48        |
| D-Asx <sup>3</sup>                | 0,017–0,038                 | 0,35  | 0,31    | 0,25          | 0,38       | 0,37        |
| D-Glx <sup>3</sup>                | 0,07–0,19                   | 0,50  | 1,09    | 0,58          | 0,75       | 2,13        |
| D-Val                             | –                           | 0,03  | –       | 0,04          | 0,09       | –           |
| D-Leu                             | –                           | 0,11  | –       | 0,15          | 0,16       | –           |
| D-Lys                             | –                           | 0,09  | –       | 0,13          | 0,44       | 1,49        |
| D-allo-Ile <sup>2</sup>           | –                           | 0,07  | –       | 0,02          | –          | 0,27        |
| D-Ser                             | –                           | 0,02  | –       | –             | –          | –           |
| D-Pro                             | –                           | –     | –       | –             | –          | 2,18        |
| szabad aminosavak<br>(mg/100 g)   | 3,29–10,3                   | 26,2  | 28,4    | 36,8          | 39,2       | 159         |
| szabad D-aminosavak<br>(mg/100 g) | 0,09–0,24                   | 1,48  | 2,75    | 1,63          | 2,89       | 8,92        |

<sup>1</sup> %D=(D/D+L)100

<sup>2</sup> %D-allo-Ile=D-allo-Ile/(D-allo-Ile+L-allo-Ile+D-Ile+L-Ile)

<sup>3</sup> Asx=Asp+Asn, aszparaginsavként számolva, Glx=Glu+Gln, glutaminsavként számolva

A tej, a fermentált tej, a friss sajt és a túró szabad D-aminosavait vizsgálva megállapították, hogy jelentős mennyiségű D-aminosav fordul elő mind a nyers tejben, mind a belőle készített erjesztett tejtermékekben. Az eredményeket a 3.3 táblázat tartalmazza. A táblázat adataiból megállapítható, hogy a joghurt és a sajt jelentős mennyiségű D-alanint (1,35–2,48 mg/100 g), D-aszparaginsavat (0,31–0,37 mg/100 g)

és D-glutaminsavat (1,09–2,13 mg/100 g) tartalmaz, és ezenkívül jelentős lehet még a D-lizin (1,49 mg/100 g) és a D-prolin (2,18 mg/100 g) mennyisége is. Találtak még nyomnyi mennyiségben D-valint, D-leucint, D-alloizoleucint és D-szerint is az erjesztett tejtermékekben. A D-aminosavak eredetét elemezve megállapítják, hogy azok legnagyobb részét a mikrobiológiai beavatkozásból, nyers vagy pasztörözött minták esetében pedig a mikrobiális szennyeződésből, esetleg a szubklinikai tőgygyulladásos egyedek tejének az elegytejhez való hozzáfejeséséből származtathatók.

Keresve a választ arra, hogy vajon mi okozza a kereskedelmi forgalomban kapható tej D-aminosav-tartalmát, meghatározták egészséges tehenek első tejsugarai, első tejsugaraktól mentes elegyteje, valamint a masztitisz-próba különböző fokozatainak megfelelő tejminták szabad D-aminosav-tartalmát (3.4. táblázat).

**3.4. táblázat.** *Az egészséges és a masztitiszos tehenektől fejt tej szabad D-aminosav-tartalma\**

| D-aminosav<br>(mg/100 cm <sup>3</sup> ) | A vizsgált csoportok a masztitisz-próba alapján |      |      |      |      |
|---|---|------|------|------|------|
|   | negatív   | +    | ++   | +++  | ++++ |
| D-Asp                                   | 0,021   | 0,17 | 0,23 | 0,32 | 0,32 |
| D-Ser                                   | –   | –    | 0,02 | 0,04 | 0,04 |
| D-Glu                                   | 0,053   | 0,74 | 0,99 | 1,48 | 1,53 |
| D-Pro                                   | –   | –    | 0,04 | 0,09 | 0,10 |
| D-Ala                                   | 0,043   | 0,48 | 1,13 | 2,32 | 2,41 |
| D-Val                                   | –   | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,12 |
| D-allo-Ile                              | –   | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15 |
| D-Leu                                   | –   | 0,06 | 0,12 | 0,17 | 0,17 |
| D-Lys                                   | –   | 0,11 | 0,27 | 0,36 | 0,37 |
| szabad D-aminosavak összege             | 0,117   | 1,72 | 2,99 | 4,99 | 5,21 |

\*5 tehen tejének átlaga

Megállapították, hogy mind az első tejsugarak, mind pedig a beteg tőgyből származó tej jelentős mennyiségben tartalmaz D-Asp-t, D-Glu-t és D-Ala-t. A felsorolt aminosavakon kívül a tőgygyulladásos tőgyből származó tejből még D-allo-Ile-t, D-Ser-t, D-Pro-t, D-Val-t, D-Leu-t és

D-Lys-t is ki tudtak mutatni. A D-aminosavak mennyisége és aránya a masztiteszt-próba fokozatainak megfelelően nőtt a beteg tőgyből származó tejben. Vizsgálatok bizonyították, hogy a kereskedelmi tej D-aminosav-tartalmát az első tejsugarak, illetve a szubklinikai masztitiszben szenvedő tehenek teje okozhatja.

Meghatározva az érett ardrahan ír sajt és a camembert sajt 0,5 cm vastag külső rétegének és belső részének, a dán kék, az ementáli, a gouda, a mozzarella, a parmezán és a különböző módszerekkel előállított cheddar sajtok szabad összaminosav-tartalmát (AS) ioncserés oszlopkromatográfiával, szabad D-aszparaginsav- (D-Asp-), D-glutaminsav- (D-Glu-) és D-alanin- (D-Ala-)tartalmát nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, megállapították, hogy a parmezán és a gouda sajt tartalmazza a legtöbb szabad aminosavat (39 000–24 000  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), a mozzarella és a különböző technológiákkal előállított cheddar pedig a legkevesebbet (2400–7400  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), a többi sajt szabad aminosav-tartalma pedig 13 000–19 000  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  között változott.

A szabad D-aminosavak közül a D-Asp átlagosan 58  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  (30,3%), a D-Glu 117  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  (15,8%), a D-Ala pedig 276  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  (37,2%) koncentrációban fordult elő a különböző sajtokban. A zárójelben lévő számok a D-aminosavak százalékát mutatják az összes szabad aminosav százalékában. A D-aminosavak mennyiségében jelentős volt a különbség az egyes sajtok között; a D-aminosavak százalékos összetétele viszont a D-Asp esetében 13,9–46,3%, a D-Glu esetében 12,9–26,6%, a D-Ala esetében pedig 16,1–48,1% között változott (3.5. táblázat). A három D-aminosavon kívül a többi D-aminosav csak nyomnyi koncentrációban, a kimutathatóság határán volt jelen a sajtokban. Nagyobb D-aminosav-tartalmat mértek azoknál a cheddar sajtoknál, ahol laktobacillusokat is használtak az előállítás folyamán.

A mai modern élelmiszer-ipari technológiák különféle eljárások során megváltoztatják a fehérje tulajdonságait azért, hogy javítsák ízét, állagát és eltarthatóságát. Előszórással alkalmazzák a hővel és lúggal való kezelést olyan termékek előállítására, amelyek speciális tulajdonsággal, formával és funkcióval rendelkeznek. A szójafehérjét például alkáliákkal és hővel kezelik azért, hogy olyan, rostos szerkezetű terméket kapjanak az extrúzió folyamán, amelyet húshelyettesítőként használhatnak. Hogy a kukoricafehérjéből kukoricapelyhet vagy tortillát kapjanak, szintén lúgos kezelést alkalmaznak. A 3.6. táblázatban a különböző, lúggal kezelt élelmiszerek D-aminosav-tartalma látható a kezeletlen kontrolléhoz hasonlítva.

**3.5. táblázat.** A különböző sajtok fő\* D-aminosav-tartalma ( $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ )

| Sajtok                              | D-aminosavak |           |       |           |       |           |
|-------------------------------------|--------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|                                     | D-Asp        | D-Asp%,** | D-Glu | D-Glu%,** | D-Ala | D-Ala%,** |
| Érett Ardrahan ír sajt külső rétege | 74           | 27,2      | 173   | 13,1      | 433   | 27,1      |
| Érett Ardrahan ír sajt belső része  | 70           | 23,2      | 235   | 14,4      | 393   | 28,2      |
| Camembert sajt külső rétege         | 42           | 13,9      | 122   | 12,9      | 334   | 18,0      |
| Camembert sajt belső rétege         | 36           | 14,0      | 176   | 14,8      | 259   | 16,1      |
| Dán kék sajt                        | 89           | 31,1      | 149   | 20,2      | 212   | 42,4      |
| Ementáli                            | 42           | 26,8      | 195   | 26,6      | 405   | 45,6      |
| Gouda sajt                          | 61           | 28,5      | 244   | 22,7      | 462   | 38,4      |
| Mozzarella                          | 5,2          | 28,9      | 9,6   | 24,0      | 52    | 33,3      |
| Parmezán                            | 57           | 20,8      | 72    | 10,6      | 752   | 37,3      |
| Kereskedelmi Cheddar                | 74           | 46,3      | 45    | 14,1      | 96    | 45,3      |
| Cheddar 1-es kísérlet               | 74           | 43,5      | 62    | 12,5      | 153   | 46,3      |
| Cheddar 2-es kísérlet               | 89           | 41,4      | 65    | 12,4      | 165   | 48,1      |
| Cheddar 3-as kísérlet               | 59           | 45,4      | 53    | 12,5      | 161   | 47,9      |
| Cheddar 4-es kísérlet               | 41           | 33,4      | 42    | 10,9      | 125   | 46,1      |

\*Az összes D-aminosavat analizálták, de néhány kivételtől eltekintve, az összes többi D-aminosav igen kis koncentrációban volt jelen; ezen D-aminosavak meghatározása bizonytalan volt,

\*\*D% =  $(D/(D+L)) \times 100$ .

A hő vagy a hővel kombinált alkalikus kezelés minden esetben mérhető mennyiségben produkál D-aminosavat. A legnagyobb D-aszparaginsav-tartalma annak a kazeinnek (31%) volt, amelyet 20 percig 230 °C-ra hevítettek fel. A racemizálódott aminosavak összehasonlítása azt mutatja, hogy a racemizáció az aszparaginsavnál a legnagyobb mértékű. Néhány olyan aminosav, amely nincs a táblázatban, mint amilyen pl. a szerin és a cisztein, valószínűleg még gyorsabban racemizálódik az aszparaginsavnál. Általánosságban elmondható, hogy az esszenciális aminosavak nem racemizálódnak gyorsan, csak ha magas hőmérsékletnek



**3.6. táblázat.** *Különböző élelmiszerek D-aminosav-tartalma (%)*<sup>1</sup>

| Kezelt termékek<br>(kezeletlen kontroll)       | Aminosavak  |             |             |            |             |             |
|--|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
|  | Asp         | Ala         | Phe         | Leu        | Val         | Met         |
| Pirítós <sup>2</sup><br>(kenyér)               | 10,5<br>5,6 | 2,8<br>2,4  | 2,4<br>2,3  | 2,7<br>3,2 | 1,1<br>0,9  | 1,7<br>2,3  |
| Extrudált szójaliszt<br>(sojaliszt)            | 7,6<br>4,4  | 2,2<br>2,5  | 2,4<br>2,8  | 2,7<br>1,4 | 0,8<br>1,0  | –<br>–      |
| Szójafehérje <sup>3</sup><br>(kezeletlen)      | 27,7<br>0,5 | 9,9<br>0,2  | 19,7<br>0,5 | 3,1<br>0,2 | 1,0<br>0,03 | 18,2<br>0,3 |
| Zein <sup>4</sup><br>(nem hőkezelt)            | 40,2<br>3,4 | 17,6<br>0,7 | 31,3<br>2,2 | 5,0<br>0,7 | 2,9<br>0,4  | 19,5<br>0,9 |
| Hamburger <sup>5</sup><br>(nyers hús)          | 5,5<br>6,2  | 2,8<br>3,2  | 2,7<br>2,8  | 3,2<br>3,1 | 1,5<br>1,6  | 2,9<br>2,4  |
| Csirke izom <sup>6</sup><br>(nyers csirke)     | 22,4<br>2,9 | 0,5<br>0    | 0,4<br>0    | 0,1<br>0   | 0<br>0      | 0<br>0      |
| Szalonna 180 °C <sup>7</sup><br>(hőkezeletlen) | 10,7<br>2,4 | 2,4<br>1,8  | 3,1<br>3,3  | 3,1<br>0,7 | 1,6<br>–    | –<br>–      |
| Kazein 230 °C <sup>7</sup><br>(hőkezeletlen)   | 31,0<br>3,1 | 12,0<br>1,5 | –           | 7,0<br>–   | 4,4<br>–    | –<br>–      |

<sup>1</sup> % D-aminosav=(D/D+L)100.

<sup>2</sup> A fehér kenyeret 1 perc 45 másodpercig melegítették, és csak a felszínét elemezték.

<sup>3</sup> 3 óra, 65 °C, 0,1M NaOH.

<sup>4</sup> 4 óra, 85 °C, 0,2M NaOH.

<sup>5</sup> A hamburgert mindkét oldalán 4 percig sütötték. A serpenyő hőmérséklete 250 °C. Csak a felszíni részt analizálták.

<sup>6</sup> Melegítés 121 °C-on, 4 órán át.

<sup>7</sup> Sütés 20 percig.

vannak kitéve. De a magas hőmérséklet és a lúgos kezelés kombinációja az esszenciális aminosavaknál is jelentős racemizációval járhat.

Más vizsgálatok is a kezelt élelmiszerek nagy D-aminosav-tartalmáról számolnak be. Néhány, kereskedelmi forgalomban kapható élelmiszer D-Asp-tartalmát vizsgálva megállapították, hogy a texturált szójafehérjében (9%), a szalonnában (13%) és a nem tej eredetű zsiradékban (17%) igen magas az aránya. Jelentős mennyiségű D-Asp-t találtak a búzalisztból készült sós kekszben (9,5%), a búzátésztaiban (11,9%), a mexikói palacsintában (11,6%) és a kukoricamáléban (15,4%). A zsírban sült hamburger adatai azt jelzik, hogy a sütés folyamán csak jelentéktelen mennyiségben fordul elő racemizáció ennél a speciális élelmiszernél. A fehér kenyérből készült pirítósnál, a sült szalonnánál és a csirkehúsnál kapott magas D-aminosav-arány azt jelzi, hogy néhány élelmiszernél jelentős mennyiségű racemizáció léphet fel a főzés, illetve a sütés folyamán.

*A lúgos hidrolízissel előállított toll-liszt* aminosavainak 10–40%-a racemizálódik az előállítási paraméterek függvényében. A tollfehérjét lúgos hidrolízissel fel lehet tární, és belőle nagy nyersfehérje-tartalmú, kémiai módszerrel meghatározva kiváló emészthetőségű terméket lehet előállítani, azonban ez a termék rendkívül nagy mennyiségben tartalmaz D-aminosavakat az összes rossz és jó élettani hatásukkal együtt.

Újabban a mikrohullámú kezelés hatását vizsgálva az élelmiszer-fehérjékre megállapították, hogy 10 percig tartó mikrohullámú kezelés hatására megnőtt a három vizsgált gyermektápszer cisz-3-, illetve cisz-4-hidroxi-prolin tartalma, és csak a mikrohullámmal kezelt tápszerek tartalmaztak kimutatható mennyiségben D-prolint. A cisz-izomer koncentrációja 1–2 mg/liter volt. Felhívják a figyelmet arra, hogy ha a cisz-izomer épül be a fehérjébe a transz-izomer helyett, akkor ez strukturális, funkcionális és immunológiai változásokhoz is vezethet.

*Ipari eredetű élelmiszerek és mesterségesen előállított peptidek.* E kategóriába tartozik minden olyan élelmiszer, amelyet jelentős technológiai kezelésnek vetettek alá, vagy amelyet szintetikusán állítottak elő (pl. aszpartám). Néhány folyékony élelmiszerben a fehérjét szénhidráttal kombinálják, aminek során a fehérje jelentős változást szenvedhet. Jelentős D-aminosav-tartalommal bírhatnak az antibiotikumpeptidek és néhány, kemoterápiában használt gyógyszer is, amelynek maradékaiban jelentős D-aminosav-tartalmat eredményezhetnek az élelmiszerekben. A szintetikus termékek lényegesen több aminosavat tartalmaznak, mint a természetes alapanyagok, és ezek a fő forrásai az élelmiszerek D-aminosav-tartalmának. A szójafehérje alapanyagú folyékony tápszer (amit egyébként az egészséges élelmiszerek áruházából szereztek be)

13% D-aszparaginsavat tartalmazott. Ez lényegesen több volt annál, mint amit a szója alapú gyermektápszerekben találtak. Beszámoltak arról, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható fogyasztó – súlyvesztés előidéző – tápszerek, amelyeket alkáliákkal kezeltek, 50% D-szerint, 37% D-aszparaginsavat és 26% D-fenil-alanint tartalmaztak, és ez a nagy mennyiségű D-aminosav veszélyes lehet akkor, ha egyedüli fehérjeforrásként alkalmazzák. Az ilyen, szélsőséges esetek viszonylag ritkák, de azért felhívják a figyelmet arra, hogy alkáliával és hővel huzamosabb ideig kezelt élelmiszer esetében az aminosavak nagy része racemizáción mehet keresztül.

Az aszpartám édesítőszer racemizációját tanulmányozva beszámoltak arról, hogy mind az aszparaginsav, mind a glutaminsav gyorsan racemizálódott neutrális pH-n és 100 °C-on. A racemizáció akkor fordul elő, mikor az édesítőszer ciklikus dipeptiddé alakul át, ami nagyon hajlamos a racemizációra. Azért fontos ezt tudni, mert ha pl. főzés előtt adják az édesítőszert az ételhez, az nagymértékben racemizálódhat.

A *D-aminosavak metabolizmusa*. Az előzőekben leírtak világosan bizonyítják, hogy D-aminosavak jelentős mennyiségben előfordulhatnak az élelmiszerekben. Mi történik ezekkel a természetestől eltérő sztereoizomerekkel? *Krebs* úttörő munkája óta köztudott, hogy az emlősök specifikus enzimekkel rendelkeznek a D-aminosavak anyagcseréjére. A D-aminosavak elsősorban a *D-aminosav oxidáz* reakciósoron metabolizálódnak  $\alpha$ -ketosavak keletkezése közben. Ezt követően az  $\alpha$ -ketosavak átmehetnek sztereospecifikus transzaminációra, ami az eredeti aminosav L-enantiomerjét eredményezi, amely aztán belép a szokásos anyagcsere-folyamatba vagy egy másik reakcióban közvetlenül lebomlik, pl. oxidatív dekarboxilálással. A D-aminosavak átalakulása  $\alpha$ -ketosavakká elsősorban a vesében megy végbe, így az elfogyasztott D-aminosavaknak először a membránokon kell átdiffundálni, hogy metabolizálódhassanak ezen az úton. A transzportműveletek azonban sztereoszelektívek és diszkriminatívak a D-aminosavakkal szemben.

A különböző aminosavak különböző mértékben oxidálódnak a *D-aminosav oxidázzal*. Az aszparaginsav D-enantiomerje (az az aminosav, amely a vizsgálatok szerint a leghajlamosabb a racemizációra) nagyon rossz szubsztrátja a *D-aminosav oxidáznak*. Ennek ellenére az emlősökben megtalálható a D-aszparaginsavra specifikus *D-aminosav oxidáz*, hiányzik azonban az összes többi aminosavra. Az esszenciális aminosavak, mint pl. a lizin és a treonin, gyorsabban racemizálódnak, mint az alanin, és szintén nagyon rossz szubsztrátjai a *D-aminosav oxidáznak*.

A prolin viszont, amely nem racemizálódik jelentősebb mennyiségben az ételkészítés során, a lehető legjobb szubsztrátja annak. Úgy tűnik tehát, hogy nincs összefüggés a racemizációra való fogékonyság és a *D-aminosav oxidáz* adott reakció sebessége között. Ezért állítható, hogy az emlősök *D-aminosav oxidáz* rendszere nem fejlődött ki olyan mértékben, hogy válaszolni tudjon az ételmi eredetű racemizált aminosavak kihívására. *Krebs* még bizonytalan volt a *D-aminosav oxidáz* biológiai funkcióját illetően, ma azonban már általánosságban az a nézet, hogy a *D-aminosav oxidáz* detoxikálja azokat a D-aminosavakat, amelyek véletlenül vagy a baktérium-fehérjén keresztül kerültek be a szervezetbe. Ezt az a tény is megerősíti, hogy azok a patkányok, amelyek csíramentes környezetben nevelkedtek, sokkal kisebb *D-aminosav oxidáz* aktivitással rendelkeznek, mint azok, amelyek normális környezetben nőttek fel. Ennek ellenére az a D-glutaminsav, amely a baktériumok sejtfalában előforduló peptidoglikán alkotórésze, a legrosszabb szubsztrátja a *D-aminosav oxidáznak*, és csak nagyon lassan oxidálódik a *D-aszparaginsav oxidázzal*. Bár a *D-aminosav oxidáz* enzimek képessé teszik az emlősöket a D-aminosavak metabolizálására, ez az út azonban nem hatékony és nyilvánvalóan túlterhelt, mert amikor racém aminosavak kerülnek be a szervezetbe, a D-aminosavak nagy része a vizeleten keresztül kiválasztódik. A szabad D-aminosavak átalakulhatnak *racemázok* segítségével is racém keverékké vagy a megfelelő L-aminosavvá. Mivel azonban a *racemázok* elsősorban a baktériumokban fordulnak elő, az emlősökben nem ez az út a D-aminosavak metabolizmusára. Mai tudásunk szerint az aminosav *transzaminázok* is csak a baktériumokban találhatóak.

Az emberi ételkészítéskor D-aminosavainak fő forrásai az iparilag előállított fehérjék. Mielőtt az ezekben levő D-aminosavak metabolizálódnának a *D-aminosav oxidáz* reakcióson, először szabaddá kell válniuk a metabolikus enzimek segítségével. Az ételkészítés-fehérjék emésztése az első lépésben szabad aminosavakat és kis tagszámú peptideket eredményez, majd a peptideket a *peptidázok* hidrolizálják tovább. Teljesen nyilvánvaló, hogy a D-aminosavat tartalmazó peptidek ellenállnak az enzimes hidrolízisnek az emésztés folyamán. Szintetikus peptidekkel végzett tanulmányok jelzik, hogy a D-aszparaginsav és a D-metionin még akkor sem szabadul fel a peptidkötésből az enzimes hidrolízis során, ha a mellettük lévő összes többi aminosav L-enantiomer. Számos közlemény számol be arról, hogy a hő- és az alkálikezelés hatására nagymértékben racemizálódott aminosavak ellenállnak a proteolitikus hidrolízisnek. A fenil-alanin racemizációja és a fehérje emészthetősége közti

összefüggést tanulmányozva megállapították, hogy a racemizáció növekedésével az emészthetőség rohamosan csökken. Mivel a fenil-alanin lassabban racemizálódik, mint az aszparaginsav, a szerin vagy a cisztein, nyilvánvaló hogy az a fehérje, amely jelentős mennyiségben tartalmaz racemizált aminosavakat, csak részben bomlik le a proteolízis folyamán.

A fehérjék proteolitikus hidrolízisének termékei racemizált aminosavakat és D-aminosav-tartalmú, kis molekulatömegű peptideket tartalmaznak. A di- és tripeptidek keresztüldiffundálnak a membránon, míg a jelen lévő nagyobb tagszámú peptidek egyszerűen kiválasztódnak a bélsár útján. A D-aminosav-tartalmú di- és tripeptidek nem jó szubsztrátjai a *D-aminosav oxidáznak*. A dipeptidek gyorsan ciklizálnak 7-es pH-n ciklikus peptidekké (diketopiperazinná) in vitro körülmények között. A tripeptidek gyorsan hidrolizálódnak nem enzimatikusan in vitro egy belső ammonolízis során, amely ciklikus dipeptideket és szabad C-terminális aminosavat eredményez. A ciklikus dipeptid igen fogékony az in vivo racemizációra, így amennyiben a hidrolitikus folyamat in vivo is előfordulna, akkor az más D-aminosavak előfordulásához is vezethetne. A D-aminosavak metabolizmusát tanulmányozva azonban eddig még nem figyeltek fel a diketopiperazin jelenlétére.

*A D-aminosavak emésztése.* A racemizált aminosavakat tartalmazó fehérjék hosszú időn keresztüli fogyasztásának hatása az emberi szervezetre még nem eléggé ismert. Rámutattak arra, hogy senki sem végzett specifikus kísérletet a racemizált aminosavaknak az emberi szervezetre kifejtett hatásáról, arról, hogy hogyan hat a racemizáció az emészthetőségre és az aminosav hozzáférhetőségére.

*A D-aminosavak káros hatásai.* A fehérjében kötött D-aminosavak hasznosulása attól függ, hogy a D-aminosavak felszabadulnak-e az L-D, D-L és D-D kötésekből, és hogy a felszabadult D-aminosavak hatékonyan át tudnak-e alakulni L-aminosavakká. A 20. század elején megfigyelték, hogy a lúggal kezelt kazein nagy része emésztetlenül távozott a kutyák bélsarával. Ezt követően többen meghatározták az alkáliával kezelt, illetve nem kezelt fehérje emészthetőségét. A kezelt mintáknál minden alkalommal csökkent emészthetőséget figyeltek meg, amelyet elsősorban a racemizációval és/vagy a lizinoalanin kialakulásával magyaráztak. A lúggal kezelt fehérjékben lévő aminosavak racemizációját tanulmányozva beszámoltak arról, hogy kismértékű racemizáció is nagymértékű emésztéscsökkenést idéz elő. A csökkent emészthetőséget azzal magyarázták, hogy a racemizálódott aminosavak nem szubsztrátjai a proteázoknak, és hatással vannak a nem racemizálódott szomszédos aminosavak

felszabadíthatóságára is. Így néhány aminosav racemizációja lényeges veszteséget okozhat a környező esszenciális aminosavak tekintetében is, csökkentve a fehérje proteolitikus emészthetőségét.

Vizsgálták a hőmérséklet, az idő és a pH hatását a lúggal kezelt kazein *tripszin* és *kimotripszin* emészthetőségére. Megfigyelték, hogy miközben az aszparaginsav és a fenil-alanin emészthetősége csökken, a lizinoalanin keresztkötések és a racemizáció nő. E kísérletek során szét tudták választani a racemizáció és a keresztkötések hatását az in vitro emészthetőségre. Megállapították, hogy a csökkent emészthetőséget elsősorban a racemizáció okozza. Egy D-aminosav már alkalmatlanná teszi a peptidet a szállításra. A racemizáció az, ami egyedül csökkenti az in vitro emészthetőséget és az enzimatikusan emésztett fehérje in vivo felvételét.

Nagyon fontos kérdés, hogy vajon az élelmiszerekben lévő *D-aminosavak toxikusak-e*. Az rögtön az elején megállapítható, hogy a különböző D- és L-aminosavak egyforma akut toxicitással rendelkeznek, amit LD<sub>50</sub> értékük is bizonyít. Kivételt képez talán a D-prolin, amelyről nagyobb letalitást állapítottak meg a csirke esetében, mint az L-prolinról. Az már az előzőekből ismert, hogy a D-prolin a legjobb szubsztrátja a *D-aminosav oxidáznak*, néhány D-aminosav pedig hosszú időn keresztül fejti ki toxicitását. Vizsgálatok szerint az élelmiszerekben lévő D-szerin, lizinoalanin és a különböző, lúggal kezelt fehérjék kóros elváltozást idéztek elő patkányok veséjében. A szabad lizinoalanin sokkal nefrotoxikusabb, mint a peptidkötésben lévő, ebből következően a lúggal kezelt fehérjékben levő kötött lizinoalanin nefrotoxikus hatása lényegesen kisebb. A patkányok különösen érzékenyek a lúggal kezelt fehérjék és a lizinoalanin nefrotoxikus hatására, és vizsgálatokból kitűnik, hogy a különböző állatfajok különböző érzékenységgel rendelkeznek e tekintetben.

A lizinoalanin és a lúggal kezelt fehérjékben lévő D-alanin in vitro inhibitorai a *karboxi-* és *aminopeptidázoknak*. A lizinoalanin részéről a gátlás úgy nyilvánul meg, hogy komplexet alkot az enzim enzimreakcióban részt vevő fémionjával. Azt, hogy vajon az élelmiszer eredetű lizinoalanin és a D-aminosavak inhibitorai-e a metabolikus enzimeknek, még nem vizsgálták, és még nincs adat a hosszú idejű kezelés hatásáról sem az inhibícióra.

*A D-aminosavak hasznos hatásai.* A D-aminosavak által okozott csökkent emészthetőség az élelmiszer-fehérjékben bizonyos esetben előnyös lehet élelmezési szempontból, feltéve, hogy a proteolitikus emésztés után visszamaradó anyagok nem toxikusak. Néhány napig alkalmazni

lehet a racemizált fehérjéket fogyókúra kezelésénél, és az igen alacsony emészthetőség miatt rövid idő alatt jelentős súlycsökkenést lehet remélni. A D-fenil-alaninról és a D-leucinről kimutatták, hogy fájdalomcsillapító hatással rendelkeznek, és ezért használják is mindkettőt macacs fájdalom esetén. A fájdalomcsillapító hatás azon alapszik, hogy inhibiálják a *karboxipeptidáz-A-t* és a hozzá hasonló enzimeket, amelyek részt vesznek az opioid pentapeptid lebontásában az agyban és a gerincvelőben. Beszámoltak arról, hogy az alkáliakkal kezelt élelmiszer-fehérjék lizinoalanin és D-aminosav-tartalma szintén inhibiálja a *karboxipeptidáz A-t*. Ezek a kutatási eredmények arra engednek következtetni, hogy a racém aminosavak jelenléte az élelmiszer-fehérjében hasznos lehet a fájdalom megszüntetésére.

Azt már régebb óta jól ismerjük, hogy a legtöbb antibiotikum-peptidnek van D-aminosav szekvenciája. Elképzelhető ezért, hogy a racemizált élelmiszer-fehérjék proteolitikus lebontása folyamán olyan peptidok keletkeznek, amelyek antibiotikus tulajdonságokkal rendelkezhetnek.

## 3.6. A nitrogén és különféle nitrogéntartalmú anyagok meghatározása

Az élelmiszerek szervesanyag-tartalma legnagyobb tömegében nyersfehérjéből, nyerszsírból, nyersrostból és nitrogénmentes kivonható anyagokból áll. A nitrogéntartalom-meghatározást kétféle módszerrel végezhetjük el: *Dumas*-féle égetéssel és a *Kjeldahl*-féle kénsavas roncsolással.

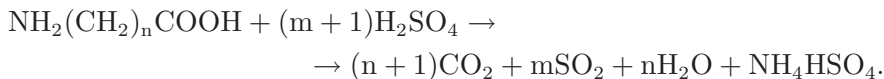
### 3.6.1. *Dumas*-féle égetéssel

A *Dumas*-módszer lényege, hogy a szerves anyagot 700–1000 °C-os hőmérsékletű térben, réz-oxid jelenlétében elégetik. Az égetés során a nitrogén a kémiai kötésekben nitrogéngáz formájában felszabadul. Az égetés során esetleg képződött nitrogén-oxidokat az égetőcső redukálóterében izzított rézspirálon átvezetve nitrogénné redukálják. Az égetés során a szénből keletkező szén-dioxidot lúgban, a hidrogénből keletkezett vízgőzt kalcium-kloridon megkötik, a visszamaradó tiszta nitrogéngáz mennyiségét pedig gázvolumetriásan azométerben vagy héliumgáz áramban, hővezető képességi detektorral meghatározzák. Az égeté-

ses módszeren alapuló, automatikus nitrogénmeghatározó készülékek két fő egységből épülnek fel: az égető- és konvertálóegységből, valamint a nitrogéntartalom mennyiségének meghatározását végző berendezésből. A mai modern berendezésekhez adatfeldolgozó, kijelző és tárolóegység is csatlakozik, amely megkönnyíti az adatok értékelését és kezelését.

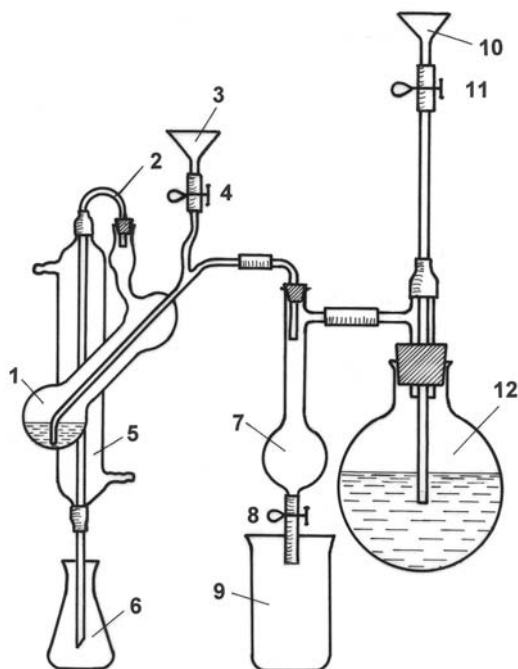
### 3.6.2. Kjeldahl-féle módszer

A módszer azon alapszik, hogy a szerves vegyületek tömény kénsavval való főzésekor (roncsolásakor) a bennük megkötött nitrogén ammónia alakjában lehasad, illetőleg a kénsavból keletkező  $\text{SO}_2$  hatására ammóniává redukálódik, és a kénsav fölöslegével nem illékony  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ -tá, illetve  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -tá alakul. A roncsolás befejezése után a keletkezett  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ -ból, illetve az  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ból az ammóniát erős lúggal felszabadítjuk, majd ismert mennyiségű savba desztilláljuk át. A savfölsőleget lúggal visszatitráljuk. Eközben a kénsav bomlásakor ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + \text{O}$ ) keletkezett atomos oxigén a szén  $\text{CO}_2$ -dá oxidálja. aminosavak esetén a reakció a következőképpen általánosítható:



*Roncsolás.* A tömény kénsavas roncsolást katalizátorok ( $\text{CuSO}_4$ , Se,  $\text{HgO}$ ) és forráspontnövelő anyagok ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) jelenlétében végezzük. Hosszú nyakú, 250–500  $\text{cm}^3$ -es *Kjeldahl*-lombikba visszaméréssel bemérünk 0,15–0,20 g fehérjét tartalmazó szerves anyagot. A lombik nyakára tapadt anyagot kb. 8 g finoman aprított  $\text{K}_2\text{SO}_4$ -tal és 20  $\text{cm}^3$  ( $\text{NH}_3$ -mentes) koncentrált  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -val a lombikba öblítjük. Ha a roncsolandó anyag 1 g-nál több szárazanyagot tartalmaz, minden további 1 g szárazanyagra 5  $\text{cm}^3$  koncentrált  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -at adunk még hozzá. A roncsolás gyorsítására 1 g finoman elporított kristályos  $\text{CuSO}_4$ -ot (vagy 0,05 g elporított Se-t vagy  $\text{HgO}$ -ot) és a forrás közben esetleg beálló felhabzás megakadályozására egy kis üveggyöngyöt adunk a lombikba. A lombikot fülkében ferdén állványba fogjuk, szájába kis tölcsért teszünk, majd kis lánggal melegíteni kezdjük. Miután az anyag habzása gyengül, a lángot erősítjük, de vigyázunk arra, hogy a láng a lombik oldalát ne melegítse. A lángot úgy szabályozzuk, hogy a kénsav enyhén forrjon, és a kénsavgőzök a lombik nyakában, illetve a tölcséren kondenzáljanak. A lombik tartalma először a szenesedés folytán rendszerint megsötétedik, majd kb. 1–2 óra múlva

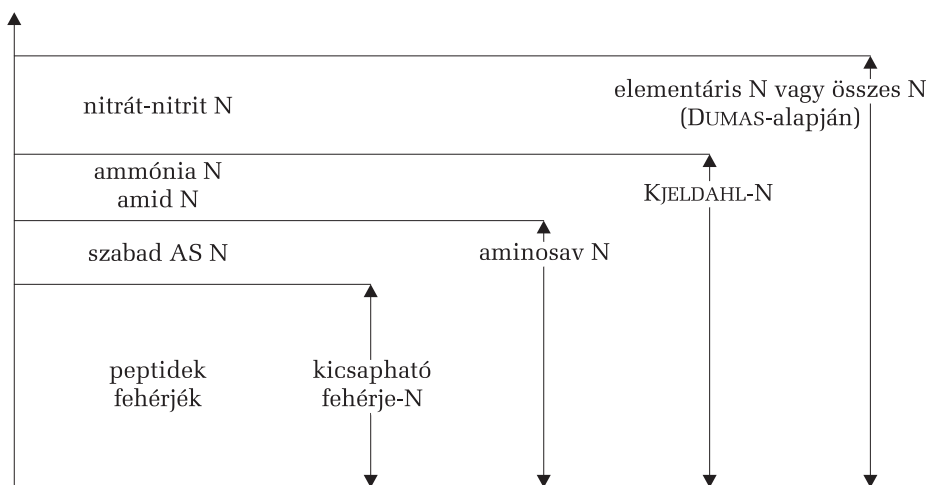




**3.43. ábra.** A Parnas-féle ammóniadesztilláló készülék (1. desztillálólombik, 2. kvarccső-csatlakozás, 3. tölcser, 4. szorítócsap, 5. vízhűtőköpeny, 6. gyűjtőpohár, 7. kondenzvízgyűjtő, 8. szorítócsap, 9. gyűjtőpohár, 10. tölcser, 11. csap, 12. gőzfejlesztő lombik)

kitisztul és világossárga lesz. A lombik nyakára tapadt, elszenesedett részeket lóbálással a kénsavba öblítjük. A kénsav forralását a folyadék kitisztulása után még 20 percig folytatjuk. Ha roncsolás közben a kénsav mennyisége túlságosan csökkenne, az elpárolgott mennyiséget pótoljuk.

*Desztillálás.* Az ammónia desztillálását a 3.43. ábrán látható speciális eszközzel, az ún. *Parnas-féle ammóniadesztilláló* berendezéssel végezzük. A desztillátum felfogására 200 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer-lombikot* használunk, amelybe 25,0 cm<sup>3</sup> 0,1M HCl-at pipetázunk. Az átdesztilláló ammóniát 0,1M HCl helyett bórsavban is felfoghatjuk. A bórsav annyira gyenge sav, hogy metilnarancsra vagy metilvörösre hatástalan, az át-desztillált ammóniát tehát 0,1M HCl-val közvetlenül megtitrálhatjuk. E módszernek az az előnye, hogy a meghatározáshoz egy mérőoldat is elegendő. Hogy a bórsav az ammóniát tökéletesen megkösse, nagy felesleg-



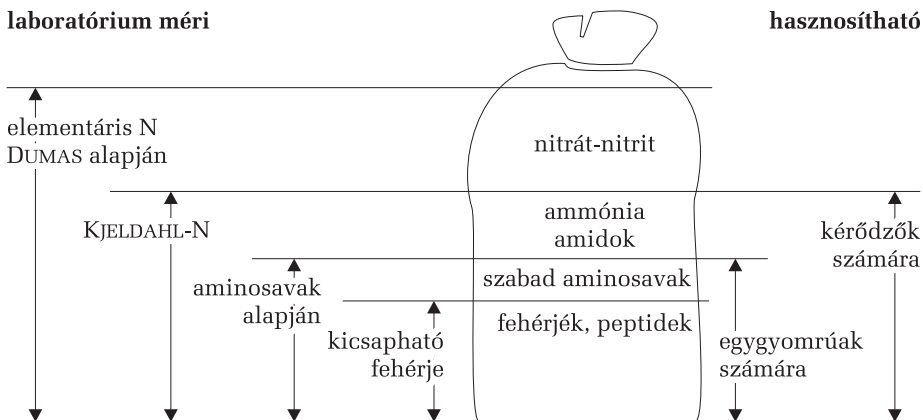
**3.44. ábra.** Élelmiszerek nitrogéntartalmú anyagainak osztályozása a kémiai szerkezet, valamint a meghatározás módszere alapján

ben kell alkalmaznunk. Szedőnek desztillált vizet használunk, amelybe annyi bórsavat teszünk, amennyit a víz és a desztillátum fel tud oldani.

A savfölösleget metilvörös vagy metilvörös-metilénkék keverékindikátor jelenlétében karbonátmentes 0,1M NaOH-dal visszaitráljuk, a bórsavban elnyeletett ammóniát pedig 0,1M HCl-val határozzuk meg. A roncsolásnál, valamint a desztillálásnál alkalmazott kémszereknek ammóniamentesnek kell lenniük. Célszerű az alkalmazott kémszerekkel vakpróbát végezni és az erre fogyott sósavmennyiséget korrekcióba venni. A 0,1M HCl minden  $\text{cm}^3$ -e 1,401 mg N-t mér. A  $N \cdot 6,25$  szorzat a vizsgált anyag fehérjetartalmát adja.

A két előzőekben ismertetett módszer elvéből következik, hogy a *Kjeldahl*-féle roncsolást követő nitrogénmeghatározásnál a minta nitrát- és nitrittartalmát nem lehet meghatározni, tehát a *Kjeldahl*-nitrogén nem az összes nitrogéntartalmat jelenti. A *Dumas*-féle égetéses módszerrel viszont mind a nitritet, mind a nitrátot meg lehet határozni az összes többi komponenssel együtt, tehát a *Dumas*-módszerrel az összes nitrogéntartalmat határozzuk meg. A két módszer közti elvi különbség tehát a nitritben és a nitrátban keresendő. Az élelmiszerek nitrogéntartalmú anyagait kémiai szerkezetük, illetve a meghatározás módja alapján a 3.44. ábra szerint osztályozhatjuk.

Az összeállításból látszik, hogy a fehérjéket és peptideket fehérjekicsapó szerekkel el lehet távolítani, ezek a komponensek alkotják a nitrogéntartalmú anyagok valódi fehérje frakcióját. Az aminosav analízissel e frakción túl még szabad aminosavakat is meg lehet határozni, míg a *Kjeldahl*-féle eljárással, az amid- és az ammónia-nitrogént az aminosav-analizátorral meghatározható frakción túl is lehet mérni. Amint már szó volt róla, a *Dumas*-féle eljárás minden nitrogéntartalmú vegyületet mér. A nitrogéntartalmú anyagok kémiai szerkezet alapján való elkülönítése nemcsak az alkalmazott analitikai módszer miatt fontos, hanem azért is, mert az ember és a különböző állatfajok eltérő emésztési sajátosságai miatt a különböző frakciókat nem egyformán hasznosítják. A valódi fehérjéket, a peptideket és az aminosavakat az egygyomrúak és a kérődzők is egyaránt hasznosítják, az amidok és az ammónia csak a kérődzők számára hasznosíthatók, a nitrátok és a nitritek pedig sem az emberben, sem az állatban nem értékesülnek, sőt nagyobb mennyiségben károsak is lehetnek. A fentieket a 3.45. ábra szemlélteti.



3.45. ábra. A takarmányok nitrogéntartalmú anyagai

Akár *Kjeldahl*-, akár *Dumas*-féle módszerrel történik a meghatározás, a nyersfehérje-tartalmat a nitrogéntartalomból 6,25-ös konverziós faktorral való szorzással számítjuk. Ez a számítási módszer azon alapszik, hogy a különböző fehérjék átlagosan 16% nitrogént tartalmaznak, tehát ha a mért nitrogéntartalmat megszorozzuk  $100/16 = 6,25$ -dal, akkor megkapjuk a nyersfehérje-tartalmat. A 6,25-ös szorzófaktor a gyakorlati igényeket általában kielégíti, ha azonban pontosabb meghatározásra

van igény, akkor az egyes fehérjék tényleges nitrogéntartalmának megfelelő szorzófaktorokkal kell számolni. A 3.6.2. táblázat néhány fontos élelmiszer- és takarmány-alapanyag fehérjenitrogén-tartalmát és a szorzófaktorokat mutatja:

**3.7. táblázat. Néhány alapanyag fehérjenitrogén-tartalma és a szorzófaktorok**

| Fehérje                               | A fehérje nitrogéntartalma (%) | Faktor |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------|
| Napraforgó- és lendar                 | 18,87                          | 5,30   |
| Földidő-dara                          | 18,31                          | 5,46   |
| Szójadara                             | 17,51                          | 5,71   |
| Árpa, búza                            | 17,15                          | 5,83   |
| Hús, tojás, kukorica, hüvelyes magvak | 16,00                          | 6,25   |
| Búzakorpa                             | 15,84                          | 6,31   |
| Tejfehérje                            | 15,68                          | 6,38   |

*A roncsolásban képződött ammónia meghatározása és a fehérjetartalom számolása.* A roncsolásban képződött ammóniát a gyakorlatban az alábbiak szerint desztilláljuk. A kb. 1 g légszáranyagból 25 cm<sup>3</sup> kénsavval, oxidálószerrel, forráspontemelővel és katalizátorral kapott enyhén opálos, sárgásfehér színű anyagot lehűtjük, 300 cm<sup>3</sup> csapvizet adunk hozzá, valamint néhány szem üveggyöngyöt vagy horzsakövet helyezünk a Kjeldahl-lombikba. A lombikot hűtővel és feltétell ellátott desztillálóállványra helyezük, a feltét végén eltávozó desztillátumot pedig titrálólombikba vezetjük úgy, hogy a hűtőcső vége beleérjen az ammónia megkötésére szolgáló folyadékba. A titrálólombikba helyezhetünk néhány csepp kongóvörös indikátort vagy metilvörös-metilénkék keverékindikátort, 30–40 cm<sup>3</sup> desztillált vizet, valamint a várható nitrogéntartalomtól függően 20–100 cm<sup>3</sup> 0,1M-os kénsavat. Egy másik módszer szerint az ammónia megkötésére a kénsav helyett használhatunk 150–250 cm<sup>3</sup> 4%-os bórsavat is. A bórsav az ammóniát megköti, de az ammóniatartalom meghatározását 0,1M-os kénsavval való titrálás során nem zavarja. A titrálólombik felhelyezése után a roncsolmányt tartalmazó Kjeldahl-lombikba kb. 100 cm<sup>3</sup> 33%-os NaOH-ot, vagy ha higany volt a katalizátor, nátrium-tioszulfátos NaOH-oldatot öntünk, és azonnal összekapcsoljuk a desztillálófeltéttel. A vízgőzzel való desztillálást addig folytatjuk, amíg a szedőlombikban a desztillátum térfogata annak 75%-át el nem éri.

Ha 1M-os kénsavat használtunk az ammónia megkötésére, akkor a kénsav feleslegét 0,2M NaOH-oldattal titráljuk kongóvörös indikátor mellett a vörös színig, keverékindikátor esetében pedig amíg annak vörös színe zöldesszürkére nem változik. Ha a szedőfolyadék bórsav volt, a titrálást 0,1M kénsavval végezzük metilvörös-metilénkék keverékindikátor jelenlétében, míg annak zöld színe pirosasszürkébe nem csap át.

A vegyszerek tisztaságának, a mérőoldat pontosságának, illetve a roncsolás teljességének ellenőrzését minden esetben elvégezzük. A vegyszerek nitrogénmentességét 2 g szacharóz szokásos módon való elroncsolása utáni nitrogéntartalom meghatározásával ellenőrizzük. A vakpróba eredményével a minták tényleges nitrogéntartalmát korrigáljuk. A mérőoldat pontosságát könnyen roncsolódó, analitikai tisztaságú anyagok (acetanilid, karbamid) nitrogéntartalmának meghatározásával végezzük. A *Kjeldahl*-roncsolás teljességét rendkívül nehezen roncsolható, analitikai tisztaságú anyagok (triptofán, nikotinsav) nitrogéntartalmának meghatározásával vizsgáljuk.

*Az eredmények kiszámítása.* Az ammónia által megkötött 0,1M kénsav  $\text{cm}^3$ -eit megkapjuk, ha a szedőbe helyezett 0,1M kénsav  $\text{cm}^3$ -eiből levonjuk a kénsav visszatitrálására fogyott 0,2M NaOH  $\text{cm}^3$ -eit. A nitrogéntartalmat a következő képlettel számoljuk, és tömeg%-ban fejezzük ki:

$$\text{nitrogén \%} = \frac{(S - L) \cdot 0,0028016 \cdot 100}{b},$$

ahol: 0,0028016 = az 1  $\text{cm}^3$  0,1M-os kénsavnak megfelelő nitrogéntartalom mennyisége (g),

$S$  = a szedőlombikba tett 0,1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\text{cm}^3$ ),

$L$  = a kénsav visszatitrálására fogyott 0,2M NaOH ( $\text{cm}^3$ ),

$b$  = a bemért anyag tömege (g).

Ha bórsav volt a szedőfolyadék, akkor a nitrogéntartalmat a következő képlettel számolhatjuk:

$$\text{nitrogén \%} = \frac{S \cdot 0,0028016 \cdot 100}{b},$$

ahol:  $S$  = a titrálásra fogyott 0,1M-os kénsav ( $\text{cm}^3$ ),

$b$  = a bemért anyag tömege (g).

A nyersfehérje-tartalmat a nitrogén% 6,25 konverziós faktorról való megszorítása után kapjuk meg.

### 3.6.3. Kjél–Foss automata a nitrogéntartalom meghatározására

A Kjél–Foss gyors nitrogénelemző élelmiszerek és takarmányok nyersfehérje-tartalmának gyors meghatározására szolgál a *Kjeldahl*-módszer alapján. A munkamenet egyezik a hagyományos *Kjeldahl*-módszerrel. A munkafolyamat gyors végrehajtását speciális technikák segítik úgy, hogy az első minta bevitelétől az eredmény kijelzéséig mindösszesen csak 15 perc szükséges, ezt követően pedig minden három percben a készülék újabb és újabb analízis elvégzésére képes. A Kjél–Foss automatának a standard módszerhez hasonlóan a következő munkafolyamatai vannak:

- savas roncsolás,
- hűtés,
- hígítás vízzel,
- vízgőz-desztilláció és az ammónia titrálása,
- nyersfehérje-tartalom számítása.

A készülék hat speciális *Kjeldahl*-lombikkal dolgozik, amelyek hárompercenként az óramutató irányába  $60^\circ$ -kal elfordulnak. Az 1-es helyzetben lévő lombikba helyezük be a kálium-szulfát forráspontemelőt, a higany-oxid katalizátort, a roncsolást végző kénsavat, az oxidációt elősegítő hidrogén-peroxidot, és végül a lombikba helyezük a nitrogénmentes selyempapírba (bemérőpapír) csomagolt, 0,5–1 g tömegű mérendő anyagot. A 2-es helyzetben a lombik alatt meggyullad a roncsoló lángja, és a minta három percen keresztül forr. A roncsolás során keletkező gőzök és gázok egy szívócsövön keresztül elnyelődnek és víz-sugárszivattyú segítségével távoznak. Három perc elteltével a rendszer újabb  $60^\circ$ -os fordulatot tesz meg. A 3-as helyzetben a roncsolás újabb három percen keresztül folytatódik. A rendszer következő fordulatával a 4-es helyzetű hűtőhelyre kerül, ahol nagy teljesítményű ventilátor szobalevegővel hűti a lombikot. E pozíció végén a mintát a készülék mintegy  $140\text{--}150\text{ cm}^3$  vízzel meghígítja, majd az 5-ös helyzetbe kerül a minta, ahol a kénsav közömbösítésére és a higanykatalizátor megkötésére nátrium-tioszulfátot tartalmazó NaOH-oldat keveredik a mintával, és megkezdődik az ammónia vízgőz-desztillációja.

Az ammóniatartalmú vizes oldat hűtőn keresztül kondenzálódik, majd titráló pohárba kerül, ahol az automatikusan adagolt metilvörös-metilénkék indikátoroldattal elegyedik. A lecsepegő ammóniatartalmú oldatot automata titrálóberendezés titrálja, amely automata fecskendőjének dugattyúját a titráló pohár alatt lévő fotocella szabályozza. A foto-

cella észleli az indikátor színváltozását, és annyi savmennyiséget továbbít a titráló pohárba, amely mindig arányos a jelenlevő ammónia mennyiségével. A titrálókészülék dugattyúját mozgó tengely potenciométerhez csatlakozik, amelynek segítségével az ammóniával arányos elmozdulás háromjegyű digitális kijelzés formájában jelenik meg a készülék oldalán. A kijelzés lehet nitrogén % vagy nyersfehérje %, és a készülék lehetőséget ad a különféle konverziós faktorok alkalmazására is.

Az ammónia-meghatározást követően három perc múlva a lombik a 6-os helyzetbe kerül, ahol sűrített levegő segítségével a rendszer saját magát kiüríti, kitisztítja. A kitisztítás után a lombik az 1-es helyzetbe fordulva kész újabb minta meghatározására. A műszer teljesítménye 15 perces indulószakasz után hárompercenként egy analízis, azaz óránként 20 minta. A mérés pontossága megegyezik a hagyományos *Kjeldahl*-módszerrel. A módszer különösen alkalmas nagyszámú minta gyors sorozatvizsgálatára. Mivel a roncsolás és az ammónia vízgőz-desztilláció ugyanabból a lombikból történik hígítás és egyéb manipuláció nélkül, a készülék különösen alkalmas inhomogén vagy nehezen homogenizálható minták mérésére is. A készülékkel folyadékok (tej, vizelet, testnedvek) nitrogéntartalmát is meg lehet határozni, amelynek során a bemérés pipettával történik.

#### 3.6.4. A valódifehérje meghatározása

Élelmiszerek valódifehérje-tartalmát *Barnstein* módszere szerint határozzuk meg. A meghatározás során mindazokat a nitrogéntartalmú anyagokat – amidok, aminosavak, ammónia stb. –, amelyek nem fehérjéhez kötöttek, úgy távolítjuk el, hogy a tiszta- vagy valódifehérjét (a tiszta és a valódi ugyanazt jelenti, egymásnak szinonimái) réz-szulfáttal és nátrium-hidroxiddal kicsapjuk, a keletkezett fehérjecsapadékról az egyéb nitrogéntartalmú anyagokat leszűrjük, a csapadékot bő vízzel többször kimossuk, majd a csapadék nitrogéntartalmát *Kjeldahl* szerint meghatározzuk.

A vizsgálati eljárás során a várható fehérjetartalom függvényében 1–2 g finomra őrölt, légszáraz anyagot 250 cm<sup>3</sup>-es Griffin-pohárban 100 cm<sup>3</sup> desztillált vízzel felforralunk. A keményítődús anyagokat a desztillált víz hozzáadása után, a forralás előtt 30 percig 50 °C-os vízfürdőn melegítjük, mert különben az elegy nem vagy nehezen szűrhető. Felforralás után 250 cm<sup>3</sup> 6%-os réz-szulfát-oldatot, majd üvegbottal való keverés közben pár cm<sup>3</sup>-es adagokban 25 cm<sup>3</sup> 1,25%-os nátronlúgot öntünk az elegy-

hez. A maradék leülepedése után a folyadék tisztáját nitrogénmentes szűrőpapíron átszűrjük, majd a csapadékot háromszori dekantálással, forró desztillált vízzel átmoszuk. Ezután az egész csapadékot kvantitatíve a szűrőre visszük, és ott addig mossuk, amíg a szűrlet bárium-kloriddal szulfátreakciót nem ad. A szulfátionok  $600 \text{ cm}^3$  forró desztillált vízzel való mosás után már biztosan eltávoztak. A szűrést követően a szűrőpapírt a csapadékkal együtt henger formára csavarva *Kjeldahl*-lombikba tesszük, és a nitrogéntartalmat meghatározzuk. A valódifehérje-tartalmat a nyersfehérje-tartalom meghatározásához hasonlóan végezzük.

A kénsavas roncsolást követően meghatározott ammóniatartalomról az alábbi képlettel számoljuk a valódifehérje-tartalmat:

$$\text{valódifehérje-tartalom \%} = \frac{(S - L) \cdot 0,0028016 \cdot 6,25 \cdot 100}{b},$$

ahol:  $0,0028016$  = az  $1 \text{ cm}^3$   $0,1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ -oldatnak megfelelő nitrogén tömege (g),

$6,25$  = az  $1 \text{ g}$  nitrogénnek megfelelő fehérje tömege (g),

$S$  = a szedőlombikba tett  $0,1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ -oldat ( $\text{cm}^3$ ),

$L$  = a titráláshoz fogyott  $0,2 \text{ M NaOH}$ -oldat ( $\text{cm}^3$ ),

$b$  = a bemért anyag tömege (g).

### 3.6.5. Az emészthető nyersfehérje-tartalom meghatározása

#### 3.6.5.1. Az emészthető nyersfehérje-tartalom meghatározása *in vitro* pepszines hidrolízissel

A módszer alkalmas állati és növényi eredetű élelmiszerek emészthető nyersfehérje-tartalmának meghatározására. Az eljárás során a vizsgálandó mintát sósavas *pepszinoldatban* szuszpendáljuk, és  $39\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletű termosztátba tesszük 48 órára. A sósavas *pepszinnel* oldatba vitt fehérje mennyiségét a szuszpenzió szűrletéből *Kjeldahl*-módszerrel határozzuk meg.

A vizsgálati eljárás során a  $10\%$ -nál nagyobb zsírtartalmú élelmiszert a sósavas *pepszinnel* való emésztés előtt zsírtalanítani kell. Ezt követően az előkészített vizsgálati anyagból  $2 \text{ g}$ -ot mérünk be egy  $500 \text{ cm}^3$ -es *Stohman*-lombikba, hozzáadunk  $0,83 \text{ g}$  *pepszint*, és körkörös mozgattal összekeverjük. Hozzáadunk néhány  $\text{cm}^3$   $39 \text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletű,  $0,075 \text{ M}$ -os sósavoldatot, és ismételt körkörös mozdulattal a lombikban



lévő anyagokat szuszpendáljuk úgy, hogy a minta teljes mennyisége át- nedvesedjen, majd ezt követően a sósav térfogatát 450 cm<sup>3</sup>-re egészítjük ki. Ezután a lombikot vattával bedugjuk, és 39 °C-os hőmérsékletű termosztátba helyezzük 48 órára, amely időtartam alatt naponta többször, körkörös mozgattal a lombik tartalmát összekeverjük. 48 óra múlva a lombikot a termosztátból kivesszük és 15 cm<sup>3</sup> 25%-os HCl-oldatot töltünk rá, 20 °C-ra lehűtjük, majd jelig töltjük desztillált vízzel. A lombik tartalmát alaposan összerázzuk, szűrjük, a szűrlet aliquot részéből a nyersfehérje-tartalmat *Kjeldahl*-módszerrel meghatározzuk. A vizsgálat során vakpróbát is végzünk, amikor a mesterséges emésztést a minta nélkül, csupán az eljáráshoz használt vegyszerekkel végezzük el. A vakpróba emészthető nyersfehérje-tartalmára kapott értéket le kell vonni a minta emészthető nyersfehérje-tartalmának értékéből.

Az emészthető nyersfehérje-tartalom kiszámításánál a nyersfehérje-tartalom meghatározásánál ismertetett módszer szerint kell eljárni:

$$\text{emészthető nyersfehérje-tartalom \%} = \frac{(S - L) \cdot 0,0028016 \cdot 6,25 \cdot 100}{b},$$

ahol: 0,0028016 = az 1 cm<sup>3</sup> 0,1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-oldatnak megfelelő nitrogén tömege (g),

6,25 = az 1 g nitrogénnek megfelelő fehérje tömege (g),

*S* = a szedőlombikba tett 0,1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-oldat (cm<sup>3</sup>),

*L* = a titráláshoz fogyott 0,2M NaOH-oldat (cm<sup>3</sup>),

*b* = a bemért anyag tömege (g).

A kapott eredményt a hígítással korrigálva kapjuk meg az élelmiszer, illetve a takarmány emészthető nyersfehérje-tartalmát.

### 3.6.5.2. Az emészthető nyersfehérje-tartalom meghatározása *in vitro* pepszin-tripszin-hidrolízissel

A mintát *pepszinnel*, majd *tripszinnel* hidrolizáljuk, majd az emészthetetlen maradék nitrogéntartalmát *Kjeldahl* szerint meghatározzuk. A módszer alkalmas állati és növényi eredetű élelmiszerek és takarmányok fehérjeemészthetőségének meghatározására. Az eljárást elsősorban növényi eredetű fehérjék, levélfehérje-koncentrátumok *in vitro* emészthetőségének meghatározására használják.

A vizsgálati eljárás során 1 g vizsgálandó anyagot centrifugacsőben 20 cm<sup>3</sup> 0,1M sósavban szuszpendálunk, majd 0,1 cm<sup>3</sup> 0,01M sósavban

szuszpendált 50 mg *pepszinnel* összekeverjük. A keveréket 37 °C-on 48 órán át enyhén rázatjuk, majd centrifugáljuk. Az üledéket 10 cm<sup>3</sup> desztillált vízben szuszpendáljuk, és 0,1M 8,0 pH-jú nátrium-foszfát puffert és 5 mg *tripszint* adunk hozzá. A keveréket 23 °C-on 16 órán át gyengén rázatjuk, majd centrifugáljuk. Az üledéket 5×30 cm<sup>3</sup> vízzel újra szuszpendáljuk, majd centrifugáljuk, és a felülúszót minden lépés után elöntjük. Az utolsó 20 000 g-n 5 percig végzett centrifugálás után a szilárd maradékot nitrogénmentes szűrőpapíron szűrjük, levegőn megszáritjuk, majd *Kjeldahl* szerint meghatározzuk a nitrogéntartalmát.

A fehérje emészthetőségét %-ban az alábbi képlet alapján számoljuk:

$$\text{a fehérje emészthetősége \%} = \frac{(a - b) \cdot 100}{a},$$

ahol:  $a$  = a minta nitrogéntartalma,

$b$  = a minta emészthetetlen részének nitrogéntartalma.

Esetenként a *tripszin* helyett *pankreatint* használnak, és a fehérje *pepszin-pankreatin*-hidrolízist követő emészthetőségét határozzák meg.

### 3.6.5.3. A multienzimes módszer a fehérje in vitro emészthetőségének megállapítására

Az előző két pontban ismertetett módszer szerint a fehérje in vitro emészthetőségét egy, illetve két enzimmal határozzák meg. Újabban három vagy több enzimet használnak a fehérje in vitro emészthetőségének meghatározására, amely eljárásokat multienzimes módszereknek nevezik. A multienzimes módszerekkel a fehérje emészthetősége pontosabban meghatározható, mint az egy vagy két enzim használatát előíró eljárások esetében.

A vizsgálati eljárás során 1 g légszáraz, megfelelő méretűre őrölt takarmányt mérünk be egy 100 cm<sup>3</sup>-es centrifugacsőbe, és 25 cm<sup>3</sup> sósavas *pepszin* oldatot adunk hozzá (3 g *pepszint* oldunk 500 cm<sup>3</sup> 0,15 mol/dm<sup>3</sup> sósavoldatban), majd 90 percig, 40 °C-on gyengén rázatjuk. Ezt követően 220 mg nátrium-hidrogén-karbonáttal a sósavat semlegesítjük, a centrifugacső tartalmához 25 cm<sup>3</sup> *pankreatinoldatot* adunk (3 g *pankreatin*, 30 mg *lipáz*, 57 mg epesavas nátrium, 3 g *aminoglükozidáz* feloldva 750 cm<sup>3</sup> 6,8 pH-jú foszfátpufferben), és 60 percig, 40 °C-on inkubáljuk. Az inkubálás után 5 cm<sup>3</sup> 10%-os nátrium-karbonátot adunk hozzá, és 5000 g-n 15 percig centrifugáljuk. Az üledéket 25 cm<sup>3</sup> desztillált vízzel átmosva szuszpendáljuk, majd a felülúszóval együtt molnár selyemszi-

tán átszűrjük. Desztillált vízzel való többszöri átmosás után a szűrőn visszamaradt csapadék nitrogéntartalmát *Kjeldahl* szerint meghatározuk. Az emésztési együtthatót az emészthetetlen fehérjetartalom alapján a következő képlettel számoljuk ki:

$$EmE_{nyfeh} = 100 - \left[ \frac{A}{B} \right] \cdot 100,$$

ahol:  $EmE_{nyfeh}$  = a vizsgált minta nyersfehérje-tartalmának emésztési együtthatója,

$A$  = a csapadék nyersfehérje-tartalma (%),

$B$  = a vizsgált takarmány nyersfehérje-tartalma (%).

#### 3.6.5.4. A fehérje in vitro emészthetőségének meghatározása pankreatinos hidrolízissel és aminosav-analízissel

A módszer alkalmas állati és növényi eredetű élelmiszerek fehérjéi in vitro emészthetőségének meghatározására. Az eljárás során *pankreatinnal* 37 °C-on, 15 órán át hidrolizáljuk a fehérjét, majd mérjük a lehasadó aminosavak mennyiségét ioncserés oszlop-kromatográfiával.

A vizsgálati eljárás során a 10%-nál nagyobb zsírtartalmú mintát éterrel vagy petroléterrel extraháljuk, majd meghatározzuk a nitrogéntartalmát. A 200 mg fehérjének megfelelő mintát 15 órán át, 37 °C-on, 100 mg *pankreatin* és 10 cm<sup>3</sup> 8,2 pH-jú foszfátpuffer elegyével inkubáljuk, amelynek során az elegyet 20 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer*-lombikban mágneses keverőn állandóan keverjük. Ezt követően 10 cm<sup>3</sup> hidrolizátumhoz 5 cm<sup>3</sup> 20%-os cink-szulfát-oldatot és 5 cm<sup>3</sup> 1%-os nátrium-hidroxid-oldatot adunk, amelynek következtében az oldott állapotú hidrolizálatlan fehérjék és peptidok a keletkező cink-hidroxiddal kicsapódnak. Az elegyet szűrjük, majd a szűrlethez 1 cm<sup>3</sup> 1%-os kénsavat és 4 cm<sup>3</sup> 2,2 pH-jú citrát-puffert adunk. Ebből az oldatból az aminosav-analizátor érzékenységtől függően 0,1–1,0 cm<sup>3</sup>-nyi mennyiséget használunk fel az aminosav-tartalom meghatározására.

A minta eredeti aminosav-összetételét alapul véve kiszámíthatjuk a *pankreatinos* hidrolízis során felszabaduló aminosavak százalékos mennyiségét. Az eredeti aminosav-tartalom százalékában kifejezett felszabaduló aminosav-mennyiséget biológiailag hasznosítható aminosav-tartalomnak tekintjük. A módszer alkalmas a fehérje károsodásának nyomon követésére, a hőkezelések és egyéb technológiai paramétereknek az aminosavak hasznosíthatóságára gyakorolt hatásának mérésére.

### 3.6.6. A fehérje aminosav-összetételének meghatározása

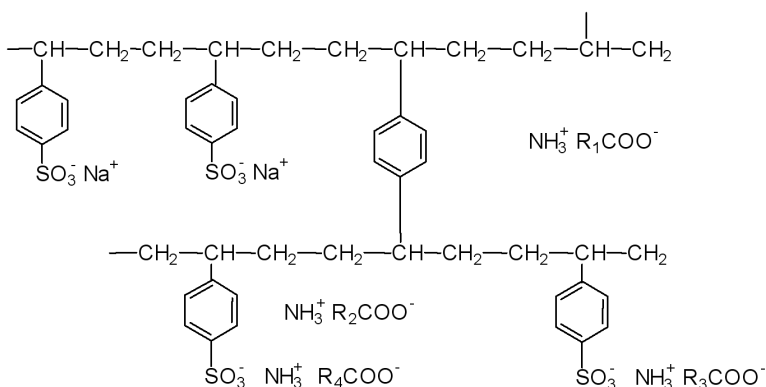
*Élelmiszerek aminosav-összetételét a fehérje hidrolízise után, az ioncserés oszlopkromatográfia elvén működő, automatikus aminosav-analizátorral, oszlop utáni származékképzéssel, a folyadékkromatográfia elvén működő, nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, oszlop előtti származékképzéssel és fotometriásan határozhatjuk meg.* A táplálkozással foglalkozó szakemberek számára rendkívül fontos a fehérje aminosav-összetételének ismerete, hisz az ember az esszenciális aminosavakat nem tudja előállítani, a nem fehérje nitrogén hasznosítására pedig gyakorlatilag nem képes. Optimális összetételű élelmiszerek előállítása csak az élelmiszer esszenciális, illetve a limitáló aminosavai ismeretében lehetséges. Az élelmiszerek aminosav-összetétele ismeretében – tudva az ember aminosav-szükségletét – biztosítani lehet az optimális fehérje- és energiaellátást.

Mind az ioncserés oszlopkromatográfia (IEC), mind a nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia (továbbiakban HPLC) a kromatográfias elválasztások közé tartozik. E módszerek a szétválasztani kívánt komponensek eltérő szorpciós és deszorpciós tulajdonságain alapulnak. Ismerünk gáz-szilárd, gáz-folyadék, folyadék-szilárd, illetve folyadék-folyadék kromatográfias elválasztási műveleteket. Az IEC a folyékony-szilárd, a HPLC a folyékony-folyékony oszlopkromatográfias módszerek csoportjába tartozik. A kromatográfias módszereknél az adszorpció, a megoszlás, illetve az ioncsere bír legnagyobb jelentőséggel. Mindegyik módszernél követelmény, hogy az álló fázis (szorbens oszlop) oldhatatlan legyen a mozgó fázisban, a szorbens irreverzibilisen ne kösse meg az elválasztandó anyagokat, ne bontsa el irreverzibilisen azokat, és ne lépjen reakcióba az eluáló-oldattal. A kromatográfia mindegyik típusa tulajdonképpen az oldószer (mozgó fázis) haladási irányában az oszlopon keresztül egymás után bekövetkező szorpciós és deszorpciós folyamatok sorozata.

#### 3.6.6.1. Az aminosavak meghatározása ioncserés oszlopkromatográfiával

Az IEC álló fázisa mindig valamilyen *ioncserélő anyag*, amelynek vázán (mátrixán) kovalens kötéssel, elektrolitos disszociációra képes savas vagy bázisos jellegű *aktív csoportok* vannak. Ha az aktív csoport negatív töltésű savmaradék, *kationcserélő*, ha pozitív töltésű ion, akkor *ani-*

*oncszerelő gyantáról* beszélünk. Az ioncsérés elválasztást meghatározza a kromatografálás hőmérséklete, az eluálóoldat ionkoncentrációja és pH-ja. Az ioncszerelő oszlophoz *Coulomb*-féle erővel kötött szerves anyagok az elektrosztatikus kölcsönhatáson kívül apoláros adszorpcióval és hidrogénhidakkal is kötődhetnek. Az aminosavak (amfoter jellegüknek köszönhetően) savas körülmények között pozitív ionok, amelyek szétválasztását Na-formában lévő, divinil-benzollal 4–8%-ban térhálósított, szulfonált polisztirol műgyantán lehet elvégezni. Az ioncsere a 3.46. ábra szerint megy végbe.



**3.46. ábra.** Az ioncsere mechanizmusa a műgyantán

Az aminosavak a molekula szerkezetétől és a benne lévő funkciós csoporttól függően különböző erőkkel kötődnek az ioncszerelő oszlop negatív töltésű szulfonsav csoportjaihoz. Az ioncszerelőn kötődött aminosav-molekulák szorpciója és elúciója folyamán különböző intenzitással jut érvényre az aminosavak sajátos töltése, pK-ja, molekulatömege és oldalláncának poláros vagy apoláros volta. Mindezen tulajdonságok együttes következménye az *aminosavak deszorpció sorrendje*, amelyet befolyásol a hőmérséklet, az eluáló pufferek pH-ja, valamint kationkoncentrációja. A kromatográfia pontosságát meghatározza az ioncszerelő műgyanta összetétele is, amely a divinil-benzol koncentrációval, a gyanta méretével és a gyantából készült oszlop nagyságával szabályozható. Az aminosavak ioncsérés oszlopkromatográfiájához *divinilbenzollal különféle mértékben térhálósított szulfonált polisztirol műgyantát* használnak, amelynek aktív csoportjai, a szulfonsavak lehetnek hidrogén, nátrium vagy lítium formában. A takarmányok és élelmiszerek

aminosav-összetételének meghatározása IEC-vel az alábbi folyamatokat foglalja magában:

- a vizsgálati anyag előkészítése,
- a minta hidrolízise, a hidrolizátum feldolgozása,
- az aminosavak szétválasztása IEC-vel,
- az aminosavak mennyiségi meghatározása fotometriáson,
- az eredmény számolása, értékelése.

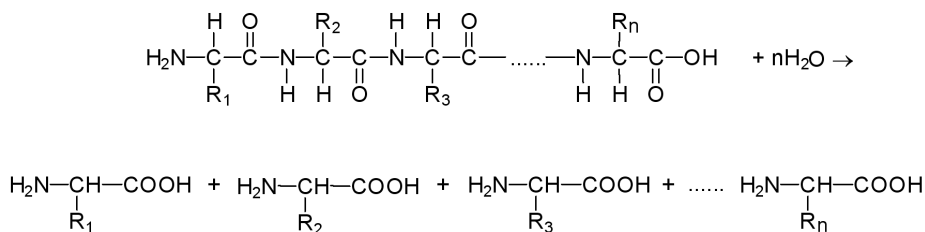
A felsoroltakból adódóan az aminosav-analízis lényege a következő: a megfelelően előkészített (aprított, homogenizált) vizsgálandó anyagban lévő fehérjét sósavval hidrolizáljuk, a hidrolizátum feldolgozása után az aminosavakat egymástól ioncserés oszlopkromatográfiával elválasztjuk, a szétválasztott aminosavat ninhidrinnel reagáltatjuk, a színintenzitás mérésével – ismert koncentrációjú, ún. standard aminosavakhoz hasonlítva – az aminosav mennyiségét mérjük. A folyamatok részleteiben az alábbiak.

**A vizsgálati anyag előkészítése.** Folyékony minta esetében (tej, vérszérum) turmixgépben, szilárd minta esetében darálóval olyan homogenitást, illetve aprítottságot kell elérni, hogy az aminosav-analízishez felhasznált mintamennyiség (10–100 mg) az egész vizsgált anyagot jól reprezentálja. Szilárd minta esetén a szemcseméretnek 0,1 mm-nél kisebbnek kell lennie. Amennyiben nagyobb pontosságra törekszünk, akkor a folyékony mintát kíméletesen szárítjuk, liofilezzük, majd a száraz őrleményből végezzük a bemérést. Ha a minta zsírtartalma meghaladja az 5%-ot, azt *Soxhlet*-extrakcióval kivonjuk, majd zsírtartalmát az eredmény számolásánál figyelembe vesszük.

**A minta hidrolízise, a hidrolizátum előkészítése analízisre.** A fehérjék aminosav-összetételének megállapításához a polipeptidláncot alkotó aminosavakat a kötéseikből hidrolízissel fel kell szabadítani. A polipeptidlánc hidrolízisének vázlata a 3.47. ábrán látható.

A fehérje aminosav-összetételének meghatározásakor használt különböző hidrolízismódszerek közül csak olyannak van jelentősége, amely:

- teljes hidrolízist ad, tehát az összes aminosav a legstabilabb kötésekből is felszabadul,
- az egyes aminosavakat nem vagy a lehető legkisebb mértékben károsítja,
- az alkalmazott reagens nem hoz létre mellékreakciókat.



3.47. ábra. A fehérje hidrolízise

A fehérje teljes hidrolízisére ma leggyakrabban a savas hidrolízises módszereket alkalmazzák, csak a triptofán meghatározása során alkalmaznak lúgos hidrolízismódszert, mert a triptofán indolcsoportja savas körülmények között gyakorlatilag kvantitatíve elbomlik. Enzimes hidrolízist aminosav-meghatározásra csak ritkán használnak annak ellenére, hogy ez az eljárás károsítja legkevésbé a meghatározni kívánt aminosavakat.

A gyakorlatban leginkább elterjedt 6M-os sósavas hidrolízis rövid leírása: 10 cm<sup>3</sup>-es orvosi ampullába a nyersfehérje-tartalomtól függően bemérünk 10–50 mg megfelelően előkészített mintát, majd 5 cm<sup>3</sup> 6M-os, előzetesen nitrogénnel átbuborékolgatott sósavat adunk hozzá. Leforrasztás után 110 °C-on (±2 °C) 24 órán át hidrolizáljuk, majd az ampulla tartalmát desztillált vízzel 50 vagy 100 cm<sup>3</sup>-es gömblombikba mossuk át, és rotációs gyorsbepárlón (N-atmoszférában) 50 °C-os vízfürdőt alkalmazva szárazra pároljuk. A sűrűn folyós desztillációs maradékot pH=2,2-es citrátpufferben oldjuk fel, majd 25 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba töltjük, finom pórusú szűrőpapíron, esetleg zsugorított üvegszűrőn szűrjük. A kapott oldat, amely –25 °C alatt mélyhűtő pultban hónapokig tárolható, megfelelő hígítás után kész az aminosavak analízisére. Nagy fehérjetartalmú minták esetén az oszlopra való felvitel előtt a hidrolizátumot nagymértékben hígítani kell. Desztilláció helyett alkalmazható az ún. közömbösítési módszer is. Ekkor az ampulla tartalmát pH=2,2-es citrátpufferrel 50 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba mossuk át, és a hidrolizátum pH-ját 4M NaOH-dal, jeges vízben való hűtés mellett, pH=2,2-re állítjuk be. A fehérje hidrolízise során a triptofán indolcsoportja gyakorlatilag kvantitatíve elbomlik, a glutamin és az aszparaginsav savamidcsoportja ammóniára és a kérdéses aminosavra hasad, a szerin 10–15, a treonin 10–20%-ban bomolhat, a cisztin és a cisztein, valamint a metionin oxigén jelenlétében

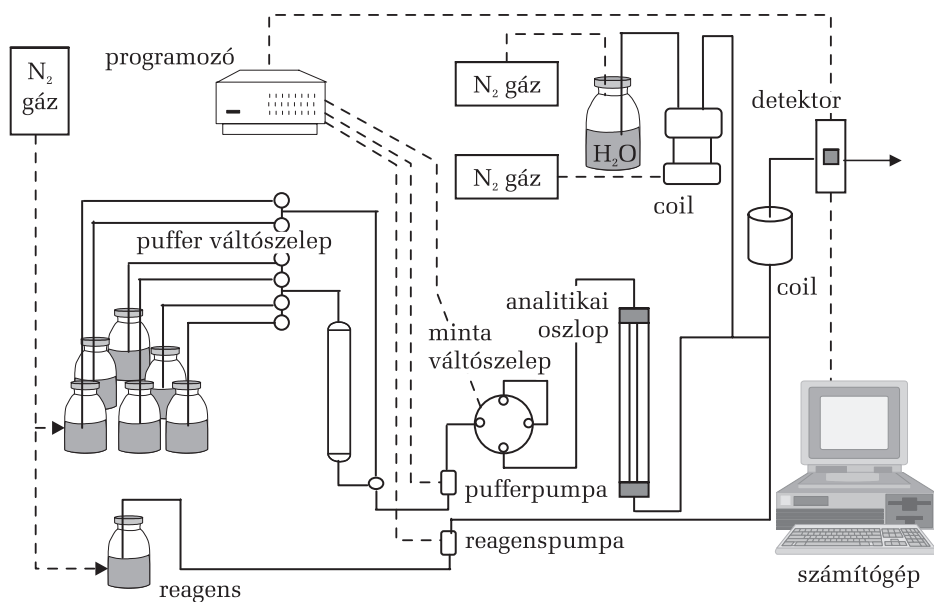
ciszteín-szulfinsavvá és -szulfonsavvá, továbbá metionin-szulfoxiddá és -szulfonná alakulhat. A ciszteinből alanin és szerin, szénhidrátok jelenlétében glicin, a metioninből pedig homociszteín, homocisztin és glicin képződhet. Minimális mennyiségű bomlást szenvedhet a tirozin, a glutaminsav, az aszparaginsav, a prolin és az arginin is. Külön figyelmet érdemel a valin, az izoleucin és a leucin, mert ezen aminosavak kötéseik rendkívül nehezen szakadnak fel a hidrolízis során.

#### **Az aminosav szétválasztása ioncserés oszlopkromatográfiával.**

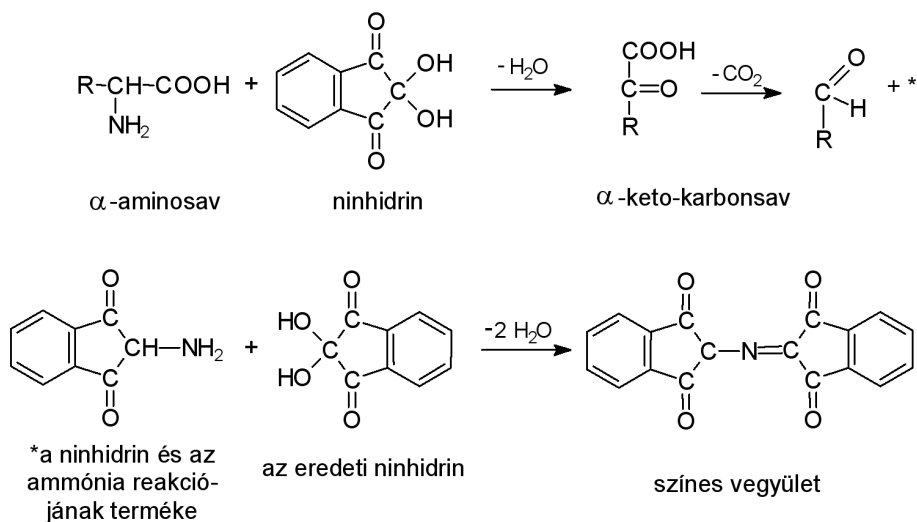
Az aminosav szétválasztását nátrium formában lévő divinil-benzollal 4%-ban térhálósított, szulfonált polisztirol műgyantán végezzük, növekvő pH-jú és növekvő nátriumion-koncentrációjú citrát-pufferek segítségével. Egy automatikus aminosav-analizátor sematikus rajza a 3.48. ábrán látható. Az aminosav-analízis során *a savas és hidrox-aminosavak gyorsabban, a bázikus aminosavak lassabban válnak le az ioncserélő oszlopról, a semleges aminosavak pedig közbülső értéket foglalnak el a két szélső csoport között.* Az aminosavakat pH=2,2-es pufferben visszük fel az ioncserélő oszlopra, ezután a savanyú és semleges aminosavak szétválasztását 0,2M pH=3,25 és pH=4,25 nátrium-citrát pufferekkel, a bázikus aminosavak szétválasztását pedig – az aminosav-analizátor típusától függően – 0,35–0,85M nátriumion-koncentrációjú, pH=5,28–6,50 pufferekkel végezzük. Az alkalmazott kromatografálási feltételek mellett (pufferösszetétel, hőmérséklet, áramlási sebesség) az aminosavak minden esetben ugyanolyan sorrendben eluálódnak az oszlopról, tehát elsőként mindig a legsavasabb aszparaginsav, utolsónak pedig a legbázikusabb arginin távozik. A pufferek pH-jának és nátriumion-koncentrációjának, valamint a kromatografálás hőmérsékletének változtatásával az aminosavak elúciós sorrendje megváltoztatható, illetve az elúciós idők optimalizálhatók.

**Az aminosav és a ninhidrin reakciója.** Az aminosavak oldata színtelen, ezért a meghatározáshoz az aminosavakat színessé kell tenni. *Az ioncserélő oszlopról távozó aminosavakat a keverőblokkban ninhidrinnel reagáltatva kékes, ibolyás-lilás színű vegyületet kapunk.* A ninhidrinoldattal összekevert aminosavakat tartalmazó puffer egy tefloncsőben 15–20 percet tölt el 100 °C-on, amelynek során a pH=5,5. Az aminosavakkal létrejött szín intenzitását átfolyó küvettás fotométerben, 570 nm-en mérjük, kivéve a prolint, amelyet 440 nm-en fotometrálunk, mert a prolin és a ninhidrin közti színreakció sárga színű vegyületet eredmé-





3.48. ábra. Az aminosav-analizátor sematikus rajza



3.49. ábra. Az aminosavak és a ninhidrin reakciója

nyez, amely vegyület fényelnyelési maximuma 440 nm. Az aminosavak és a ninhidrin közti reakció leegyszerűsítve az alábbiak szerint megy végbe.

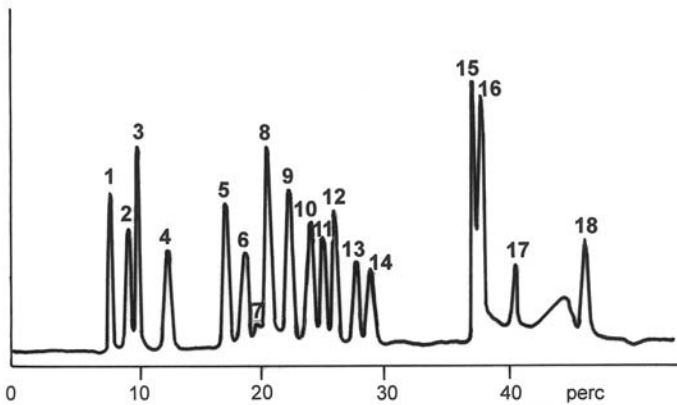
A vázolt reakció lényege, hogy a ninhidrin az első lépésben az aminosavat  $\alpha$ -iminosavvá dehidrogénezi, majd az iminosav ammóniává és  $\alpha$ -ketosavvá hidrolizál. A dehidrogénezést kiváltó redukált ninhidrin és egy másik molekula ninhidrin az ammóniával kondenzációs reakcióba lép; az így képződött kondenzációs termék, illetve annak módosulata a színes vegyület (3.49. ábra).

**Az aminosav minőségi és mennyiségi meghatározása.** Az ioncserélő oszlopról távozó, pufferben lévő aminosavak reakciója miután a ninhidrinnel a forró vízbe merülő teflonspirálban lejátszódik, a színes oldat a fotométer átfolyóküvetáján halad át. A fotométer által érzékelt fényabszorpciót a kompenzográf regisztrálja, amelynek eredménye a kromatogram. A kromatogramon a csúcs helye mindig az aminosavra, a csúcs nagysága, illetve a csúcs alatti terület pedig az aminosav koncentrációjára jellemző, azaz a kromatogramon az első csúcs mindig az aszparaginsavhoz, az utolsó pedig az argininhez tartozik, a csúcs nagysága pedig attól függ, hogy az aszparaginsav, illetve az arginin kis vagy nagy koncentrációban van-e jelen a mintában. Az aminosav-analízissel tehát el tudjuk dönteni, hogy milyen aminosavak vannak jelen a mintában (a csúcs helye alapján) és azt, hogy a jelen lévő aminosavnak milyen a koncentrációja. Az elkészült kromatogram csúcsainak megfelelő aminosav-mennyiségek kiszámítását ma már integrátorral, számítógéppel végezzük. Korábban megállapítottuk:

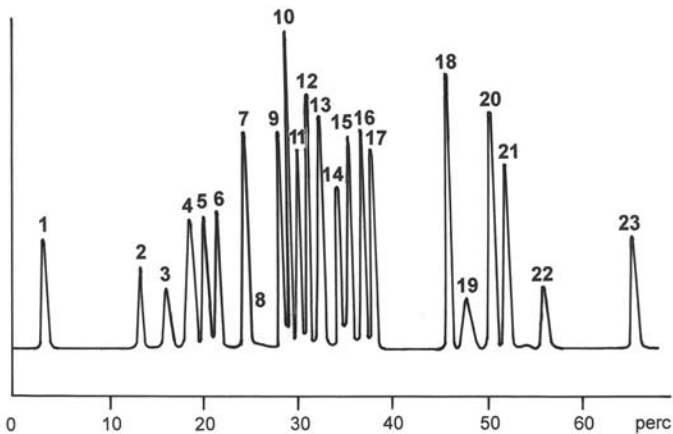
- az egyes csúcsok tényleges magasságát, a félmagasságnál mért szélességet, és kiszámítottuk a csúcs alatti területet,
- az egy csúcshoz kapcsolható aminosav-mennyiségeket a standard kromatogram értékeihez viszonyítva számítjuk ki,
- végül, az egyes aminosavat az eredeti mintára vonatkoztatva tömegszázalékban (g aminosav/100 g minta) adjuk meg.

A két kromatogram közül a 3.50. ábra egy fehérjehidrolizátum, a 3.51. ábra pedig egy perhangyasavas oxidáció utáni fehérjehidrolizátum aminosavait mutatja.

Amennyiben nemcsak a takarmányban lévő aminosav mennyiségéről, hanem a takarmányfehérje minőségéről is szeretnénk információt kapni, akkor az aminosav-összetételt g aminosav/100 g fehérje vagy g aminosav/16 g N egységben adjuk meg, amely megmutatja, hogy a takar-



**3.50. ábra.** A fehérjealkotó aminosavak kromatogramja. A számokhoz tartozó aminosavak a következők: 1. aszparaginsav, 2. treonin, 3. szerin, 4. glutaminsav, 5. glicin, 6. alanin, 7. cisztin, 8. valin, 9. metionin, 10. izoleucin, 11. leucin, 12. norleucin belső standard, 13. tirozin, 14. fenil-alanin, 15. hisztidin, 16. lizin, 17. ammónia, 18. arginin



**3.51. ábra.** A fehérjealkotó aminosavak kromatogramja perhangyasavas oxidáció után. A számokhoz tartozó aminosavak a következők: 1. ciszteinsav, 2. metionin-szulfoxid, 3. metionin-szulfon, 4. aszparaginsav, 5. treonin, 6. szerin, 7. glutaminsav, 8. prolin, 9. glicin, 10. alanin, 11. cisztin, 12. valin, 13. metionin, 14. izoleucin, 15. leucin, 16. tirozin, 17. fenil-alanin, 18. hisztidin, 19. triptofán, 20. ornitin, 21. lizin, 22. ammónia, 23. arginin

mányban lévő fehérje 100 grammja hány g aminosavat tartalmaz. Ezen az alapon az összes takarmány- és élelmiszer-fehérje összehasonlítható, hisz a vonatkoztatási alap minden esetben a fehérje.

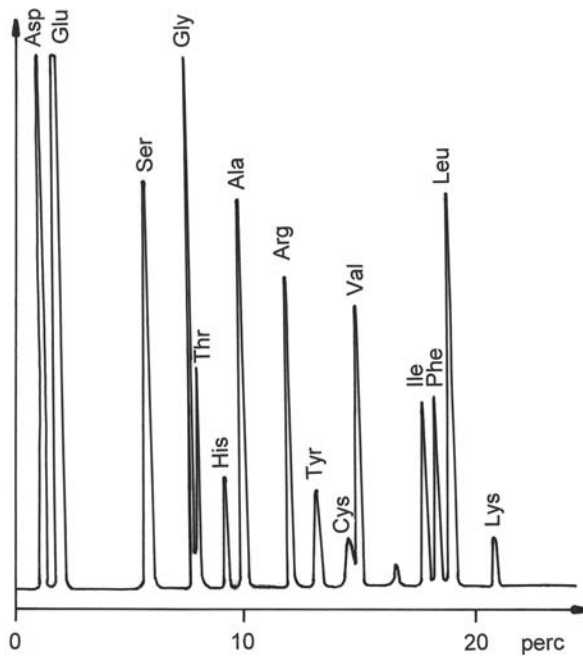
Az aminosav-analízis érzékenységének növelésére ninhidrin helyett o-ftálaldehidet is használhatunk az aminosavak oszlop utáni származékának képzésére, amellyel az aminosav-analízis érzékenységét fokozhatjuk.

### *3.6.6.2. Az aminosav-összetétel meghatározása nagy hatékonyságú folyadék-kromatográfiával*

A nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiát olyan, nagyobb molekulatömegű, hőérzékeny anyagok vizsgálatára dolgozták ki, amelyek egyéb kromatográfias eljárásokkal (gázkromatográf, IEC) nem vagy csak nehezen vizsgálhatók. A nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiánál *az álló fázis valamilyen nagy viszkozitású folyadék vagy nagy felületű anyag*, amelyet általában rozsdamentes acélcsőbe préselnek, amelyen keresztül az oldószert pumpa segítségével, nagy nyomáson áramoltatják. *Amennyiben az eluens kevésbé poláros, mint az álló fázis, normál fázisú kromatográfiáról, amennyiben az eluens polárosabb, mint az álló fázis, fordított fázisú kromatográfiáról beszélünk.* Az eluens folyamatosan áramlik keresztül az oszlopon, amelybe a mintaadagoló segítségével juttatjuk be a szétválasztani kívánt komponenseket. Az egyes komponensek eltérő sebességgel haladnak keresztül az oszlopon, és optimális esetben egymástól jól elkülönülve jelennek meg a HPLC oszlop végén, ahol különböző módszerekkel detektálhatók. A detektor lehet látható vagy ultraibolya fotométer, de lehet fluoreszcenciás, elektrokémiai, esetleg törésmutató mérő műszer is. A detektort mindig a szétválasztandó komponensek tulajdonságai alapján választják meg.

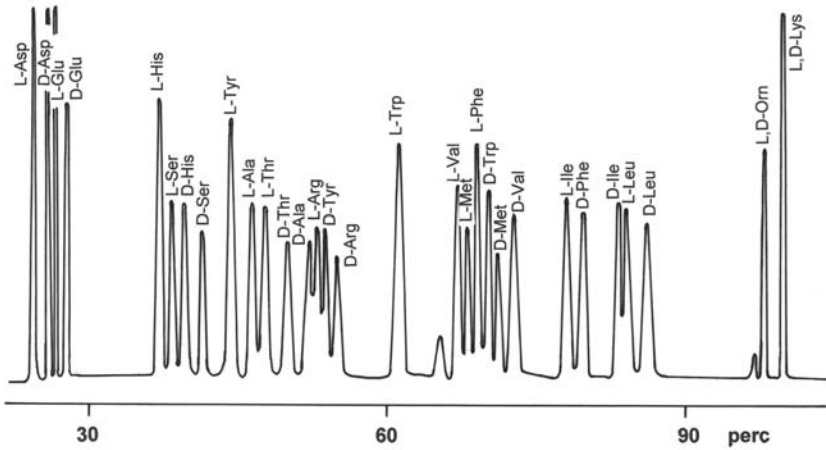
Az aminosavak meghatározhatók nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, oszlop előtti származékképzéssel, amire az o-ftálaldehidet, a fluorenil-metil-kloroformátot és a fenil-izotiocianátot használják a legszélesebb körben. Detektálásra leginkább a fluoreszcens detektort alkalmazzák, amelynek érzékenysége jobb, mint a látható, illetve UV-tartományban mérő detektoroké. Tipikus, oszlop előtti származékképzéssel és HPLC-n való szétválasztással kapott kromatogramot mutat a 3.52. ábra.

Amennyiben az oszlop előtti származékképzésre használt reagens egy királis szénatomot is tartalmaz, akkor lehetőség van a D- és az L-ami-

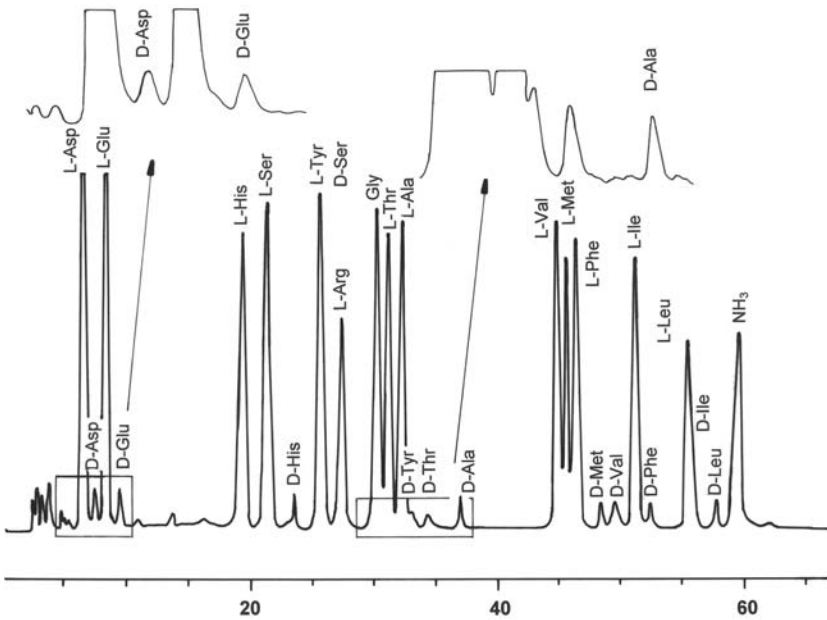


**3.52. ábra.** Az aminosavak szétválasztása oszlop előtti származékképzés után, HPLC-vel

nosav enantiomerek szétválasztására és meghatározására nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával. A D- és L-aminosavak származékképzésére leggyakrabban ebben az esetben az 1-(9-fluorenil)-etil-kloroformátot (FLEC) és az orto-ftálaldehidet, valamint a 2,3,4,6-tetra-O-acetil-1-tio- $\beta$ -D-glükopiranozidot (OPA/TATG) használják. Ezekkel a módszerekkel nemcsak azt tudjuk megmondani, hogy mennyi aminosav van jelen a mintában, hanem azt is mérni tudjuk, hogy a mintában milyen az L- és a D-aminosav koncentrációja. Ez különösen azért fontos, mert a különböző technikai beavatkozások (magas hőmérséklet, lúgos kezelés, detoxikáció) hatására az L-aminosavak egy része átalakulhat D-aminosavvá, amelyeket az ember és a legtöbb állat nem tud hasznosítani, sőt káros hatásait is kimutatták az élő szervezetre. A D- és az L-aminosavak szétválasztására és meghatározására végzett analízis eredményeit a 3.53. ábrán látható kromatogram mutatja.



3.53. ábra. Az aminosav-enantiomerek szétválasztása OPA/TATG származékképzés után



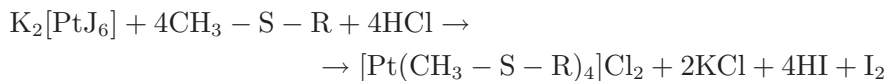
3.54. ábra. A kis mennyiségű D-aminosavak meghatározása a nagy mennyiségben jelen lévő L-aminosavak mellett

A legtöbb alkalmazás során csak pár aminosav D- és L-enantiomerjére vagyunk kíváncsiak, és nincs szükség az összes fehérjealkotó aminosav D- és L-enantiomerjének szétválasztására és meghatározására. Ezért a mozgó fázis pH-jának és ionerősségének megváltoztatásával vagy másik szerves oldószer alkalmazásával és esetleg az analitikai oszlop méretének és töltésének változtatásával lehetőség van arra, hogy a kérdéses aminosav-enantiomer(ek)e)t szét tudjuk választani s meg tudjuk határozni. Természetesen ilyenkor minden alkalommal el kell végezni a rendszer optimálását a szükséges aminosav(ak)ra.

A 3.54. ábrán ilyen optimálás látható az aszparaginsav és a glutaminsav, valamint az alanin enantiomerének szétválasztására. A D-aszparaginsav és a D-glutaminsav, illetve a D-alanin a bakteriális fehérjeszintézis markerei, hisz a baktériumok sejtfalának peptidoglikánjai jelentős mennyiséget tartalmaznak e három aminosavból. Ebből a kromatogramból azonban az is látszik, hogy hússzoros mennyiségű L-aminosav mellett nem okoz gondot a D-aminosavak elválasztása és meghatározása a hagyományos fluoreszcens detektor alkalmazásával. A D-aminosavak meghatározásának alsó határa fluoreszcens detektorral ebben a rendszerben 0,2–0,5  $\mu\text{M}$  között van, bár a D-aszparaginsav és a D-glutaminsav esetén ez a koncentráció kisebb 0,1  $\mu\text{M}$ -nál, a lizinnél pedig 2  $\mu\text{M}$  körül alakul.

### 3.6.6.3. Az aminosav-összetétel meghatározása fotometriásan

**A metionintartalom meghatározása.** A platinacsoport fémei színes komplex jodidokat képeznek, amelyek szerves szulfidokkal vagy merkapto-vegyületekkel (metionin és cisztein) elszíntelenednek a kén-tartalmú vegyületnek, mint ligandumnak, a platínával képzett komplexei révén.



A színes reagensoldat a metionintartalommal arányosan színtelenedik el, mivel a cisztein befolyása egyrészt kisebb a platina-jodid komplexre, mint a metioniné, másrészt a cisztein a feleslegben adott formaldehiddel lekötődhet, így zavaró hatása kiküszöbölhető.

A meghatározás során az aminosavak ioncserés oszlopkromatográfiájánál leírt hidrolizátum pH-ját 4M NaOH-dal, jeges vízben való hűtés mellett, pH=8–10 körüli értékre állítjuk be, majd desztillált vízzel

25 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba mossuk, jelig töltjük, és finom pórusú szűrőpapíron leszűrjük. Ebből az oldatból 1 cm<sup>3</sup>-t csiszolt dugós kémcsőbe pipettázunk, és 0,33 cm<sup>3</sup> maszkírozóoldatot (50 cm<sup>3</sup> 40%-os formaldehidoldatot borát pufferrel 200 cm<sup>3</sup>-re egészítünk ki) mérünk hozzá. Összerázzuk, 1 cm<sup>3</sup> 2 : 1 hígítású HCl-oldatot és 2 cm<sup>3</sup> reagenst (15 cm<sup>3</sup> 0,1% hexaklór-platinasav-oldathoz 15 cm<sup>3</sup> 3%-os kálium-jodid-oldatot adunk, és az elegyet desztillált vízzel 200 cm<sup>3</sup>-re töltjük fel) adunk a mintához (M). A reagens mintával egyidejűleg vakmintát is készítünk, ahol a reagens helyett 2 cm<sup>3</sup> desztillált vizet töltünk az elegyhez (MV). A „kiindulási” szín meghatározásához a minta helyett borátpuffert (38,14 g Na-tetraborátot és 0,3 g CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O-t feloldunk 500 cm<sup>3</sup> desztillált vízben, pH=8,0, majd 1000 cm<sup>3</sup>-re töltjük fel) mérünk be (A). 10 perc elteltével mind a három oldat fényelnyelését egy órán belül 490 nm-en mérjük, borátpuffer vakkal szemben. A kiértékeléshez az előző leírás szerint olyan kalibrációs görbét készítünk, amelyhez 10, 20, 30, 40 és 50 μg metionin/cm<sup>3</sup> töménységű oldatokat használunk fel. A különböző töménységű metioninoldatok színtelenítő hatását a „kiindulási” szín és az egyes standardpontok abszorbancia-különbségeként ábrázoljuk a metioninkoncentráció függvényében.

Az eredmény az ismételhetőség követelményének megfelelő két, párhuzamos mérés számtani átlaga az eredeti mintára vonatkoztatva, tömegszázalékban kifejezve. A „kiindulási” szín és a minta vakértékével csökkentett vizsgált oldat abszorbancia-különbségéből [ $E_A - (E_M - E_{MV})$ ] a kalibrációs görbe segítségével határozzuk meg a mintaoldat metioninkoncentrációját az alábbi képlet segítségével:

$$\text{metionintartalom } \% = \frac{C \cdot H}{m \cdot 10^4},$$

ahol:  $C$  = a mintaoldat metionin-koncentrációja (μg/cm<sup>3</sup>),

$H$  = a vizsgált minta hígítása (cm<sup>3</sup>),

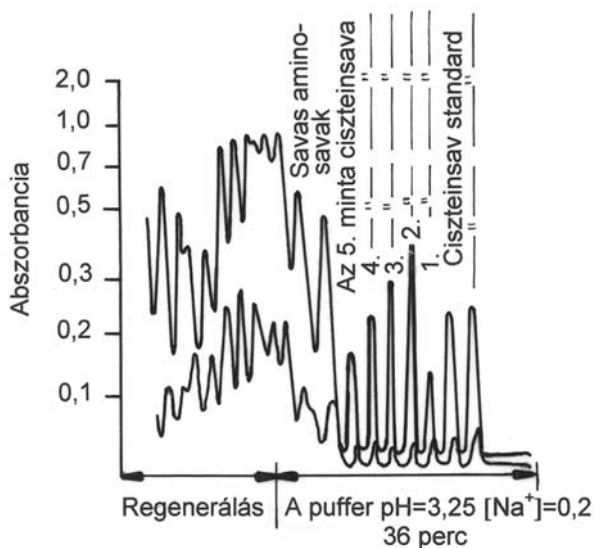
$m$  = a vizsgált minta tömege (g).

A minta zsírtalanítása, szárítása esetén a megfelelő faktorokat alkalmazva számítjuk ki az eredményt, amelynek legnagyobb eltérése két párhuzamos mérés esetén az eredmény 10%-a lehet.

**A cisztintartalom meghatározása.** A cisztintartalmat gyors ioncserés oszlopkromatográfiai módszerrel, illetve fotometriás úton is meg tudjuk határozni.



A cisztintartalom meghatározása ioncserés oszlopkromatográfiával. A módszer alkalmas takarmányok és takarmánykiegészítők, valamint élelmiszerek cisztintartalmának meghatározására. Mivel a kéntartalmú aminosavak és ezek közül is leginkább a cisztin rendkívül hajlamos az oxidációra, ezért az analízis közben fellépő veszteség elkerülése érdekében célszerű a kéntartalmú aminosavakat oxidált formában, így a cisztint ciszteinsav formában meghatározni. A fentiek miatt a fehérje hidrolízise előtt perhangyasavas oxidációval a cisztint és a ciszteint ciszteinsavvá alakítjuk át, majd a ciszteinsavat ioncserés oszlopkromatográfiával, aminosav-analizátorral határozzuk meg (3.55. ábra).



3.55. ábra. Cisztintartalom meghatározása perhangyasavas oxidációval és gyorsított betáplálással

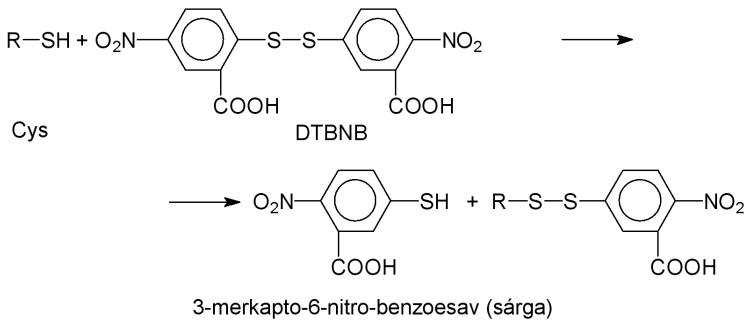
A vizsgálati eljárás során 10 cm<sup>3</sup>-es ampullába (amelyben a fehérje hidrolízise történik) a megfelelően előkészített mintából a várható cisztintartalomtól függően 30–40 mg-ot mérünk be, 0,4 cm<sup>3</sup> perhangyasavat pipetázunk hozzá, és 15 percre 50 °C-os vízfürdőbe merítjük. Ezt követően mélyhűtőben lehűtjük –25 °C-ra, megfagyasztjuk, a perhangyasavat fagyasztva szárítással (liofilizálás) eltávolítjuk. (A perhangyasavat a következőképpen állítjuk elő: egy kémcsőbe 9 : 1 arányban elegyítünk 85%-os hangyasavat és 30%-os hidrogén-peroxidot, három percre 50

°C-os vízfürdőbe merítjük, majd szobahőmérsékletűre hűtjük, frissen használjuk.) A perhangyasavval oxidált mintát 5 cm<sup>3</sup> 6M-os sósavval 24 órán át 110 (±2) °C-on hidrolizáljuk, majd a sósavat rotációs gyorsbepárlón ledesztilláljuk vagy a hidrolizátum pH-ját 4M NaOH-oldattal pH=2,2-re állítjuk be.

A ciszteinsav meghatározását olyan mintaadagolóval ellátott, bármely aminosav-analizátorral elvégezhetjük, amelynél lehetséges az áramlási paraméterek lényeges megváltoztatása nélkül egymás után több mintát juttatni az ioncserélő oszlopra. Amennyiben csak egy minta ciszteinsav-tartalmát határozzuk meg, akkor a ciszteinsav és az aszparaginsav között olyan üres területet kapunk a kromatogramon, ahova az áramlási paraméterek figyelembevételével még további 3–5 minta ciszteinsavának csúcsa beférne. A fenti lehetőségekkel élve két-három percenként öt különböző, perhangyasavval oxidált mintát juttatunk az ioncserélő oszlopra, és az 5. minta ciszteinsav csúcsának megjelenése után – mivel itt már megjelenik az első minta aszparaginsav csúcsa – az analízist megszakítjuk, az ioncserélő oszlopot regeneráljuk, equilibráljuk, és folytatjuk a további minták analízisét. Gyakorlati szempontból célszerű egy ciszteinsav standarddal indítani a meghatározást, amelyet 4–5 minta betáplálása követ az aminosav-analizátor ioncserélő oszlopára. A minták elválasztásához az aminosav-analízisnél leírtaknak megfelelően, csak A-puffert használunk (esetleg kissé megsavanyítva), a regenerálást 0,2M NaOH-dal, az equilibrálást pedig az A-pufferrel végezzük. A fenti módszer alkalmazásával az élelmiszerekben és takarmányokban esetenként igen kis koncentrációban előforduló cisztin meghatározását az összes többi aminosavét elérő pontosságú szintre tudjuk emelni. Az eredményt két, párhuzamos mérés átlagában, tömeg%-ban adjuk meg.

*A cisztintartalom meghatározása fotometriásan.* A módszer alkalmas élelmiszerek és élelmiszer-kiegészítők cisztintartalmának meghatározására. A meghatározás során a megfelelően hidrolizált mintából a cisztint ditioeritrittel (eritro-2',3-dihidroxi-1',4-ditiolbután; DTE) vagy ditiotreitrel (treo-2',3-dihidroxi-1',4-ditiolbután; TDD) ciszteinné redukáljuk, majd a felesleges redukálószerrel nátrium-arsenittel megköjtjük. A keletkezett ciszteint 5',5-ditio-bis-(2-nitro-benzoészav)-val (DTBNB) reagáltatjuk, és a keletkezett sárga színű 3-merkaptó-6-nitro-benzoészav mennyiségét 460 nm-en spektrofotometriásan határozzuk meg. Mivel mind a redukció, mind a DTBNB-vel való reakció a tiol-szulfid cserén alapszik, ezért a cisztein, illetve cisztinmeghatározási módszer specifi-

kus, és más aminosavak nem zavarják. A meghatározás során végbemenő reakció a 3.56. ábrán látható.



**3.56. ábra.** A cisztin reakciója DTBNB-vel színes vegyület keletkezése közben

A vizsgálati eljárás során a pH=8-ra beállított, desztillált vízzel 25 cm<sup>3</sup>-re feltöltött és szűrt hidrolizátumból 0,5 cm<sup>3</sup>-t csiszolt dugós kémcsőbe pipettázunk, 4 cm<sup>3</sup> 8,25 pH-jú 0,1M TRIS-puffert, majd 1,4 cm<sup>3</sup> 0,05%-os DTE-oldatot adunk hozzá. Ezekkel a lépésekkel a cisztint redukáljuk, aminek ideje 10 perc. Ezután 2 cm<sup>3</sup> pH=8-as 0,25M TRIS-puffert adunk a reakcióelegyhez, majd a redukálószer feleslegét 4 cm<sup>3</sup> 0,8%-os Na-arsenittel kötjük meg.

A redukálószer megkötését követően a reakcióelegyhez hozzáadunk 1,5 cm<sup>3</sup> reagenst (100 mg DTBNB-t 250 cm<sup>3</sup> acetát pufferben oldunk fel), majd a sárga színű oldat fényelnyelését 460 nm-en mérjük. A mintaoldattal együtt vakoldatot is készítünk, ahol a reagens helyett 1,5 cm<sup>3</sup> desztillált vizet adunk a reakcióelegyhez. A vakmintára kapott értékkel minden esetben csökkentjük a minta abszorbanciáját. A kiértékelés kalibrációs görbe segítségével történik. Ennek során az előzőekben felsorolt reakciókat ismert koncentrációjú, cisztintartalmú oldatokkal végezzük el. Így 0,024 g cisztint 100 cm<sup>3</sup> 8,25-ös pH-jú 0,1M TRIS-pufferben feloldunk; a kalibrációs görbe felvételéhez ebből az oldatból 0,1; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 cm<sup>3</sup>-t pipettázunk csiszolt dugós kémcsőbe, és a reagens hozzáadása után mérjük az oldat abszorbanciáját. Az értékeket a ciszt(e)inkoncentráció függvényében ábrázoljuk, és a hitelesítőegyenest használjuk fel az ismeretlen minta ciszt(e)inkoncentrációjának meghatározására. Az eredményeket két, párhuzamos mérés átlaga alapján az eredeti mintára vonatkoztatva, tömeg%-ban fejezzük ki, figyelembe

véve a minta zsírtalanítása és szárítása közben beállt tömegváltozásokat, illetve a fotometráálás során végzett hígításokat.

**A triptofántartalom meghatározása.** A triptofántartalom meghatározása ioncserés oszlopkromatográfiásan és fotometriásan is történhet élelmiszerekből, takarmányokból és takarmánykiegészítőkből. A triptofánnal azért kell külön foglalkozni, mert a triptofán indolcsoportja savas hidrolízisnél (különösen nagy szénhidráttartalmú minták esetében) kvantitatíve elbomlik, ezért *a triptofán meghatározása során lúgos hidrolízist kell alkalmazni*. A lúgos hidrolízis történhet bárium- vagy nátrium-hidroxiddal, amelyet követhet mind ioncserés oszlopkromatográfiás, mind a para-dimetil-amino-benzaldehiddel és nátrium-nitrittel képzett, kék színű termék koncentrációjának spektrofotometriás meghatározása 590 nm-en.

A fehérje hidrolízisét mind NaOH-dal, mind  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -dal elvégezzhetjük. A nátrium-hidroxidos hidrolízis során a 10 cm<sup>3</sup>-es ampullába a megfelelően előkészített mintából a nyersfehérje-tartalomtól függően 50–100 mg-ot mérünk be. 5 cm<sup>3</sup>-es 5M NaOH-oldatot adunk hozzá, üvegkapillárison keresztül 3–5 percen át nitrogéngázt vezetünk az ampullába, leforrasztjuk, majd lehűlés után az ampulla tartalmát kevés pH=4,25 nártium-citrát pufferrel 25 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba mossuk. A lombikot jeges vízbe állítva a minta pH-ját cc. sósavval pH=4-re állítjuk be, majd citrátpufferrel jelig töltjük. Az oldat centrifugálás, esetleg szűrés után kész a triptofán meghatározására.

A bárium-hidroxidos hidrolízis során a megfelelően előkészített mintából 10–100 mg-ot mérünk be, majd a nyersfehérje-tartalom függvényében 10 mg fehérjéhez 1,26 g  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -t és 1,45 cm<sup>3</sup> desztillált vizet mérünk hozzá. A bárium-hidroxid szobahőmérsékleten nem megy oldatba, kristályai leülepednek az ampulla aljára. Üveg kapillárison keresztül 2–3 percig nitrogéngázt vezetünk az ampullába, leforrasztjuk, majd szárítószekrényben a mintát 110 (±2) °C-on 48 órán át hidrolizáljuk. Lehűlés után a hidrolizátumot 50 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer*-lombikba öntjük át, az ampullát 3×2 cm<sup>3</sup> forró desztillált vízzel átöblítjük, egy csepp fenolftaleinindikátort adunk hozzá, és 6M sósavval közömbösítjük. A bemért  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -tól függően 5–10 g vízmentes nátrium-szulfátot adunk a közömbösített oldathoz, majd a kivált bárium-szulfát csapadékot üvegszűrőn szűrjük vagy centrifugáljuk. A csapadékot 2×3 cm<sup>3</sup> desztillált vízzel átmoszuk, az egyesített vizes fázisokat liofilizáljuk. A liofilizálás után kapott bepárlási maradékot pH=4,25-ös nátrium-citrát puffer-

ben feloldjuk, leszűrjük, és az így kapott hidrolizátum kész a triptofán meghatározására. A triptofán standardot az előzőekben leírtak szerinti munkafolyamatoknak vetjük alá.

*A triptofántartalom mérése ioncserés oszlopkromatográfiával aminosav-analizátoron.* Az elválasztás elve és körülményei megegyeznek az aminosav-analízisnél leírtakkal, azzal a különbséggel, hogy:

- 15 cm<sup>3</sup>-es rövid ioncserélő oszlopot használunk,
- az oszlop hőmérséklete 55–60 °C,
- eluensként a legmagasabb pH-jú és molaritású nátrium-citrát pufferet használjuk.

Az eredményt két, párhuzamos mérés átlagában, a minta tömeg%-ában adjuk meg.

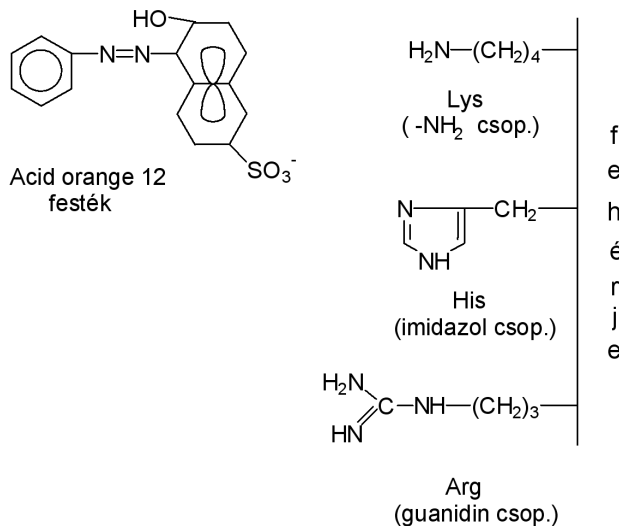
*A triptofántartalom mérése fotometriásan para-dimetil-amino-benzaldehiddel.* A minta hidrolízise után a hidrolizátumból 5–10 mg fehérjének megfelelő anyagot mérünk be egy 20 cm<sup>3</sup> csiszolt dugós kémcsőbe, majd 10 cm<sup>3</sup>-re egészítjük ki kénsavas reagenssel, amely 0,3 g para-dimetil-amino-benzaldehidet tartalmaz 100 cm<sup>3</sup> tömény kénsavban. A kémcsövet sötét helyen, szobahőmérsékleten, 16 órán át állni hagyjuk, majd 0,1 cm<sup>3</sup> 0,045%-os nátrium-nitrit-oldatot adunk hozzá, összerázzuk, és 30 percre sötét helyre tesszük. Ismételt összerázás után a kék színű oldat fényelnyelését 590 nm-en mérjük. A vakpróba a leírtak szerint készül para-dimetil-amino-benzaldehid nélkül. A kiértékelés kalibrációs görbe segítségével történik, amelyet előzetesen 20–150 µg triptofán/10 cm<sup>3</sup> reakcióelegy-tartományban veszünk fel. Az ismeretlen minta triptofántartalmát a hitelesítőegyenes segítségével határozzuk meg, és két párhuzamos mérés átlaga alapján a minta tömeg%-ában fejezzük ki. A minta zsírtalanítása és szárítása esetén a tömegváltozásokat figyelembe véve adjuk meg az eredményt az eredeti mintára.

**A hasznosítható lizintartalom meghatározása.** A hasznosítható lizintartalmat ioncserés oszlopkromatográfiás módszerrel, illetve fotometriás módszerrel lehet meghatározni. Az első esetben megfelelő körülmények között 2,4-dinitro-1-fluor-benzollal reagáltatjuk a minta fehérjében lévő lizint, dinitro-fenil- $\epsilon$ -amino-lizin származékot létrehozva. Csak szabad  $\epsilon$ -aminocsoporttal rendelkező lizin reagál a DNFB-vel, ezért a származék koncentrációjának meghatározása megadja a hasznosítható (szabad  $\epsilon$ -aminocsoporttal rendelkező) lizin mennyiségét. E származék a savas hidrolízis során nem bomlik le, ezért aminosav-analizátorral meghatározható. Amennyiben az eredeti minta sósavas hidrolízise után

meghatározzuk az összes lizintartalmat, majd az összes lizinből levonjuk a DNB-lizintartalmat, megkapjuk a hasznosíthatatlan lizin mennyiségét a mintában. Az élelmiszerek és takarmánykeverékek összeállításánál mindig a hasznosítható lizintartalommal kell számolni, hisz az  $\varepsilon$ -aminocsoportján blokkolt lizin sem emberi, sem az állati szervezetben nem hasznosul. A hasznosítható lizintartalomban 10% csökkenés a fehérje jelentős hőkárosodására, valamint biológiai értékének nagymértékű csökkenésére utal.

*A hasznosítható lizintartalom meghatározása festékkötéses módszerrel.* A módszer lényege az, hogy meg kell határozni a lizintartalom azon mennyiségét, amely képes szabad aminocsoportja segítségével a festék megkötésére. A megkötött festék mennyisége egyenesen arányos a szabad aminocsoportok számával, ez pedig a hasznosítható lizintartalommal.

Az eljárás során a finomra őrölt mintából *A* vizsgálatnál a mintához Na-acetátot, ecetsavat és festékkoldatot adunk, majd egy órán keresztül rázógéppben rázatjuk. Ugyanehhez a mintához *B* vizsgálatnál Na-acetátot, ecetsavanhidridet adunk, rázatjuk, hozzáadjuk a festékkoldatot, majd ismételt rázatás következik. Az *A* minta esetében a fehérje hisztidin, arginin és szabad  $\varepsilon$ -aminocsoportú lizinje, a *B* esetben pedig a lizin szabad  $\varepsilon$ -aminocsoportjának ecetsavanhidriddel való blokkolása után a hiszti-



3.57. ábra. A bázikus aminosav oldalláncok festékkötése

din és az arginin köti meg a festéket. A meg nem kötött festékoldat koncentrációját mindkét esetben 475 nm hullámhossznál spektrofotométeren mérjük, az eredményt kalibrációs görbe segítségével számítjuk.

A festékmegkötő lizintartalmat megkapjuk, ha az összes bázikus aminosav festékmegkötő kapacitásából levonjuk a lizin acetilezéssel való blokkolása után a hisztidin és az arginin festékkötő kapacitását. A festékkötés mechanizmusát a 3.57. ábra mutatja.

A módszer pontos leírása meghaladja a könyv kereteit.

#### *3.6.6.4. Egyéb módszerek a fehérje minőségének meghatározására*

**Az állati eredetű fehérjetakarmányok keratintartalmának meghatározása.** A módszer alkalmas takarmányok, elsősorban húslisztek toll-liszt-tartalmának meghatározására. Az eljárás során a toll-liszt és a húsliszt aminosav-összetételében fennálló különbségeket kihasználva, a húsliszthez hozzákevert vagy a technológiai hiányosságok folytán a húsliszthez jutott keratinfehérje mennyiségét határozzuk meg. A cisztintartalom alapján 3–4%, az aminosavakból szerkesztett indexek alapján 2–3% toll-liszt húsliszthez való hozzákeverése kimutatható. A meghatározás a különböző komponensek eltérő aminosav-összetételén alapszik, ezért a vizsgálati eljárás során az aminosav-analízissel kapcsolatos tudnivalókat ismételtelen már nem közöljük.

A vizsgált minták aminosav-összetételét 6M-os sósavas hidrolízis után (110 °C, 24 óra) automatikus aminosav-analízátorral határozzuk meg. A tiszta toll- és a tiszta húsminták aminosav-összetételét vizsgálva megállapítható, hogy a toll cisztintartalma átlagosan 11–12-szer, szerintartalma háromszor nagyobb, mint a húsé, ezzel ellentétben a hús metionintartalma hétszer, lizintartalma 7–8-szor, hisztidintartalma pedig négyszer nagyobb, mint a tollé. A fentiek alapján 3–4% toll-liszt húsliszthez keverése a cisztintartalom alapján kimutatható. Ha az aminosavakból képzünk egy olyan indexet, ahol a tollban lényegesen nagyobb koncentrációban előforduló cisztin és szerin a számlálóban, a húsban lényegesen nagyobb koncentrációban előforduló lizin, hisztidin és metionin pedig a nevezőben található, ennek az indexnek a segítségével 2% toll-liszt húsliszthez keverése kimutatható.

Amennyiben a húsliszthez hozzákevert toll-liszt százalékának függvényében ábrázoljuk az indexeket, akkor egy ismeretlen minta toll-liszt-tartalma mennyiségileg is meghatározható. Az előzőekben említett index

ugyanis tiszta marhahústra 1,2, 2% toll-lisztet tartalmazó marhahústra 1,5, 5% toll-lisztet tartalmazó marhahústra 2,0, 10% toll-lisztet tartalmazó marhahústra 3,2, 20% toll-lisztet tartalmazó marhahústra 6,6, 50% toll-lisztet tartalmazó marhahústra 61,1, a 100% tollnál pedig 3100 körül van. A módszer alkalmazásával az 5%-nál nagyobb mennyiségű toll-liszt húsliszthez keverése nagy biztonsággal kimutatható, ami a gyakorlat szempontjából tökéletesen megfelel, hisz 5%-nál kevesebb toll-lisztet hamisítás céljából nincs értelme a húsliszthez hozzákeverni.

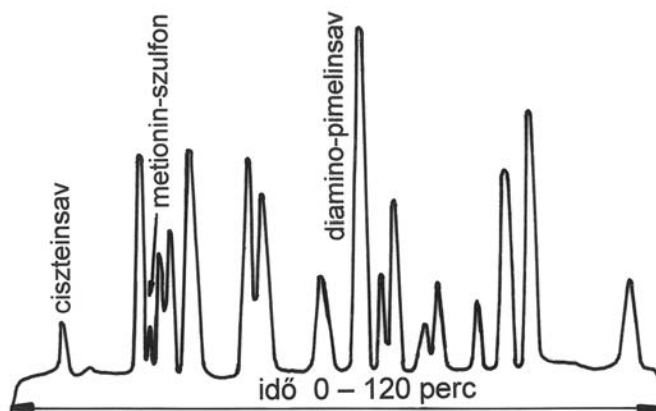
### **A bakteriális eredetű fehérje mennyiségének meghatározása.**

A módszer alkalmas élelmiszerek és takarmányok bakteriális eredetű fehérjetartalmának meghatározására. A diamino-pimelinsav, valamint a D-alanin (D-Ala), a D-glutaminsav (D-Glu) és a D-aszparaginsav (D-Asp) kizárólag a baktériumok sejtfalában lévő peptidoglikánokban fordul elő. Annak ellenére, hogy a DAPA és a három D-aminosav mennyisége a sejtfalban a baktériumfajtól erőteljesen függ, a DAPA és a D-aminosavak részaránya a baktériumfehérjén belül (állandó takarmányozási feltételek mellett) nem változik, ezért ezek a markerek jól használhatók a bakteriális eredetű fehérje becslésére.

*A diamino-pimelinsav-tartalom alapján.* A diamino-pimelinsav a metionin és az izoleucin között jelenik meg a kromatogramon, ezért a kéntartalmú aminosav oxidációját követően a 6M-os sósavas hidrolízis után határozzuk meg a DAPA-t ioncserés oszlopkromatográfiával, aminosav-analizátor segítségével. A metionin oxidációját követően az igen kis koncentrációban jelen lévő DAPA meghatározására is lehetőség nyílik, hisz a metionin oxidációjával szabaddá válik a valin és az izoleucin közti terület, így a szomszédos aminosavak nem zavarják a kimutathatóság határán lévő DAPA meghatározását. A fentiek miatt a DAPA meghatározása előtt a mintát perhangyasavval oxidáljuk az alábbiak szerint: 10 cm<sup>3</sup>-es ampullába mintegy 10 mg fehérjét tartalmazó légszáraz mintát mérünk be, 0,1 mg-os pontossággal. A perhangyasavas oxidációt és a sósavas hidrolízist az aminosav-analízisnél leírtak szerint végezzük. A DAPA-tartalmat a komplett aminosav-analízisnek megfelelő körülmények között határozzuk meg, aminek során figyelemmel kell lenni a DAPA és az izoleucin tökéletes szétválására. A kromatogramot a 3.58. ábra mutatja.

A DAPA-csúcsot az aminosav-analízisnél leírtak szerint értékeljük, az eredményt tömeg%-ban adjuk meg. Mivel a tiszta baktériumfehérje DAPA-tartalma 0,8–1,2% között van, nagyszámú mérés alapján átlago-





**3.58. ábra.** A diamino-pimelinsav mennyiségének meghatározása ioncserés oszlopkromatográfiával, perhangyasavas oxidáció után

san 1,0%, a bakteriális eredetű fehérjetartalmat tömeg%-ban az alábbi képlet alapján számíthatjuk:

$$\text{bakteriális eredetű fehérjetartalom \%} = \text{DAPA-tartalom \%} \cdot 100.$$

Tehát ha egy ismeretlen minta tömeg%-ban kifejezett DAPA-tartalmát 100-as „konverziós faktoral” megszorozzuk, akkor a minta összesfehérje-tartalmán belül megkapjuk a baktériumok által szintetizált fehérjetartalmat.

*A D-aminosav-tartalom alapján.* A diamino-pimelinsav-tartalom mellett a D-alanin, a D-glutaminsav és a D-aszparaginsav is csak a baktériumok sejtfalában lévő peptidoglikánokban fordul elő, ezért alkalmas módszerrel mérve ezek is jól használhatók markerként a bakteriális eredetű fehérje kimutatására, illetve mennyiségi meghatározására. Az analitikai meghatározás szempontjából tekintve a D-aminosavak közül a D-aszparaginsav és a D-glutaminsav meghatározása lényegesen könnyebb, hisz a nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiás meghatározás során e két aminosav enantiomerjei közvetlenül a kromatogram elején jelennek meg, ezért ezek elválasztását és meghatározását semmi sem zavarja. Ezzel szemben az alanin a kromatogram közepén jelenik meg, és enantiomerjeinek szétválasztása és meghatározása lényegesen nehezebb, mint a másik két aminosavé.

Mérések szerint a bendőbaktériumok által szintetizált fehérje D-aszparaginsav-tartalma 0,74%, D-glutaminsav-tartalma pedig 0,99%. Ezekből az adatokból olyan szorzófaktorok képezhetők, amelyeknek segítségével a baktériumok által szintetizált fehérje mennyisége meghatározható. Ezek a szorzófaktorok az D-aszparaginsav esetében  $100/0,74 = 135$ , a D-glutaminsav esetében  $100/0,99 = 101$ . Ebből következik tehát, hogy ha egy ismeretlen élelmiszer- vagy takarmányminta D-aszparaginsav-tartalmát 135-tel, D-glutaminsav-tartalmát 101-gyel megszorozzuk, akkor megkapjuk a baktériumok által szintetizált fehérje mennyiségét.

### **Speciális kromatográfiai módszerek az egyes aminosavak meghatározására.**

*Rövidített lizin- és metionin-meghatározás.* Élelmiszerek és takarmányok két legfontosabb esszenciális aminosava a metionin és a lizin. E két aminosav gyors meghatározására, nagyszámú takarmány és élelmiszer tesztelésére olyan kromatográfiai módszert dolgoztak ki, amelynek segítségével a metionin és a lizin a többi aminosavtól jól elválasztható, pontosan meghatározható. Az aminosavak IEC-s meghatározásánál alkalmazott ioncserélő műgyanta oszlop méretének csökkentésével, valamint az alkalmazott pufferek pH-jának és nátriumion-koncentrációjának megváltoztatásával elérték, hogy a savas aminosavak a metionin előtti semleges aminosavakkal összemosódva jelennek meg a kromatogramon. Ezeket a metionin jól szeparálódott csúcsa követi. Ezt követően a metionin és a lizin közötti aminosavak ismét egymásba mosódnak, majd a lizin jól elváló, éles csúcs formájában jelenik meg. A lizin utáni aminosavakat az oszlopról NaOH-dal lemossák, majd az oszlop egyensúlyozás után a metionin és a lizin meghatározása folytatható. E módszerrel az aminosav-analízis idejét e két aminosavra mintegy negyedére tudjuk csökkenteni a módszer pontosságának csorbítása nélkül.

*Triptofántartalom meghatározás IEC-vel, rövid oszlopon.* Amint korábban említettük, a triptofán indolcsoportja savas körülmények között gyakorlatilag teljesen elbomlik, ezért a fehérje triptofántartalmát csak bázikus hidrolízist követően lehet meghatározni. A hidrolizátum triptofántartalmának meghatározására kidolgoztak egy gyors módszert, amelynek lényege egy rövid ioncserélő oszlop, valamint viszonylag magas pH-jú és nátriumion-koncentrációjú puffer. Ilyen kromatográfiai körülmények között az összes fehérjeépítő aminosav összemosódik. Ezeket a többi aminosavtól jól elválóan követi a triptofán, amely így ion-

cserés oszlopkromatográfiával meghatározható. E módszerrel a vizsgálat idejét töredékére lehet csökkenteni.

Az előző két módszeren túl megoldást dolgoztak ki különböző anyagcsere-betegségek gyors diagnosztizálására, amelynek során csak a fenil-alanin-tartalmat vagy a leucin- és valintartalmat határozták meg vérszérumból.

*A masztitiszes tőgyből származó tej kimutatása a szabad D-aminosav-tartalom alapján.* Az egészséges tej nem tartalmaz szabad D-aminosavakat, míg tőgygyulladás hatására megnő a tej szabad D-aszparaginsav-, D-glutaminsav- és D-alanin-koncentrációja, és ezen D-aminosavak mellett nyomokban még D-allo-izoleucint, D-prolint, D-valint, D-leucint és D-lizint is ki lehet mutatni a gyulladással tőgyből származó tejből. A szabad D-aminosavak mennyiségének meghatározásával az egészséges tőgyből származó tejhez hozzáfejt, kóros tőgyből származó tej kimutatható, részaránya becsülhető. A D-aminosavakon túl a tej összes szabadaminosav-tartalma is lényegesen megnő tőgygyulladás hatására.

A módszer a tej szabadaminosav- és szabad D-aminosav-tartalmának meghatározásán alapul. A szabad aminosavakat IEC-vel, a szabad D-aminosavat pedig HPLC-vel határozzuk meg. Az eljárás során a tejmintákat a mintavétel után jeges vízben hűtjük, majd két órán belül mélyhűtőbe ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) rakjuk, s ott tároljuk az analízisre való előkészítésig. A tejmintákat felolvasztás és  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra való felmelegítés után  $5000\text{ g-n }30$  percig centrifugáljuk, amelynek során egyrészt eltávolítjuk a tej alakos elemeit, amelyek leülepednek a centrifugacső aljára, másrészt elvégezzük a tej zsírtalanítását is. Ezt követően  $50\text{ cm}^3$  mintához  $50\text{ cm}^3$  25%-os triklórecetsavat adunk, majd  $20$  perc állás után a kivált csapadékot  $10\ 000\text{ g-n }30$  percig centrifugáljuk. A kapott felülúszó pH-ját az összes szabad aminosav meghatározása esetén  $4\text{M NaOH}$ -dal  $\text{pH}=2,2$ -re, a D-aminosavak meghatározáskor pedig  $\text{pH}=7$ -re állítjuk be. Az így kapott oldatokat liofilezővel,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os tálcáfűtést alkalmazva beszárítjuk, majd az összes szabad aminosav-meghatározáskor a beszárított anyagot  $10\text{ cm}^3$   $\text{pH}=2,2$ -es citrátpufferben, a szabad D-aminosav-meghatározáskor pedig  $1\text{ cm}^3$  bidesztillált vízben oldjuk fel. Az így előkészített mintákat  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tároljuk az analízisek megkezdéséig.

A masztiteszt-próba magasabb fokozataiban a szabad aminosav mennyisége jelentős mértékben megnő. A +-es minősítésű tej kétszer, a ++-es 3,5-szer, a +++ és ++++-es minősítésű pedig 5–5,5-szer több szabad aminosavat tartalmaz, mint a normális, masztiteszt-próba alapján negatívnak mért tej. A masztiteszt-próba alapján negatívnak tekintett

minták nem tartalmaznak szabad D-aminosavat. A pozitív minősítésű tejmintákban a D-aszparaginsav, D-glutaminsav és a D-alanin mellett megjelenik a D-valin, a D-allo-izo-leucin, a D-leucin és a D-lizin is. A ++, +++ és ++++ mintákból még további két aminosavat, a D-szerint és a D-prolint is ki lehet mutatni. A szabad aminosav és a szabad D-aminosavak mennyisége az egészséges és a masztiteszt próba alapján kórosnak minősített tejekben a 3.8. táblázatban látható.

**3.8. táblázat.** A tőgygyulladás súlyossága és a szabad D-aminosavak mennyisége közötti összefüggés

| Szabad aminosavak<br>összege<br>(mg/100 cm <sup>3</sup> )      | Vizsgált csoportok<br>a masztiteszt-próba alapján |       |        |        |      |
|--|---|-------|--------|--------|------|
|  | negatív   | +     | ++     | +++    | ++++ |
|  | 3,387   | 8,744 | 12,614 | 17,569 | 18,3 |
| Szabad D-aminosavak<br>mennyisége<br>(mg/100 cm <sup>3</sup> ) | Vizsgált csoportok<br>a masztiteszt-próba alapján |       |        |        |      |
|  | negatív   | +     | ++     | +++    | ++++ |
| D-Asp  | –   | 0,17  | 0,23   | 0,32   | 0,32 |
| D-Ser  | –   | –     | 0,02   | 0,04   | 0,04 |
| D-Glu  | –   | 0,74  | 0,99   | 1,48   | 1,53 |
| D-Pro  | –   | –     | 0,04   | 0,09   | 0,10 |
| D-Ala  | –   | 0,48  | 1,13   | 2,32   | 2,41 |
| D-Val  | –   | 0,08  | 0,09   | 0,09   | 0,12 |
| D-allo-Ile   | –   | 0,08  | 0,10   | 0,12   | 0,15 |
| D-Leu  | –   | 0,06  | 0,12   | 0,17   | 0,17 |
| D-Lys  | –   | 0,11  | 0,27   | 0,36   | 0,37 |
| Szabad D-aminosavak<br>összege                                 | –   | 1,72  | 2,99   | 4,99   | 5,21 |

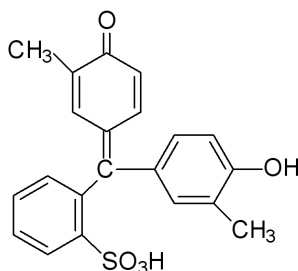
A szabad D-aminosav-tartalom alapján el lehet dönteni, hogy a vizsgált elegytej tartalmaz-e kóros tőgyből származó tejet, ha ugyanis az elegytejből ki lehet mutatni D-aminosavat, akkor az elegytej biztosan tartalmaz kóros tőgyből származó tejet is. Amennyiben a vizsgált tejminta szabad D-aminosav-összegét (vagy külön-külön az egyes aminosavat) összehasonlítjuk a masztiteszt-próba különböző fokozatainál

kapott értékekkel, akkor az eltérő összetételű tej mennyiségének becslésére is lehetőség nyílik.

### 3.6.6.5. A szója hőkezelttségének megállapítása krezolvörös festékkötési próbával

A módszer alkalmas a szója hőkezelttségi fokának megállapítására, mert a szójaminták és a krezolvörös közötti reakció intenzitása szoros kapcsolatban van a *Maillard*-reakcióban részt vevő vegyületekkel, a fehérjék szabad  $\varepsilon$ -aminocsoportot tartalmazó lizinjével és a redukáló cukrokkal. A nem redukáló cukrok glikozidos hidroxil-csoportjának aminolízise révén redukáló csoport alakulhat ki, és a *Maillard*-reakció termékei megkötik a krezolvörös festékeket. A festékmegkötés mértékéből a szója hőkezelttségi fokára lehet következtetni. A krezolvörös kémiai szerkezetét tekintve o-krezol-szulfoftalein (3.59. ábra), egy olyan festék, amely:

- pH = 1,2-ig vörös,
- pH = 2,8–7,4 között sárga,
- pH = 9,0 vagy fölötte bíbor színű.



3.59. ábra. A krezolvörös indikátor ( $C_{22}H_{18}O_5S$ ; o-krezol-szulfoftalein)

A vizsgálati eljárás során 400 mg mintát mérünk a 100 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer*-lombikba, és 50 cm<sup>3</sup> n-hexanollal hidegen extraháljuk. Rázás, dekantálás, majd a hexanos fázis elöntése után 200 mg zsírtalanított mintát mérünk be a meghatározáshoz egy 100 cm<sup>3</sup>-es csiszolt dugós *Erlenmeyer*-lombikba. Hozzáadunk 10 cm<sup>3</sup> frissen előállított krezolvörös reagenst, mely egy rész alkoholos krezolvörös oldatból, valamint 9 rész 0,1 mólos sósavból áll. Egy órán át rázógépen rázatjuk, majd centrifugáljuk. Egy cm<sup>3</sup> felülúszóhoz 10 cm<sup>3</sup> 0,02 mólos nátrium-hidroxid-oldatot adunk, és 570 nm-en fotométerljük. Mintavakot készítünk, amely a fes-

ték nélkül az összes többi reagenst tartalmazza, majd a fotométert a festék nélküli reagensre állítjuk be. Standardsorozatot készítünk, amely 0,25, 0,50 és 1,0 cm<sup>3</sup> krezolvörös reagensből és 0,2 mólos nátrium-hidroxid-oldatból áll. Meghatározzuk a standardsorozat fényelnyelését 570 nm-en, az abszorbanciát a koncentráció függvényében ábrázoljuk, és a kapott hitelesítőegyenest használjuk fel az ismeretlen minta krezolvörös-tartalmának meghatározására.

Az eredményeket az 1 g szójaliszt által megkötött festék mg-jainak mennyiségében adjuk meg. Az 1 g liszt által megkötött krezolvörös mennyiségét a következő képlet alapján kapjuk meg:

$$x = (2,0 - 10 \cdot A) \cdot 2,5,$$

ahol:  $x$  = az 1 g szójaliszt által megkötött festék (mg),

$A$  = az oldatban mért krezolvörös mennyisége.

A különböző módon hőkezelt szójaminták krezolvörös megkötése a következő:

|                    | mg krezolvörös/g liszt |
|--------------------|------------------------|
| jól hőkezelt szója | 3,8–4,3                |
| nyers szója        | 2,0–3,0                |
| alulkezelt szója   | 3,3–3,7                |
| túlkezelt szója    | 4,3 felett             |

A zsírtalanított minta esetén az eredményt a zsírtartalommal korrigálni kell. Azonos mintából a két párhuzamos mérés között a megengedett eltérés az eredmény 10%-a.

### 3.6.6.6. A karbamidtartalom meghatározása

Élelmiszerek, takarmányok és takarmánykiegészítők karbamidtartalmának meghatározása során a minta vizes kivonatához 4-dimetil-amino-benzaldehid-oldatot adunk, s a kialakuló sárga szín intenzitását spektrofotométeren, 440 nm hullámhosszon mérjük.

A vizsgált eljárás során elsőként karbamidkalibrációs sort készítünk. Lemérünk 1 g karbamidot 0,2 mg pontossággal, kb. 200 cm<sup>3</sup> vízben feloldjuk, és 500 cm<sup>3</sup>-es normál lombikba töltjük, összerázzuk és desztillált vízzel jelre állítjuk. A karbamid törzsoldatból 2, 4, 6, 8, 10, 12 cm<sup>3</sup>-t mérünk 100 cm<sup>3</sup>-es normál lombikokba, desztillált vízzel jelre töltjük, elegyítjük. E kalibrálóoldatok 5 cm<sup>3</sup>-re 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 és 1,2 mg karbamidot tartalmaznak. A minta vizes kivonatának elkészítésekor lemérünk

2 g vizsgált anyagot 0,1 mg pontossággal, ha a várható karbamidtartalom 3% alatti, valamint 1 g vizsgált anyagot, ha a várható karbamidtartalom 3% felett van. 500 cm<sup>3</sup>-es *Stohmann*-lombikba helyezzük, hozzáadunk 1 g aktív szenet, 250 cm<sup>3</sup> desztillált vizet, 5 cm<sup>3</sup> cink-acetát- és 5 cm<sup>3</sup> kálium-[hexaciano-ferrát(II)]-oldatot. Rázógépen 30 percig rázatjuk, majd desztillált vízzel jelig töltjük, elegyítjük. Ülepedés után szűrjük, a várható karbamidtartalom függvényében a szűrletet hígítjuk úgy, hogy a vizes kivonat 100 cm<sup>3</sup>-re 10–20 mg karbamidot tartalmazzon.

A karbamidtartalom mérése során csiszolt dugós kémcsövekbe 5–5 cm<sup>3</sup>-t pipettázunk a karbamidkalibrációs sorból, a minta vizes kivonatának szűrletéből, valamint a vakmintából, hozzáadunk 5 cm<sup>3</sup> 4-dimetil-amino-benzaldehid-oldatot. Alaposan összerázzuk, 10 percig állni hagyjuk, utána 440 nm hullámhosszon mérjük az abszorbanciát. Vakmintaként olyan oldatot használunk, amely a minta kivételével valamennyi felhasznált vegyszert tartalmazza. A karbamidtartalmat ( $K$ ) a következő képlettel számoljuk, és tömegszázalékban fejezzük ki:

$$K = \frac{E_M}{E_K \cdot m},$$

ahol:  $E_M$  = a minta vizes kivonatának abszorbanciája,

$E_K$  = a 0,1 mg karbamidra számított átlagos abszorbanciaérték, amely a kalibrációs sor abszorbanciájának 2, 4, 6, 8, 10 és 12-vel való osztásával kapott hányadosok számtani középértéke,

$m$  = a vizsgált bemért minta tömege (g).

A karbamidtartalmat két, párhuzamos meghatározás középértékeként, egytizedes pontosságra adjuk meg; a meghatározás során a megengedett legnagyobb eltérés az eredmény 5%-a.

### 3.7. Az aminosavak, a peptidek és fehérjék összefoglalása

Az élővilágban található sokmillió fehérje mindössze húszféle aminosavból épül fel. Ezek a prolin kivételével közös szerkezeti alapelemet tartalmaznak, az  $\alpha$ -szénatomhoz kapcsolódó amino- és karboxilcsoportot, és az  $\alpha$ -szénatomhoz kapcsolódik az a rész is, amely az aminosavakat megkülönbözteti. Ez az R-csoport lehet apoláros, poláros, savas vagy

bázikus. Az aminosavak a glicin kivételével optikailag aktív vegyületek. Néhány bakteriális eredetűtől eltekintve mind L-konfigurációjúak. Az anyagcsere-folyamatokban keletkezik néhány nem fehérjealkotó aminosav is, és a különféle folyamatok során  $\beta$ -,  $\gamma$ -, és  $\delta$ -aminosavak is szerephez jutnak. Semleges közegben az aminosavak kettős jelleműek, mert mind amino-, mind karboxilcsoportjuk disszociál. Az aromás aminosavak abszorbeálják az ultraibolya fényt, és így a fehérjék mennyiségét spektrofotometriásan meg lehet határozni. Több aminosav  $\alpha$ -karboxil- és  $\alpha$ -aminocsoportjai kondenzáció útján összekapcsolódva polipeptidláncot hoznak létre. A peptidkötés merev, a peptidláncon belül elfordulásra csak az  $\alpha$ -szénatomok körül van lehetőség. A természetben nagyszámú, változatos funkciójú oligo- és polipeptid is előfordul. Ezek néhány aminosavtól 80–100 aminosavig kapcsolódhatnak egymáshoz. Funkciójuk szerint lehetnek antibiotikumok, hormonok, gombamérgek, proteínázinhibitorok és sok más biológiai hatású vegyület. A peptidek nagy része, konfigurációtól függetlenül (az édes L-aszparaginsav dipeptidek kivételével) keserű vagy semleges ízű.

A fehérjék minden biológiai folyamatban kulcsszerepet játszanak, mivel szinte nincs is olyan biológiai jelenség, amelyben enzimek ne vennének részt. A fehérjék a soksejtű szervezetekben a sejtek közötti kommunikációban és a sejten belüli, illetve kívüli anyagok szállításában vesznek részt. Aktívan közreműködnek a sejtek és szervezet sajátos morfológiai jellemzőinek kialakításában. Szabályzótevékenységük útján biztosítják a szervezet és a környezet közötti kapcsolat fenntartását. Speciálisan kialakított fehérjemolekulák teszik lehetővé az élőlények mozgását. Védő szerepet töltenek be a szervezeteket veszélyeztető károsodásokkal szemben.

A fehérjék sokféle funkciójának ellátását szerkezeti felépítésük rendkívüli változatossága teszi lehetővé. A húszféle aminosavból rendkívül sok aminosav-sorrend alakulhat ki. Tovább növeli a változatosságot, hogy a polipeptidláncok különféle anyagokkal is kapcsolódhatnak. A fehérjék megköthetnek ionokat, kisebb-nagyobb molekulákat, laza kapcsolatokat létesíthetnek lipidekkel, nukleinsavakkal, és kovalensen kötődnek a fehérjék szénhidrát részéhez. A fehérjék funkcionális sokoldalúsága egyrészt abból ered, hogy a húszféle aminosavból rendkívül változatos aminosav-sorrendek (elsődleges szerkezet) alakulhatnak ki, másrészt abból, hogy a polipeptidláncon belül periodikusan rendezett másodlagos szerkezet ( $\alpha$ -hélix,  $\beta$ -redő) és periodicitást nem mutató szakaszok váltakoznak. Ezek lehetővé teszik, hogy a polipeptidlánc összegombo-



lyodjék (harmadlagos szerkezet), és globuláris fehérjék jönnek létre. A polipeptidlánc-gombolyagok egymással asszociálhatnak, negyedleges szerkezetet létrehozva. A polipeptidláncok térben rendezett szerkezetét különféle nem kovalens és diszulfid (másodlagos kovalens) kötések stabilizálják. A háromdimenziós szerkezet kialakulása következtében az oldalláncok között olyan kölcsönhatások létesülhetnek, amelyek eredményeként a tulajdonságok módosulhatnak. A térszerkezet kialakulásához a polipeptidlánc számára nincs szükség extra információra, az az aminosav-sorrendből adódóan vizes közegben spontán kialakul.

Egy fehérje jellemzésénél megadjuk a molekulatömeget, oldhatóságát, izoelektromos, izoionos pontját, a poláros fény síkjának forgatását, fényabszorpcióját és kristályosodási hajlamát. A fehérjék kémiai reakciói és kapcsolódásai közül a legfontosabbak a csapadékképző- és színreakciók, a fehérje-víz és a fehérje-lipid kapcsolódások. A fehérje denaturációja lehet reverzibilis vagy irreverzibilis, előidézhetik fizikai módszerek, illetve kémiai anyagok. A funkcionális tulajdonságok közül a leglényegesebbek a hidratációs tulajdonságok, az oldhatóság, a viszkozitás, a géllé képződés, a texturálás, az emulgeálóképesség és a habképző tulajdonságok.

Kémiai összetételük alapján egyszerű, illetve összetett fehérjéket különböztethetünk meg. Az egyszerű fehérjék lehetnek protaminok, hisztonok, albuminok, globulinok, prolaminok, glutelinek, vázfehérjék, az összetett fehérjék pedig prosztetikus csoportjuk alapján lehetnek foszfoproteinek, mukoproteinek, kromoproteinek, nukleoproteinek és lipoproteinek. A fontosabb természetes fehérjék közé tartoznak az izomfehérjék, a plazmafehérjék, a légzőfehérjék, a tejfehérjék, a tojásfehérje és -sárgája fehérjéi, a vázfehérjék és a különféle növényi fehérjék.

Az élelmiszer-fehérjék feldolgozása és tárolása során bekövetkező átalakulások közül a legjelentősebb a denaturálódás, a különféle fehérje-fehérje kapcsolódások, az oxidáció a szénhidrátokkal, a nem enzimés barnulás, a dehidroalanin és rajta keresztül a lizinoalanin keletkezése, valamint a fehérjék-lipidek, -polifenolok és -fitinsav bekapcsolódások.

Élelmiszerek fehérjetartalmát a *Dumas*-féle égetéses és a *Kjeldahl*-féle kénsavas roncsolásos módszerrel lehet meghatározni. Ez utóbbi módszer elvén alapszik a *Kjel*-*Foss* automatikus nitrogénmeghatározó működése. A nyersfehérje-tartalmon túl meghatározzuk még az emészthető nyersfehérje- és a valódifehérje-tartalmat, és lehetőség van a fehérje *in vitro* emészthetőségének és a fehérje hőkezeltségi fokának meghatározására is. A fehérje aminosav-összetétele ioncserés oszlopkromatográfi-

ával és nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával is meghatározható. Mód van az egyes aminosavak fotometriás mérésére, és meg lehet határozni az esszenciális aminosavak hasznosítható mennyiségét is.

Az aminosav enantiomerek szétválasztása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával végezhető el. A D-aminosav-tartalom alapján a baktériumok által szintetizált fehérje mennyiségére és a masztitiszes tőgyből származó tej részarányára lehet következtetni.

## A LIPIDEK

A lipidek közé sokfajta, igen változatos felépítésű anyag tartozik. Közös bennük az, hogy vízben nem, csak apoláros oldószerekben (petroléter, kloroform, éter, benzol) oldódnak. Ezekkel a különböző szövetekből extrahálhatók. A szervezetben betöltött funkcióik alapján az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- raktározott üzemanyagok,
- a fehérjékkel közösen membránok alkotórészei,
- a sejtmembrán borító védőanyaga,
- bioaktív vegyületek (amelyek kis mennyiségben is jelentékeny hatást fejtenek ki).

A klasszikus kémiai csoportosítás szerint két nagyobb csoportra oszthatjuk a lipideket:

Lúggal főzve az *elszappanosítható lipidek* több komponensre hidrolizálnak. A hidrolízis termékeként zsírsavak és más komponensek szabadulnak fel.

Az *el nem szappanosítható lipidek* lúg hatására nem hidrolizálnak, ide tartoznak többek között a terpének, a szteroidok és a prosztaciklinek.

A lipidek egyéb anyagokkal kapcsolódva lipoproteineket, proteolipideket, foszfatidopeptideket, lipoaminosavakat, glikolipideket vagy liposzacharidokat hoznak létre. A köznapi értelemben vett zsírok (olajok) zömmel glicerin-zsírsav észterek, táplálkozási jelentőségük nagy energia- (39 kJ/g), esszenciáliszsírsav- és zsíroldható vitamintartalmukban van. Speciális tulajdonságaik (olvadás, kenhetőség, zsíros-olajos íz, oldhatóság, illatanyagok) révén az élelmiszer-előállítás fontos komponensei. Segítségükkel jellegzetes konzisztencia, aroma, aroma-visszatartó képesség és zamaterzet alakítható ki.

## 4.1. A zsírsavak

A természetes zsiradékok hidrolízisével alifás monokarbonsavak keletkeznek, amelyek a szénlánc hossza, a kettős kötések száma és helye, valamint konfigurációja és a funkciós csoportok szerint csoportosíthatók. A legismertebb zsírsavaknak triviális nevük is használatos, a szerkezetükre utaló kémiai név azonban egyre gyakoribb a szakirodalomban. A linolsav (9,12-oktadekadiénsav) jelölése 18 : 2 (9,12), ami utal a szénatomszámra (18), valamint a kettős kötések számára (2) és helyére (9,12). A zsírsavak kettős kötései legtöbbször cisz konfigurációjúak, amennyiben a térbeli elhelyezkedés transz, „tr” jellel különböztetjük meg.

### 4.1.1. Telített és telítetlen zsírsavak

A zsírsavak szabad állapotban a sejtekben, a szövetekben csak kis mennyiségben fordulnak elő, az elszappanosítható lipidek (neutrális zsírok, foszfolipidek, foszfolipidek, koleszterolészterek, viaszok) fő alkotórészei. A zsírokban tömegesen csak néhány zsírsav fordul elő, bár a természetes vegyületekben eddig több mint hetvenféle különböző zsírsavat mutattak ki.

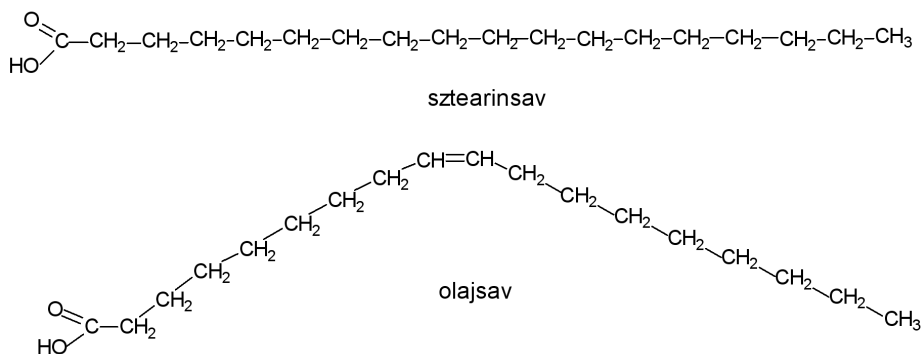
A telített zsírsavak általános képlete  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$  vagy  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ . Egy karboxilcsoportot tartalmaznak, amihez hosszabb-rövidebb, nem elágazó, telített szénhidrogénlánc kapcsolódik. A telítetlen zsírsavak szénhidrogén része egy vagy több kettős kötetést tartalmaz. A leggyakrabban előforduló zsírsavakat a 4.1. táblázat mutatja be.

A természetben előforduló zsírsavak rendszerint páros számú szénatomot tartalmaznak. A szénatomszám általában 14–22 között változik, de az anyatej és különösen a kérődzők tejzsírjában vannak rövidebb láncú  $\text{C}_{4-10}$  zsírsavak is. Ha a 18 szénatomos zsírsavban egy kettős kötés van, az a  $\text{C}^9-\text{C}^{10}$  szénatomok között helyezkedik el; jelölésük  $n^9$ . Az egynél több kettős kötetést általában egy vagy néhány  $\text{CH}_2$ -csoport választja el egymástól. A kettős kötések nem konjugáltak. Az állati és az emberi szervezetben az  $n^9$  helyzetűhöz képest három szénatommal távolabb alakulhat ki kettős kötés. Növényekben is a  $\text{C}^9$ -hez viszonyítva három szénatomonként alakulnak ki kettős kötések, amelynek következtében többszörösen telítetlen zsírsavak jönnek létre. A telítetlen zsírsavak közül a linolsav és az arachidonsav az ember és az állatok számára esszenciális. A linolénsavat félig esszenciális zsírsavnak tekintjük, mert a szervezet linolsavból elő tudja állítani.

**4.1. táblázat.** A lipidekben leggyakrabban előforduló zsírsavak

| Név és képlet  | C-atomszám                | Olvadáspont, °C |
|--|---------------------------|-----------------|
| <u>Telített zsírsavak</u>  |                           |                 |
| Laurinsav  |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$   | 12                        | 44              |
| Mirisztinsav   |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$   | 14                        | 54              |
| Palmitinsav  |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$   | 16                        | 63              |
| Sztearinsav  |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$   | 18                        | 70              |
| Arachidinsav   |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$   | 20                        | 77              |
| Lignocerinsav  |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$   | 24                        | 86              |
| <u>Telítetlen zsírsavak</u>  |                           |                 |
| Palmitoleinsav   |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$   | 16 n <sup>9</sup>         | -0,5            |
| Olajsav  |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$   | 18 n <sup>9</sup>         | 13              |
| Linolsav   |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$   | 18 n <sup>9,12</sup>      | -5              |
| Linolénsav   |                           |                 |
| $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$                              | 18 n <sup>9,12,15</sup>   | -11             |
| Arachidonsav   |                           |                 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$ | 20 n <sup>5,8,11,14</sup> | -49,5           |

Az állati szervezetben a C<sub>16</sub> és a C<sub>18</sub> zsírsavak fordulnak elő legnagyobb mennyiségben. A zsírok olvadáspontja a szénlánc hosszától, valamint a telített és telítetlen zsírsavak arányától függ. Minél nagyobb a telített zsírsavak aránya, annál magasabb a zsír olvadáspontja, minél több telítetlen zsírsavat tartalmaz a zsír, annál alacsonyabb hőmérsékle-



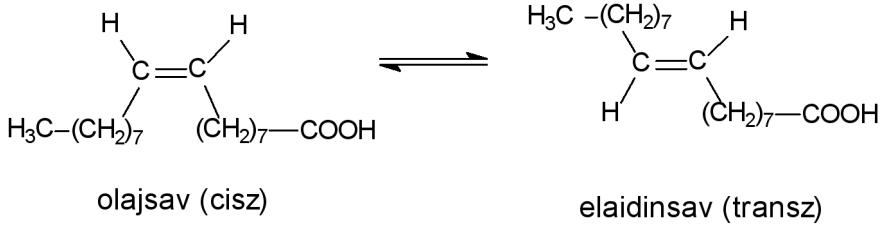
4.1. ábra. A sztearinsav és az olajsav

ten dermed meg. Az alacsony hőmérséklethez alkalmazkodott, valamint a változó testhőmérsékletű állatok zsírjában a telítetlen zsírsavak aránya nagyobb a telítettekénél. A telítetlen zsírsavak közül magasabb rendű szervezetekben legnagyobb mennyiségben az olajsav, a linsav, a lino-  
lénsav és az arachidonsav fordul elő. A sztearinsav és az olajsav képletét a 4.1. ábra mutatja.

A telítetlen kötés jelenléte megváltoztatja a zsírsavlánc térbeli szerkezetét. Míg a telített láncban a kötések mozgékonyasága folytán végtelen számú konfiguráció alakulhat ki (termodinamikai okok következtében azonban legvalószínűbb a lánc nyújtott konfigurációja, mert ennek a szabadenergiája a legkisebb), a kettős kötés korlátozza a két szomszédos szénatom forgását és helyén a lánc meghajlik. A kettős kötés transz konfigurációja nem befolyásolja lényegesen a lánc lefutását, csak a cisz konfiguráció okoz meghajlást. A kettős kötés kialakulásával lehetőség van sztereoiszomériára is. Az egy telítetlen kötetet tartalmazó C<sub>18</sub> zsírsavnak két izomerje van, az olajsav és az elaidinsav (4.2. ábra).

A természetes zsírsavakban a cisz konfiguráció a labilisabb (a kettős kötésnél a lánc kb. 30 °-ban meghajlik), a stabilabb transz alak konfigurációja viszont megegyezik a telítettével.

A telített zsírsavak közül a természetes zsírsavakban legelterjedtebb a mirisztinsav, a palmitinsav és a sztearinsav. A 14 szénatomszámnál kisebb zsírsavak leginkább a tej-, a kókusz- és a pálmamagzsírokban fordulnak elő. A telített zsírsavak szabad formában csak kis mennyiségben találhatók az élelmiszerekben. Jelentőségük az aromaanyagok kialakításában van, hisz vizes közegben az illatküszöbük 1–10 mg/kg közötti.



4.2. ábra. Az olajsav és az elaidinsav

Az illat erőssége függ a rendszer pH-jától, hisz csak a nem disszociált molekula ad illathatást. A 12 szénatomszámnál nagyobb zsírsavak íztelenek.

Páratlan szénatomszámú zsírsavak csak nyomnyi mennyiségben fordulnak elő az élelmiszerekben, amire magyarázattal szolgál a zsírok bioszintézise, hisz a bioszintézis alapvegyülete a két szénatomos aktivált ecetsav. A tejszírban a 15 szénatomos pentadekánsav és a 17 szénatomos heptadekánsav fordul elő. Elágazó láncú zsírsavak ugyancsak nagyon ritkák az élelmiszerekben.

A telítetlen zsírsavak a természetes zsiradékokban egy, két vagy három kettős kötést tartalmaznak. Attól függően, hogy a metilcsoport felől számítva hányadik szénatomon kezdődik az első kettős kötés,  $\omega$ 9-,  $\omega$ 6- és  $\omega$ 3-zsírsavcsaládok különböztethetők meg. A telítetlen zsírsavak közül egészségre káros a káposztafélék, pl. repce olajában megtalálható erukasav. Az arachidonsav az állati eredetű élelmiszerekben (hús, máj, sertészsír), a hexadekatriénsav a repcelevélben és az alacsonyabb rendű növényekben található. Az öt és hat kettős kötést tartalmazó  $\text{C}_{20}$  és  $\text{C}_{22}$  zsírsavak a halolajokban fordulnak elő. A linolsavat és a többi,  $\omega$ 6-családhoz tartozó zsírsavat az emberi szervezet nem tudja szintetizálni, ezért ezeket esszenciális zsírsavaknak hívjuk, amelyek nélkülözhetetlenek pl. a membránok felépítésénél. A dién-, a trién- és a tetraén-zsírsavak magzsírokban fordulnak elő, amelyeknek az emberi táplálkozásban nincs különösebb jelentőségük.

A linolsavak egy részében a kettős kötések konjugáltak. A konjugált linolsav (KLS) megnevezés azon szerkezeti és geometriai linolsav-izomerek gyűjtőneve, amelyek a linolsavval szemben nem izolált, hanem konjugált helyzetben tartalmaznak két kettős kötést (4.3. ábra).



**4.3. ábra.** A linolsav és a konjugált linolsav képlete

A kettős kötések leggyakrabban 9,11 helyzetben vagy 10,12 helyzetben találhatóak, de előfordulhatnak még egyéb pozícióban (8,11 vagy 11,13) is. Mindkét kettős kötés lehet cisz vagy transz konfigurációjú.

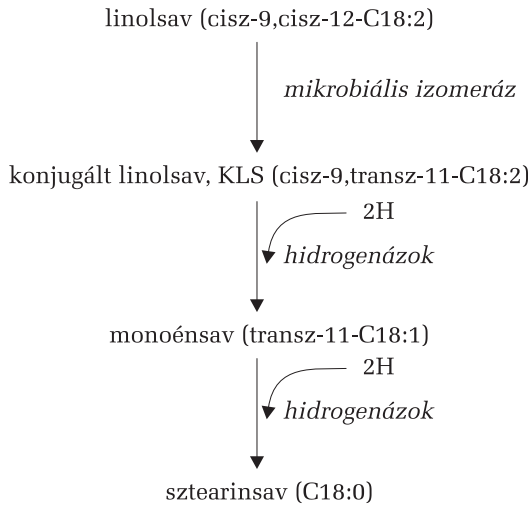
A KLS a természetben főként a többszörösen telítetlen zsírsavak biológiai hidrogénezése során keletkezik. Ez a bakteriális enzimtevékenység főként a kérődző állatok bendőjében zajlik, és feltételezik, hogy más állatok emésztőrendszerében található mikrobák is képesek a szabad linolsavat cisz-9,transz-11 konjugált linolsavvá alakítani.

A természetben leggyakrabban előforduló KLS-izomer a cisz-9,transz-11-C18:2 (c9, t11-KLS), amely a linolsav (cisz-9,cisz-12-C18:2) biológiai hidrogénezésének első lépésében keletkezik. Különböző baktériumok mikrobiális enzimjeinek hatására a linolsavból először konjugált linolsav (cisz-9,transz-11-C18:2) képződik, majd a cisz-9 kettős kötés két hidrogénatom felvételével telítődik, amelynek során egyszeresen telítetlen zsírsav (transz-11-C18:1) jön létre, ami további hidrogénezéssel sztearinsavvá (C18:0) alakulhat át (4.1.1. ábra).

Az újabb vizsgálatok eredményei alapján feltételezhető, hogy a KLS a transz-C18:1 zsírsavakból is kialakulhat a tehenek tejmirigyében vagy a patkányok májában a 9-es és a 10-es helyzetben való szénatomról történő dehidrogénezéssel, a  $\Delta 9$ -deszaturáz reakcióval. A konjugált linolsavak kémiai reakciókban enzimek közreműködése nélkül is kialakulhatnak, a linolsavban gazdag olajok lúgos izomerizációja vagy a ricinusolaj víztelenítése közben. A linolsav in vivo szabad gyökös autooxidációja során is keletkezhet KLS nagy kéntartalmú fehérjék jelenlétében (4.5. ábra).

A konjugált linolsavak a húsban, a tojásban és kisebb mértékben a növényi olajokban is megtalálhatóak, ennek ellenére a tejtermékek a legjelentősebb konjugált linolsav források az emberi táplálkozásban. Által-

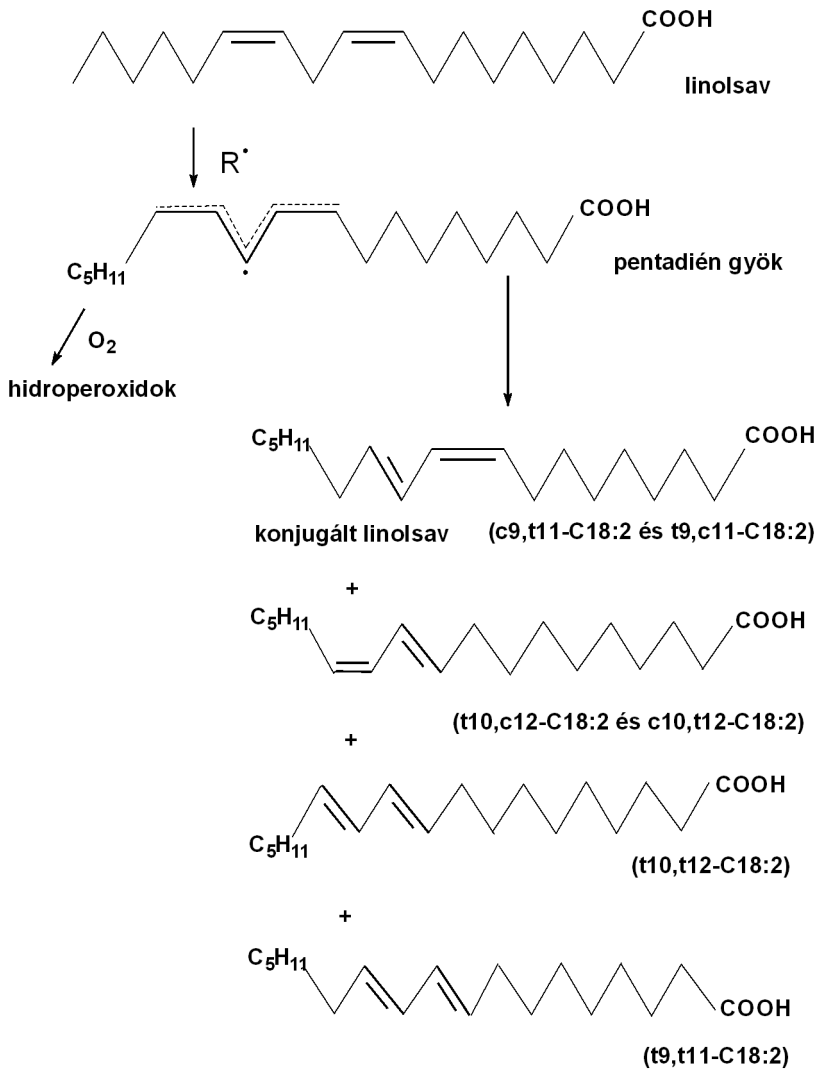




**4.4. ábra.** A linolsav biológiai hidrogéneződése

lánosságban elmondható, hogy a kérődző állatok termékei több KLS-t tartalmaznak, mint az egygyomrúaké. A bányahús, a marhahús és a tehéntej kb. tízszer annyi KLS-t tartalmaz (0,5–1g KLS/100g zsír), mint a sertéshús, a lazac és a tojássárgája. A biológiai hidrogénezés során képződött KLS egy része a kérődzők bendőjéből továbbjut a vékonybélbe, ahol a többi táplálék eredetű zsírsavval együtt felszívódik, átésztereződik, és végül is az állat egész szervezetébe eljut. Az egygyomrú állatok zsírjának KLS-tartalma származhat a takarmány húsliszt- és faggyútartalmától, másrészt elképzelhető, hogy az egygyomrú állatok egyes bélmikroorganizmusai is képesek, a kérődzők bendőjéhez képest kisebb mértékben, a hidrogénezési folyamat során a linolsavat konjugált linolsavakká alakítani.

A növényi olajokban és a margarinban egyes kutatók nem találtak KLS-t, mások viszont – igaz, hogy csak kis koncentrációban – ki tudták mutatni ezeket a zsírsavakat. A hidrogénezett növényi olajok KLS-tartalmában mért különbségeket az eltérő hidrogénezési körülményekkel indokolták. Az élelmiszergyártás egyes lépései, különösen a hőkezelés és a fermentációs eljárások is befolyásolhatják a termék KLS-tartalmát. Különösen a sajtgyártás során találták úgy, hogy a hőkezelés és az érlelés



**4.5. ábra.** A konjugált linolsavak kialakulása linolsavból szabad gyökös reakcióval, illetve biológiai hidrogénezéssel

jelentősen növeli a KLS-tartalmat, míg egyéb élelmiszerek esetében nem tapasztaltak jelentős KLS-tartalom-változást a feldolgozás során.

#### 4.1.2. Helyettesített zsírsavak

Legismertebb hidroxizsírsav az optikailag jobbra forgató ricinolsav, amely a ricinusolaj mintegy 90%-át teszi ki. Levéllipidekben és számos zöldségben is találhatóak telített 2-hidroxizsírsavak, oxozsírsavak kisebb mennyiségben a tejzsírokban, furánzsírsavak pedig a halmájolajban fordulnak elő.

#### 4.1.3. A zsírsavak fizikai tulajdonságai

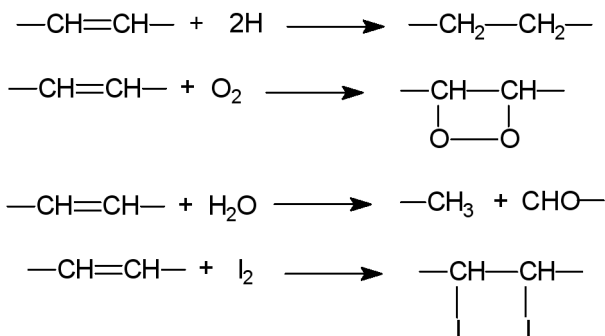
A zsírsavak sűrűsége 1-nél kisebb, ami a növekvő szénatomszámmal csökken. A telítetlen zsírsav sűrűsége kisebb az ugyanazon szénatomszámú telített zsírsavénál. A telített, nyílt szénláncú zsírsavak halmazállapota  $C_4$ – $C_8$  között folyékony, a nagyobb szénatomszámúaké pedig szilárd. Az egyenes láncú zsírsavak forráspontja a szénatomszám növekedésével nő. A telített zsírsavak olvadáspontja ugyancsak növekedést mutat a szénatomszámmal. A telítetlen zsírsavak olvadáspontja mindig kisebb, mint a telítetteké. A zsírsavak kristályosodására jellemző a polimorfia, vagyis az a jelenség, hogy a szerkezettől és a hőmérséklettől függően több módosulatban tud kristályosodni, amely kristálymódosulatok olvadáspontjai is eltérőek. A páratlan szénatomszámú és telítetlen zsírsavak nem tudnak olyan szabályosan kristályrácsba rendeződni, mint a telített páros szénatomszámúak. A telítetlen zsírsavaknál a cisz módosulat jobban gátolja a kristályosodást a transz izomernél. A telítetlen zsírsavak 190 nm körüli hullámhossznál UV-abszorpciót mutatnak. A konjugált kettős kötésű zsírsavak fényabszorpciója a molekula hosszától és a konfigurációtól függően különböző hullámhosszokon megy végbe.

#### 4.1.4. A zsírsavak kémiai tulajdonságai

A zsírsavak kémiai tulajdonságait a karboxilcsoport és az oldallánc reakciói szabják meg. Telítetlen zsírsavakkal az oldalláncon lévő kettős kötések révén többféle addíciós reakció játszódhat le (4.6. ábra). A *hidrogénaddíció* a telítetlen zsírsavnak telítetteké való átalakítását teszi lehetővé. A telítés több kettős kötés esetén lehet részleges is, amit a hidrogénezés körülményeivel lehet szabályozni. A kettős kötés meg-

szűnésével megváltozik a halmazállapot és a konzisztencia; minél több kettős kötés telítődik, a halmazállapot annál inkább átmegey a folyékony jellegből a szilárdba, az állomány pedig egyre keményebb lesz.

Az *oxigénaddíció* különböző peroxidok kialakulását teszi lehetővé. Ha a kettős kötésekben *vízaddíció* játszódik le, hidratációról beszélünk, amelynek során a keletkezett aldehidek kellemetlen, parfümös ízt és illatot adnak a zsiradékoknak, jelentősen rontva azok érzékszervi tulajdonságait.



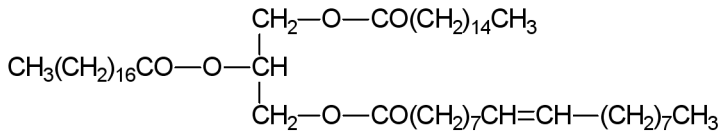
4.6. ábra. A telítetlen zsírsavak hidrogén-, oxigén-, víz- és jódadíciója

A zsírok jódszámának meghatározása a *jódadíció* meghatározásával történik, amellyel a telítetlenség mértékét lehet mérni. Ezzel a reakcióval meg lehet állapítani a zsiradék affinitását a levegő oxigénjéhez, és szám-szerűsíteni lehet a zsiradék nem száradó, félig száradó, illetve száradó jellegét.

## 4.2. Acilglicerinek

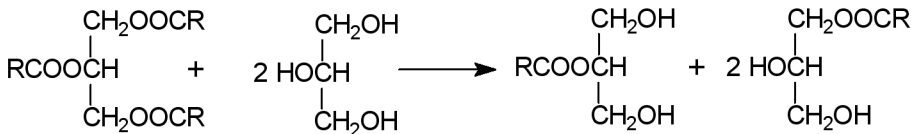
Az acilglicerinek semleges lipidek; a glicerín zsírsavakkal képzett mono-, di- és triacil-észterei. Az étkezési zsírok és olajok túlnyomórészt *triacilglicerinekből* állnak, *monoacilglicerinek* és *diacilglicerinek* csak nyomnyi mennyiségben fordulnak elő. A glicerín szimmetrikus molekula, azonban ha az egyik primer hidroxilcsoport vagy a két primer hidroxilcsoport különböző zsírsavakkal van észterezve, aszimmetria lép fel. A palmitinsavat, a sztearinsavat és az olajsavat tartalmazó triacilglicerín

képletét a 4.7. ábra mutatja. A vegyület helyes elnevezése 1-palmitil-2-sztearil-3-oleil-glicerin.



4.7. ábra. 1-palmitil-2-sztearil-3-oleil-glicerin

A mono- és diacilglicerinek tárolás során *hidroláz* enzimek hatására jöhetnek létre a triacilglicerinekből (4.8. ábra).



4.8. ábra. Mono- és diacilglicerinek kialakulása

#### 4.2.1. Az acilglicerinek fontosabb fizikai tulajdonságai

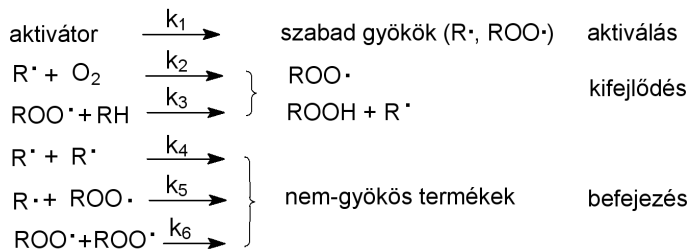
A *kristályosodási* és *olvadási* tulajdonságok alakulását az acilglicerinek polimorf jellege döntően befolyásolja. A kristályosodásnál a különböző triacilglicerinek szék és hangvilla formában kristályosodhatnak ki. A zsírok *konzisztenciája* az olvadási tulajdonságok függvénye. A természetes zsírokban az acilglicerinek nagyszámú és különféle keverékei találhatók, amelyek meghatározzák az olvadási tulajdonságokat. A zsír hidrogénezésével vagy nagy olvadáspontú komponensek hozzáadásával a megszilárdulási hőmérsékletet csökkenteni lehet. Szilárd halmazállapotban a lipidek nagymértékben *rendezett kristályszerkezetben* vannak, folyékony állapotban azonban a molekulák közötti erők gyengülnek, a molekulamozgás növekedése rendezetlenséghez vezet. A szilárd és folyékony állapot között az ún. *mezomorf fázisban* folyadékkristályok találhatók. A kristályok mérete, száma és formája jelentősen befolyásolja a konzisztenciát. Az apró kristályok szilárdabbá teszik a zsírt, lassú lehűtéssel viszont nagy kristályok képződnek. A kristályosított zsírok tixotrópok, ami azt jelenti, hogy mechanikai hatásra ellágyulnak.

### 4.2.2. Az acilglicerinek kémiai tulajdonságai

Az észterkötések hidrolízise víz jelenlétében enzimekkel vagy hőkezelés hatására következhet be. Szabad zsírsavak az élő állatban nincsenek jelen, az észterkötést bontó enzimek az állat levágása után képződnek. A növényekben a termés leszedése után a hidrolízist olyan enzimek katalizálják, amelyek csak a leszedés után aktiválódnak.

A zsiradék romlását egyrészt az észterkötésekben, másrészt az oldalláncok kettős kötéseiben lejátszódó változások okozzák. A biológiai romlásos folyamatoknál a mikroorganizmusok tevékenységéhez megfelelő táptalajra és egyéb megfelelő körülményekre (víztartalom, pH) van szükség. A kémiai romlások közül igen gyakori a hidrolízis, amelynek során szabad zsírsavak keletkeznek, növekszik a savszám, és a savas íz rontja az érzékszervi tulajdonságokat. Az *autooxidatív folyamatok* alaptípusai a *dehidrogénezés*, a *peroxidképződés* és az *oxidáció*. Dehidrogénezéskor hidrogén szakad le oxigén belépése nélkül; a molekuláris oxigén a lehasadt hidrogénnel hidrogén-peroxidot képez, amelyek növelik a zsír peroxidszámát vagy másodlagos reakciók során átalakulnak. A peroxidképződés során az oxigénmolekula peroxid formában épül be az acilglicerinbe, az oxidáció során viszont oxigén lép be a molekulába, de nem peroxidok, hanem pl. epoxidgyűrű keletkezik.

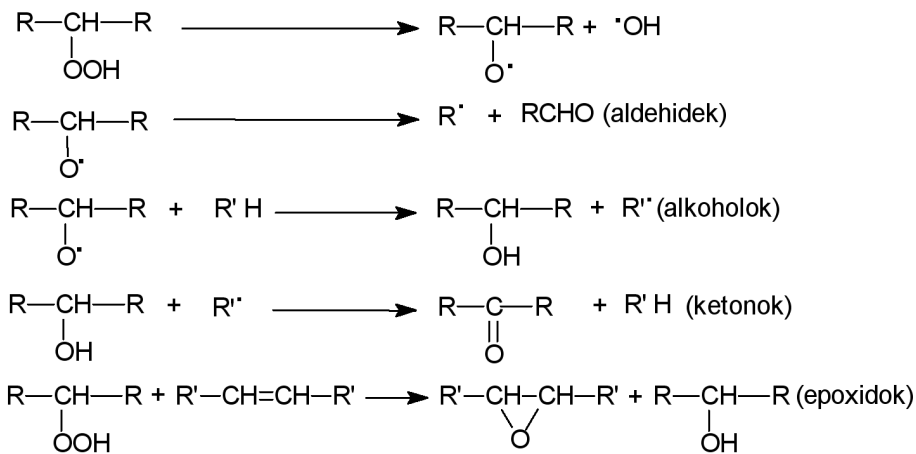
A *lipidoxidáció* szabadgyök-mechanizmus szerint megy végbe, amelyet más szabad gyökök és a fény is katalizál. A reakcióra jellemző a nagy mennyiségű peroxidképződés, valamint a hosszú indukciós periódus. A fontosabb reakciólépéseket az alábbi összeállítás mutatja (4.9. ábra).



4.9. ábra. Lipidoxidáció szabad gyökös mechanizmus szerint

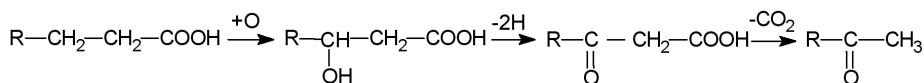
A szabad gyök képződéséhez aktivált állapot szükséges, amelyet fémkatalizátorokkal, fényhatással vagy más szabad gyökökkel lehet elérni. A lipidautooxidáció első termékei, a hidroperoxidok, többféle

komponensre bomolhatnak, amelyek szintén képesek autooxidációs folyamatok aktiválására. A telítetlen zsírsavak autooxidációjának primer termékei a hidroperoxidok, amelyek nagyobb hőmérsékleten további oxidáció hatására szekunder vegyületekké alakulnak. A hő, a fény, a fénynyomok, a savak, a bázisok és a peroxidok hatására bekövetkező kötéshasadás eredményeként rövid szénláncú illózsírsavak keletkeznek, amelyek jellegzetes szagúak és ízűek. Az illó frakció főként aldehidekből áll, amelyek mellett csekély mennyiségben kis szénatomszámú zsírsavak, alkoholok, dikarbonilvegyületek és nyomokban ketonok mutathatók ki (4.10. ábra). A nem illó hasadási termékek lehetnek monomerek, dimerek vagy polimerek.



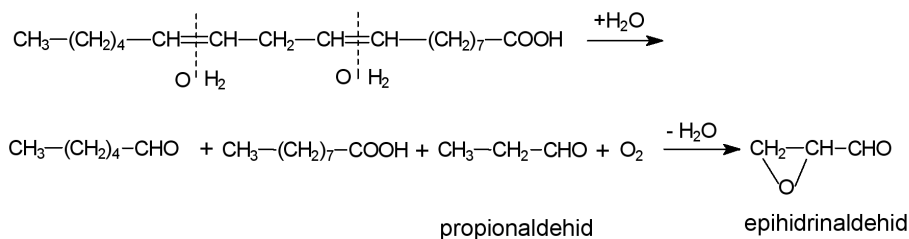
4.10. ábra. A lipidoxidáció termékei

A zsírok romlásakor keletkező jellegzetes bomlástermékek alapján négyféle avasságot különböztetünk meg: *savasság*, *faggyúsodás*, *aldehides avasodás* és *ketonavasodás*. A savasodás hosszabb tárolás során víz, levegő, fény, hő, oxigén hatására végbemenő hidrolízises átalakulás, amelynek révén glicerín és szabad zsírsavak keletkeznek. A faggyúsodás oxizsírsavak képződésével és azok polimerizációjával kapcsolatos folyamat. A ketonavasság mikroorganizmusok hatására alakul ki. Első lépésben a zsír hidrolizál, majd a szabad zsírsavak  $\beta$ -oxidációval  $\beta$ -ketonsavakká alakulnak, amelyek dekarboxileződéssel metil-alkilketonokat eredményeznek (4.11. ábra).



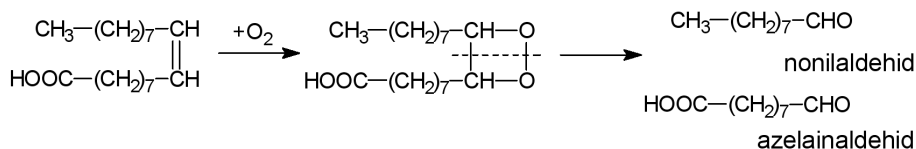
4.11. ábra. A ketonavasodás reakciói

Az aldehidavasság a leggyakrabban előforduló zsíradékromlás. A keletkező aldehidek adják a jellegzetes, avas szagot. Az avasodási folyamatot gyakran kíséri a zsír elszíneződése, amelyet sárgás, barnás színű anyagok keletkezése okoz. Az avasodás egyik jellegzetes terméke az epihidrinaldehid, amely főként linolsavból keletkezik, propionaldehid köz-titerméken keresztül (4.12. ábra).



4.12. ábra. A linolsav aldehides avasodása

Az epoxidgyűrű igen labilis, könnyen felhasad, amelynek során naszcensz oxigén keletkezik. A *Kreiss*-reakció során a rezorcin benzolos oldata epihidrinaldehid jelenlétében lilás elszíneződést mutat, amelynek intenzitása az epihidrinaldehid koncentrációjával arányos. Jellegzetes átalakulás az *olajsav aldehides oxidációja*, amelynek során nonilaldehid és azelinaldehid keletkezik (4.13. ábra).



4.13. ábra. Az olajsav aldehides avasodása

Jódszámuk alapján megkülönböztetünk nem száradó olajokat (jódszám <70), félig száradó olajokat (jódszám = 70–150) és száradó olajokat



(jódszám >150). A több telítetlen kötést tartalmazó acilglicerinek száradása során elsősorban oxidációs reakciók játszódnak le. Az előzőekben felsorolt reakciókon kívül ismeretesek még olyanok is, amelyek acilglicerinnmolekulák között a kettős kötések segítségével  $-O-O-$  hidakat hoz létre. Ez az oxidációs átalakulás nagy molekulatömegű, oxidált származékok keletkezéséhez vezet.

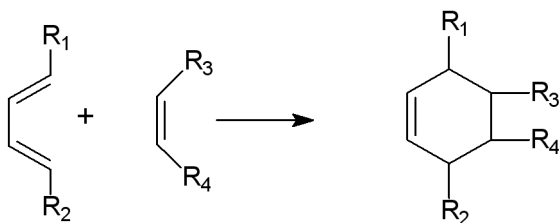
Az oxidációs folyamatokat elősegítő tényezőket prooxidációs hatásnak nevezzük. Ezek különböző anyagok vagy effektusok lehetnek, amelyek különbözőképpen katalizálják a folyamatokat. Ilyen prooxidáns anyagok:

- a zsír-hidroperoxidok, amelyek igen labilis, hőre érzékeny vegyületek, amelyekből könnyen képződnek szabad gyökök,
- a réz, a vas, a kobalt és a mangán nyomnyi mennyiségben előforduló szerves és szervetlen sói,
- oxidáz enzimek, leginkább *lipoxidázok*,
- heminvegyületek,
- fotoaktív növényi színanyagok (lipokromok),
- ultraibolya sugárzás, hőhatás, oxigén, víz.

Élelmiszer-zsivadékok vagy zsírtartalmú élelmiszerek előállításánál alapvető szempont, hogy az oxidációs folyamatok megindulását késleltessük, illetve gátoljuk. E célt a higiénikus körülmények betartásával, a víz teljes eltávolításával, a mikroorganizmusok kiszűrésével, a fény kizárásával, a fémnyomok eltávolításával és az oxigéntől való teljes elzárással lehet elérni a feldolgozás és a tárolás folyamán. Ezen túl célszerű olyan anyagokat is adagolni a termékbe, amelyek speciális kémiai tulajdonságaik révén alkalmasak a különféle romlási folyamatok megakadályozására, illetve késleltetésére. Az ilyen anyagokat gyűjtőnéven *antioxidánsoknak* hívjuk.

*Hőhatásra dimerizációs, illetve polimerizációs átalakulások* is bekövetkezhetnek, amelyek *Diels–Alder*-átalakulás szerint játszódnak le (4.14. ábra). Azokban a zsivadékokban, amelyek nagymértékben tartalmaznak különféle, telítetlen kötésű zsírsavakat, sokféle reakciótermékkel kell számolni. A reakcióban részt vevő két zsírsavmolekula vagy ugyanabból az acilglicerinnből származik, vagy két acilglicerinnmolekula zsírsavai között jön létre kapcsolódás; így megkülönböztethetünk intramolekuláris és intermolekuláris átalakulásokat is.

Az *élelmiszer-besugárzás* elsődleges célja a mikroorganizmusok elpusztítása és a termék eltarthatósági idejének megnövelése. Az ionizáló sugárzás alkalmas húsok és húsipari termékek tartósítására, a hal,



4.14. ábra. Diels–Alder-átalakulás

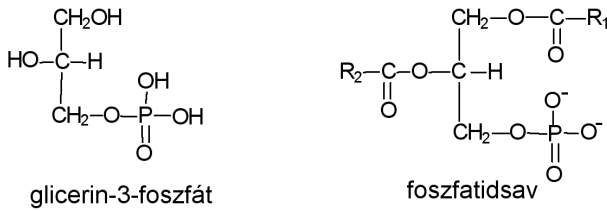
a csirke, a zöldségfélék és a gyümölcsök eltarthatóságának növelésére, valamint a hüvelyesek és a gabonafélék kártevőrovarainak elpusztítására. A különféle zsiradékokat vákuumban besugározva azt tapasztalták, hogy az ionizáló sugárzás hatására a szénhidrogének mellett nagyobb mennyiségben keletkeztek metil- és etilészterek, aldehidek és szabad zsírsavak. Ha a besugárzás oxigén jelenlétében történt, *meggyorsultak a zsírok autooxidációs folyamatai*, mert a besugárzás hatására keletkező szabad gyökök az oxigénnel egyesülve hidroperoxidokat alkotnak, amelyek hasadása révén különböző bomlástermékek, elsősorban karboxilcsoportot tartalmazó vegyületek keletkeznek. Ezeken túl a besugárzás ráadásul még az antioxidánsokat is elbontja.

### 4.3. Foszfo- és glikolipidek

A *foszfogliceridek* (glicerín-foszfátidok, vagy foszfolipidek) a *membránok felépítésében vesznek részt*. Szerkezetük olyan glicerín-foszfátból származtatható, aminek két hidroxilcsoportja zsírsavakkal képez észtert. Ezt a vegyületet foszfátidsavnak hívjuk (4.15. ábra).

A foszfogliceridekben a foszforsav rész egyik hidroxilcsoportját alkohol észteresíti. A foszfogliceridek felépítésében részt vevő alkoholokat a 4.2. táblázat mutatja.

A foszfogliceridek egyik vége foszforsav részt és alkoholt tartalmaz, amelyek együttesen a poláros, míg a szénhidrogénláncot tartalmazó rész az apoláros részt alkotja; emiatt a foszfoglicerideket *amfipatikus vegyületeknek* hívjuk. A foszfogliceridek tehát *poláros lipidek*. Tulajdonságaik az apoláros rész méretétől, valamint a poláros rész polaritásától és töltésétől függenek. A foszfogliceridekben az apoláros szénhidrogén láncok



4.15. ábra. A glicerin-3-foszfát és a foszfatidsav

**4.2. táblázat.** A foszfogliceridek felépítésében részt vevő alkoholok

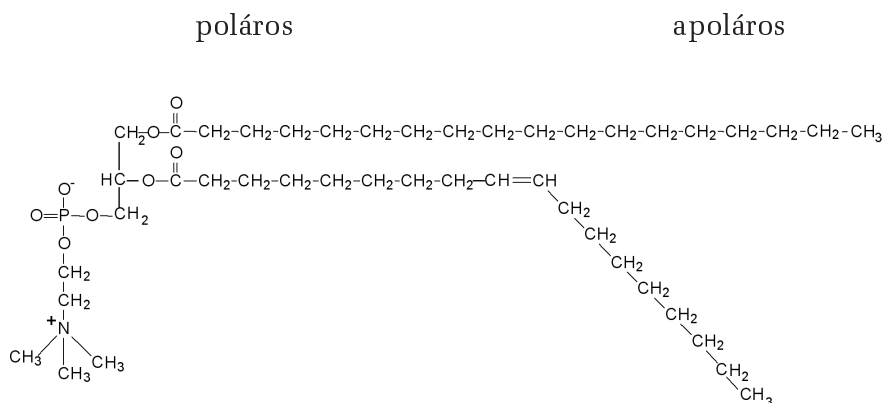
| Foszfoglicerid          | Alkoholkomponens |   |
|-------------------------|------------------|---|
| Foszfatidil-etanol-amin | etanol-amin      | $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$               |
| Foszfatidil-kolin       | kolin            | $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$ |
| Foszfatidil-szerin      | szerin           | $\text{HOCH}_2\text{CHNH}_2\text{COOH}$             |
| Foszfatidil-inozitol    | inozit           | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$                 |
| Foszfatidil-glicerol    | glicerol         | $\text{HOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$             |

egyike rendszerint telítetlen, a másik pedig telített zsírsav. Amfipatikus tulajdonságuk folytán *micellaképzésre képesek*, ami a foszfoglicerideket *membránok kialakítására* teszi alkalmassá. A foszfogliceridek fehér, viaszszerű anyagok, amelyek levegőn a telítetlen zsírsav rész oxidációja folytán megsötétednek. Jól oldódnak kevés vizet tartalmazó, apoláros oldószerekben. Vizes közegben micellaképződés útján kolloid oldatot képeznek; neutrális oldatukban a foszfátrész negatív töltésű.

Az alkoholrészek egyik csoportjának (inozit, glicerol) nincs töltése, az etanol-aminnak és a kolinak pozitív töltése van, amelyek semleges közegben a szerinhez hasonlóan ikerionos szerkezetet vesznek fel.

A foszfogliceridek legegyszerűbb képviselője a foszfatidsav. A sejtekben csak kis mennyiségben fordul elő; a triacil-glicerin- és a foszfolipid-szintézis intermediere. Az élővilágban igen széles körben elterjedt a *kefalin* (foszfatidil-etanol-amin vagy más néven etanol-amin-foszfoglicerid) és a *lecitin* (foszfatidil-kolin vagy kolin-foszfoglicerid) (4.16. ábra).

E két foszfoglicerid az állati sejtek membránjának fő alkotórésze. A foszfatidil-glicerol a baktériumok sejtmembránjának komponense. A glicerol hidroxilcsoportját aminosav is észterezheti. Az aminosavval kapcsolódó lipideket lipoaminosavaknak (O-aminoacil-foszfatidil-

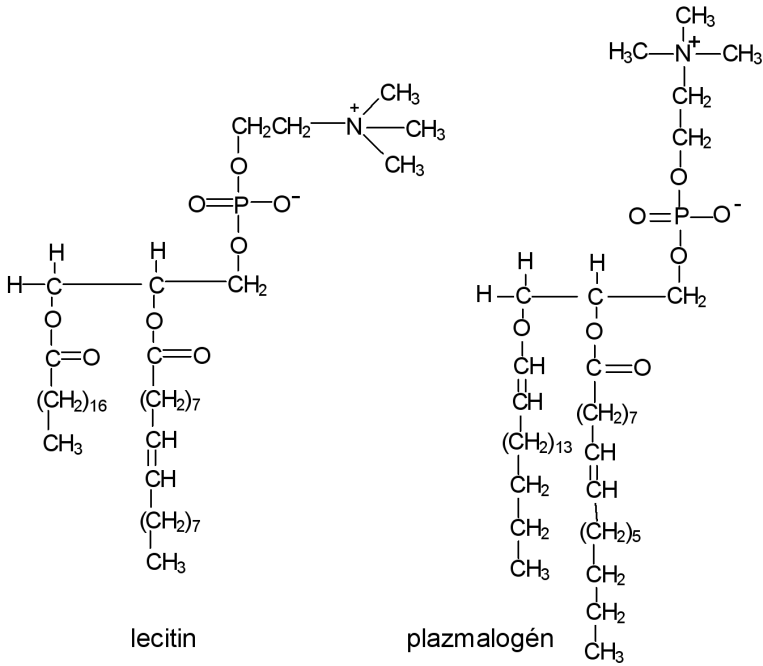


**4.16. ábra.** Az amfipatikus foszfoglicerid molekula. A lecitin poláros (bal oldali) és apoláros (jobb oldali) részből áll

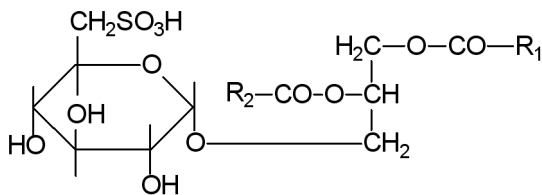
glicerin) hívjuk. Jelentős mennyiségben található a membránokban foszfatidil-inozitol is. Ennek membránalkotó funkcióján kívül jelentős szerepe van a sejtműködés szabályozásában. A plazmalogének esetében a glicerin hidroxilcsoportjához a C<sup>2</sup>-szénatomon alifás lánc kapcsolódik észterkötéssel, a C<sup>1</sup>-szénatomhoz pedig hosszú alifás, α-, β-helyzetben telítetlen lánc kapcsolódik éterkötéssel. Az izom- és idegmembránokban fordulnak elő nagyobb mennyiségben (4.17. ábra).

A *glikolipidekben* az 1,2-diacil-glicerinhez a 3-as helyzetű alkoholos hidroxilcsoporton keresztül glikozidos kötéssel kapcsolódó monovagy diszacharid társul. Vízen jól oldódó vegyületek a szulfolipidek, amelyekben a cukorkomponenshez még szulfát is kapcsolódik észterkötésben (4.18. ábra).

*Szfangolipidek* szfingozint, egy hosszú szénláncú amin-diolt tartalmaznak. Legismertebb közülük az idegszövetben található szfingomielin. A szfingoglikolipidek vagy más néven cerebrozidok az agy szöveteiben és a növényekben is megtalálhatók (4.19. ábra). Cukorkomponensük a glükóz vagy a galaktóz.

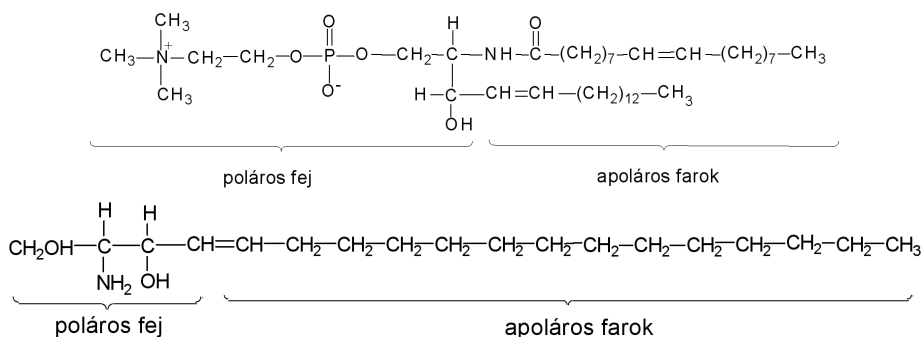


4.17. ábra. A lecitin és a plazmalogén szerkezetének összehasonlítása



4.18. ábra. A szulfolipidek képlete

## szfingozin

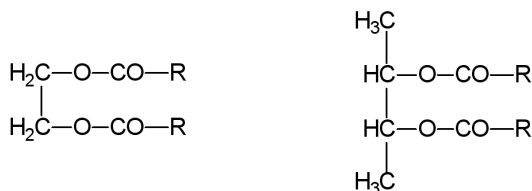


## szfingomielin

4.19. ábra. A szfingozin és a szfingomielin képlete

## 4.4. Diollipidek, zsíralkoholok, viaszok

A *diollipidek* alkoholkomponense az etilén-glikol, az 1,2- vagy az 1,3-propándiol és az 1,3-, 1,4- vagy a 2,3-butándiol, amelyek alkoholos hidroxiljaikkal savakhoz kapcsolódnak észterkötésben (4.20. ábra).



4.20. ábra. A diollipidek képlete

Mind az állati, mind a növényi sejtekben megtalálhatók, bár csak csekély mennyiségben.

A *zsíralkoholok* szabad és kötött állapotban is gyakran előfordulnak mind a növényi, mind az állati sejtekben. A halolajban az alábbi szabad zsíralkoholok fordulnak elő jelentős mennyiségben: cetilalkohol ( $\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{OH}$ ), sztearilalkohol ( $\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{OH}$ ), oleilalkohol ( $\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{OH}$ ).

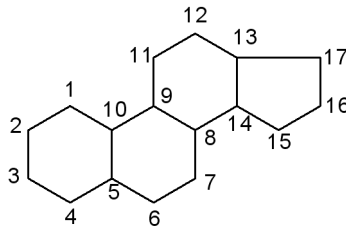
A *viaszok* zsírsavak hosszú szénláncú zsíralkoholokkal képzett észterei. A növényi viaszok a levelek és a termések felületét védik a kiszáradás és a mikroorganizmusok ellen. A méhviasz és a gyapjúzsír speciális funkcióval rendelkezik. A viaszok nem avasodnak és nem illékonyak.

## 4.5. Szterinek

A *szterinek (szterolok)* a *szteránváz*as vegyületekhez (*szteroidok*) tartoznak, szabadon vagy zsírsavakkal észterezve fordulnak elő. Természetes forrásaik szerint megkülönböztetnek:

- zooszterineket vagy állati szterineket (koleszterin, dehidrokoleszterin, koproszterin, alloszterin),
- fitoszterineket vagy növényi szterineket (szitoszterin, sztigmaszterin),
- mikoszterineket, amelyek alacsonyabb rendű növényekben, elsősorban gombákban fordulnak elő (ergoszterin, dehidroergoszterin, zimoszterin).

Kémiai szerkezetükre jellemző, hogy a szteránvázon a 10. és 13. szénatomokon metilcsoportok, a 3. szénatomon alkoholos hidroxilcsoport, a 17. szénatomon pedig egy 8–10 szénatomos, esetleg elágazó, esetleg kettős kötést is tartalmazó oldallánc található. A legtöbb szterinben az 5. és 6. szénatomok között kettős kötés van (4.21. ábra).



4.21. ábra. A szteránváz

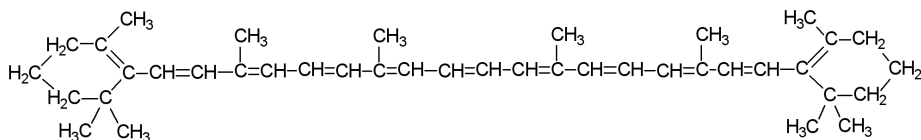
A *koleszterin* az egyik legelterjedtebb szterin, az állatvilágban szabadon vagy zsírsavészter formájában fordul elő; a foszfolipidekkel együtt részt vesz a sejtfal felépítésében. A *dehidrokoleszterin* legtöbbször a koleszterinnel együtt fordul elő, míg a *koproszterin* az állatok ürülékében található. A 7-dehidrokoleszterin a D<sub>3</sub>-vitamin, az ergoszterin pedig a D<sub>2</sub>-vitamin provitaminja.

## 4.6. Egyéb vegyületek

A *lipoprotein-komplexek* fehérjékből, poláros lipidekből és trigliceridekből állnak. A lipoproteinek stabilitását a fehérje hidrofób részein lévő apoláros oldalláncok és a lipidek között kialakuló hidrofób kölcsönhatások biztosítják. A fehérjék hidrogénhídkötésekkel nem tudnak a lipidekhez kapcsolódni, mert a foszfolipidekben kevés olyan funkciós csoport van, amely alkalmas lenne ilyen kötés kialakítására. A fehérjéket és a lipideket csak nem kovalens kötéserők tartják össze.

A *karotinoidok* izoprén alegységekből felépülő polién szénhidrogének, amelyek mintegy 40 szénatomból állnak. Számos állati szövetben megtalálhatók, és a zöld növényekben is mindig jelen vannak, ahol azonban a klorofill zöld színe a karotinoidok sárga-narancs-piros színét elfedi. A karotinoidok zsírokban és egyéb zsíroldő szerekben jól oldódnak, egy részük oxigénatomot is tartalmaz, amely különböző funkciós csoportok komponense.

A zsírolható vitaminok közül az A-vitamin a növényekben előforduló karotinokból keletkezik. A karotinmolekulák szerkezetéből következően egy molekula  $\beta$ -karotinból (4.22. ábra) két A-vitamin-molekula, míg egy molekula  $\alpha$ - és  $\gamma$ -karotinból egy-egy molekula A-vitamin keletkezik.



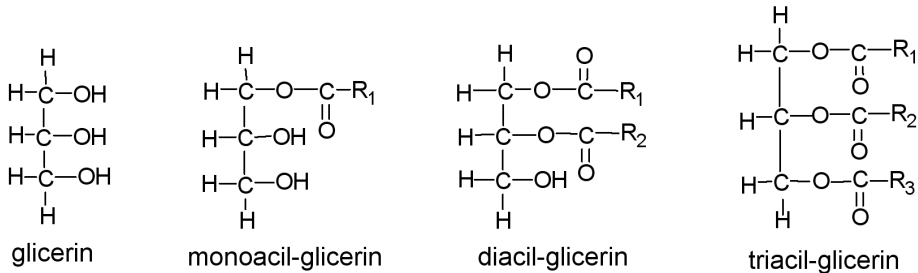
4.22. ábra. A  $\beta$ -karotin képlete

A *természetes gyanták* növényi eredetű, vízben nem oldódó, üvegserű, amorf anyagok, amelyek szerves oldószerekben oldódnak; főleg gyantasavakat, aromás savakat és alkoholokat tartalmazó elegyek, amelyek legismertebb képviselője a fenyőgyanta. A különböző gyantákat lakkok és tapaszok készítésére, valamint hordók tömítésére használják. A *balzsamok* illóolajokban oldott gyanták. A lipidek közé tartoznak még zsírolható vitaminok és a zsírolható színezékek, amelyeket később ismertetjük.



## 4.7. Természetes zsiradékok

A neutrális zsírok (trigliceridek, triacil-glicerinek) a zsírsavak glicerinrel alkotott észterei. Az állatvilágban a raktározott lipidek fő tömegét a triacil-glicerinek teszik ki, de a szövetekben kisebb mennyiségben diacil- és monoacil-glicerinek is előfordulnak (4.23. ábra).



4.23. ábra. A mono-, di- és triacil-glicerin

Ha a glicerin mindhárom hidroxilcsoportját azonos zsírsav észterezési, akkor *egyszerű*, ha a glicerin két- vagy háromfajta zsírsavval kapcsolódik, akkor *kevert triacil-glicerinekről* beszélünk. Egyszerű zsír például a trisztearin, a tripalmitin vagy a triolein. Az előzőekből következik, hogy a természetes zsírok többsége az egyszerű és a kevert triacil-glicerinek elegye. Összetételük a táplálkozás során elfogyasztott zsírok felépítésétől függ.

A neutrális zsírok tulajdonságai a triacil-glicerin zsírsav-összetételétől függenek. A zsírok olvadáspontját a telített és telítetlen zsírsavak lánchossza és aránya szabja meg. A faggyúban több a telített zsírsav, aminek következtében 45–50 °C-on olvad, míg a növényi olajokban sok a telítetlen zsírsav, ezért ezek szobahőmérsékleten folyékonyak. A zsírok nem képeznek micellákat.

Az állati zsírok összetételét a klíma is befolyásolja: a melegebb éghajlaton élő állatok zsírja magasabb olvadáspontú, a hidegebb viszonyok között élőké viszont alacsonyabb hőmérsékleten sem szilárdul meg. A szénhidrát-dús diéta a magasabb hőfokon olvadó, telített zsírsavakat tartalmazó zsírok szintézisének kedvez.

A zsírok gazdaságosabb energiaforrások, mint a szénhidrátok (keményítő, glikogén), mert oxidáció hatására a zsírokból átlagosan 38 kJ/g energia szabadul fel, míg glikogénből csupán a fele, kb. 17 kJ/g. A zsírok

helyigénye is kisebb, mert hidrofób tulajdonságuk következtében nem hidratálódnak. A zsírok sűrűsége a vízénél kisebb. Lúggal főzve az észterkötés felhasad, glicerín és a zsírsavak alkálisói keletkeznek. Ezt a folyamatot hívjuk *elszappanosításnak*. A lipázenzimek is az észterkötést bontják; hatásukra glicerín, zsírsav és kisebb mennyiségben glicerín-2-acilészter keletkezik. Ez utóbbi esetben a glicerín C<sup>2</sup> szénatomja marad acilálva.

A természetes zsiradékok túlnyomórészt acil-glicerinekből álló, de más lipideket is tartalmazó vegyületek keverékei. A növényi zsiradékok elsősorban a növények magvaiban és gyümölcszeiben fordulnak elő, de megtalálhatók a növények gyökereiben és a szárban is. Az állati zsiradékok elsősorban a bőr alatti kötőszövetben, a hasüregben, a májban és az izmok között találhatóak. A zsiradékokat szobahőmérsékleten mutatott halmazállapotuk alapján szilárd zsírokra és folyékony olajokra osztjuk.

#### 4.7.1. A természetes zsiradékok fizikai tulajdonságai

Kémiaailag egységes anyag esetében *olvadásponton* azt a hőmérsékletet értjük, amelynél a szilárd és folyékony fázis egyensúlyban van. Mivel a zsírok acil-glicerinek és más anyagok keverékéből állnak, ezért határozott olvadáspontról nem beszélhetünk, mivel a különböző komponensek folyékony halmazállapotúvá válása különböző hőmérsékleten következik be. A fentiek miatt többféle, különbözőképpen értelmezett olvadáspont-meghatározás terjedt el a gyakorlatban:

- Az *emelkedéspont* az a hőmérséklet, amelyen egy mindkét végén nyitott kapillárisban lévő vízfürdőn melegített zsiradék megemelkedik.
- *Tiszta olvadáspont* az a hőmérséklet, amelyen az U alakú kapillárisban vagy egyik végén leforrasztott egyenes kapillárisban elhelyezett zsírminta melegítés hatására éppen teljesen átlátszó lesz.
- *Csúszáspont* az a hőmérséklet, amelyen az U alakú kapillárisban elhelyezett minta melegítés hatására csúszni kezd.
- *Lágyuláspont* az a hőmérséklet, amelyen a zsírminta éppen folyékony kezd lenni.

Ezekon kívül használják még a zsír minősítésére a *folyáspontot*, a *cseppenéspontot*, a *zavarosodási pontot*, a *megszilárdulási pontot*, a *megszilárdulási görbét*, a *szilárd és folyékony acil-glicerinek arányát*, a *füst-*, a *lobbanás-* és az *égéspontot*, a *konzisztenciát* és a *plaszticitást*.

A konzisztencia a testek azon tulajdonsága, amely képessé teszi őket az alakváltoztatással szembeni ellenállásra, a plaszticitás pedig az a tulajdonság, amely képessé tesz arra, hogy az alakváltozás akkor is megmaradjon, ha az azt létrehozó erő megszűnik.

#### 4.7.2. A természetes zsiradékok kémiai tulajdonságai

A zsiradékok kémiai jellemzésére a *savszámot*, az *elszappanosítási számot*, a *jódszámot*, a *peroxidszámot* és a *hidroxilszámot* határozzák meg. A savszám azt fejezi ki, hogy hány mg KOH szükséges az 1 g zsírban lévő szabad zsírsavak közömbösítéséhez. Az elszappanosítási szám megmutatja, hogy hány mg KOH szükséges 1 g zsír teljes elszappanosításához. A jódszám megadja, hogy 100 g zsiradék vagy zsírsav hány g jódra átszámolt halogént tud megkötni. A jódszám a zsiradék kettős kötéseiről ad információt. A hidroxilszám az 1 g zsír acetilezéséhez felhasznált ecetsavval ekvivalens KOH mennyiségét adja meg milligrammban; ez az érték a zsiradékban lévő szabad alkoholos hidroxilcsoportok mennyiségének meghatározására szolgál (hidroxizsírsavak, szabad glicerin, mono- és diacil-glicerinek). A peroxidszám a zsiradékok autoxidációs átalakulásának primer folyamatában keletkező peroxidok mennyiségét adja meg.

#### 4.7.3. Fontosabb természetes zsiradékok

A *tejzsiradékok* zsírsav-összetétele függ az évszaktól, a takarmány minőségétől, az állat fajától, korától, valamint a laktációs állapotától is. A tejszír bonyolult összetételű; egyszerű lipideket, összetett lipideket és lipidszármazékokat is tartalmaz. Lágy konzisztenciája a viszonylag nagy mennyiségben jelen lévő kis szénatomszámú zsírsavaknak tulajdonítható. A vajsav az összes természetes zsiradékot figyelembe véve csak a tejszírban fordul elő.

A *sertészsír* és a *marhafaggyú* összetételére a nagy palmitinsav-, sztearinsav- és olajsavaránya jellemző. A sertészsír összetételét a takarmány minősége és összetétele nagyban befolyásolja. Szilárd állapotban fehér, lágy és jól kenhető, gyenge, de jellegzetes illatú anyag. Vízmentes állapotban, a szöveti részekről elkülönítve, jól eltartható. A zsírszövetekben az igen aktív *lipoxidáz* enzim található, amely a feldolgozási eljárás alatt inaktíválódik. A marhafaggyú szilárd állapotban fehér, szürkésfehér vagy sárga színű, jellegzetes ízű és illatú anyag. Sztearinsav-tartalma

nagyobb, olajsav- és linolsavtartalma kisebb, palmitinsav-tartalma pedig megegyezik a sertészsíréval.

A *baromfizsírok* összetétele elsősorban a fajtától függ; jellemző rájuk a viszonylag alacsonyabb sztearinsav-tartalom és a rendkívül magas olajsav- és linolsav-koncentráció. Közülük legnagyobb jelentősége a libazsírnak van, amely szemcsés szerkezetű, fehér vagy halványsárga színű, 25–37 °C között olvadó anyag. A tyúkszír szobahőmérsékleten lágy állományú, kellemes illatú és ízű, sárgás színű anyag, amelynek olvadáspontja 23–40 °C között van.

A *tengeri állatok zsiradékai* közül a halolajnak, a halmájolajnak és a bálnazsírnak van a legnagyobb jelentősége. Jellemző rájuk a C<sub>14</sub>–C<sub>22</sub> telítetlen zsírsavak nagy koncentrációja. A halolajak rendkívül sok telítetlen zsírsavat tartalmaznak, amelyet a 160–180 közötti jódszám igazol. A halmájolajak zsírsav-összetételében dominálnak a 16–22 szénatomszámú telítetlen zsírsavak, de mellettük 10–20%-ban palmitinsavat és kb. 1%-ban sztearinsavat is tartalmaznak. Nagy mennyiségben tartalmaznak A- és D-vitaminokat. A bálnazsírokra a zsírsavak nagyfokú telítetlensége mellett a 20–24 szénatomszámú zsírsavak magas aránya a jellemző. A mindhárom zsírra jellemző nagyfokú telítetlenség miatt a tengeri állatok zsiradékai gyorsan romlanak.

A *növényi zsiradékokat* a nyersanyag jellegétől függően gyümölcshúszírokra és magsírokra osztjuk. A *gyümölcshúszírokhoz* tartozik a *pálmaolaj*, amely az olajpálma termésének húsából nyerhető. 30–50% palmitinsavat, 42–52% olajsavat és mintegy 10% linolsavat tartalmaz. Vöröses színét a karotinok okozzák. Az *olívaolaj* az olajfa termésének gyümölcshúsából nyerhető ki. 70–85% olajsavat, 7–14% palmitinsavat és 4–12% linolsavat tartalmaz. Halványzöld színű, kellemes illatú, enyhén édeskés ízű, nehezen avasodó, a nem száradó olajok közé tartozó anyag. Az e csoportba tartozó *avokádóolaj* jelentősége az előző kettőénél kisebb.

A *magsírok* a növényi magvak zsírszöveiteiben fordulnak elő. Szilárd és félig szilárd magzír a laurinsavban és a mirisztinsavban dús *kókuszszír* és a palmitinsavban és sztearinsavban dús *kakaóvaj*. A magolajok közül nagy palmitinsav-tartalmú a *gyapotmagolaj* és *kukoricaolaj*, olajsavban és linolsavban gazdag, palmitinsavban pedig szegény a *mogoróolaj* és a *napraforgóolaj*. A hüvelyesek olajai közé tartozik a *földimogyoróolaj* és a *szójaolaj*, a keresztesvirágú növények olajai közé a *repceolaj*, és e csoportba tartoznak még az étkezési célokra alkalmas növényi olajok is.

A *kókuszszír* a kókuszpálma gyümölcsének maghúsából kinyert zsír, amely laurinsavban és mirisztinsavban rendkívül gazdag. A *kakaóvaj*, a kakaócserje termésének magzsírja, a nagy palmitin- és sztearinsav-összetételű magzsírok csoportjába tartozik. Halványsárga, megolvadva erősen sárga színű, amely színt a karotinoidek okozzák. Kellemes, aromás ízhatású anyag, az aromaanyagok azonban gyorsan elillannak, ezért vízgőz-desztillációval teljesen íz- és illatmentes kakaóvaját lehet nyerni. Zsírsav-összetételére a 32–37%-os sztearinsav-tartalom, a 22–30%-os palmitinsav-tartalom és a 30–37%-os olajsavtartalom a jellemző. A *gyapotmagolaj* palmitinsavban gazdag zsír, mert palmitinsav-tartalma 10%-nál nagyobb. Mint étkezési olajnak, a nagy gyapottermelő országokban van jelentősége. A *kukoricacsíraolaj* a keményítőgyártás melléktermékéből, a kukoricacsírából nyerhető ki, amelynek 33–36%-a a csíraolaj. A palmitinsavban gazdag zsírok közé tartoznak a gabonafélék csíraolajai is. A búzacsíra olajtartalma 7,5–12%; jellemző rá, hogy linolénsavat egyáltalán nem tartalmaz.

A palmitinsavban szegény, az olaj- és linolsavban gazdag magzsírok csoportjába tartozik a *napraforgóolaj*, a *mandulaolaj*, a *mákolaj*, a *mogyoróolaj*, az *olívamagolaj*, a *földimogyoróolaj* és a *lenmagolaj*. A napraforgóolaj a napraforgómagban található, mintegy 42–63%-ban. Préseléssel nyerhető ki a mélysárga színű olaj, amelynek linolsav-tartalma 60%-nál nagyobb. A napraforgóolaj mellett, hogy egyik legfontosabb étolajunk, a hazai margarinyártásnak is alapanyaga. Értékesebb az újabban terjedő hidegen préseléses technológiával készült napraforgóolaj. A lenmagolaj jelentős mennyiségben linolsavat, linolénsavat és olajsavat tartalmaz. A friss lenolaj sötét aranysárga színű, a gyors oxidáció és egyéb átalakulások miatt étkezési célokra nem nagyon alkalmazzák. A vegyipar lakkok és linóleum gyártására használja fel.

A *hüvelyesek zsírjaiban* az olajsav és a linolsav mellett arachinsav és lignocerinsav is található. A *szójaolaj* világos vagy gyengén sárga színű, igen rövid ideig eltartható olajfajta, mivel a különböző oxidációs folyamatok következtében íz- és illatváltozás lép fel. Hidrogénezéssel eltarthatósága növelhető, ezért ipari zsiradékként és margarinyártásra használják fel. Zsírsav-összetételére jellemző az 55% linolsav-, a 24% olajsav-, a 10% linolénsav- és a 10% palmitinsav-tartalom. A keresztesvirágúak zsiradékainak zsírsav-összetételére a 40–50% közötti mennyiségben előforduló erukasav a jellemző. Az e csoportból legjelentősebb olajféleséget, a *repceolajat*, étkezési olajként csak erukasavmentes válto-

zatban használják. A hidrogénezett repceolaj mint élelmiszer-ipari zsiradék vagy mint a margaringyártás alapanyaga jöhet számításba.

## 4.8. A lipidek biokémiai változásai

A legegyszerűbb változás a lipidek esetében a triacil-glicerinek hidrolízise *lipáz* enzim hatására, a foszfolipidek hidrolízise *foszfolipázok* hatására, de a legtöbb problémát okozó változások a lipidek oxidációja. Ez az oxidáció lehet enzimes eredetű, pl. *lipoxigenázok* hatására, vagy végbemehet a levegő oxigénjének hatására. Az ipari, illetve a konyhai feldolgozás során a hőhatás is okozhat különböző elváltozásokat, amelyeknek egy része nem oxidatív jellegű bomlás, illetve polimerizáció.

### 4.8.1. A lipidek és olajok változásai a tárolás és feldolgozás során

A *lipidek hidrolízise* lehet enzimhatás következménye, de okozhatja hőhatás vagy egyéb, kémiai jellegű tényezők is. Az élő állati szervezet zsírszöveiteiben gyakorlatilag nincs szabad zsírsav, azok csak a zsírszövet feldolgozása után keletkeznek. Az állati zsírszövetekkel szemben az érett olajos magvak nagy része jelentős *lipázaktivitással* rendelkezik, így nagyobb mennyiségű szabad zsírsav keletkezhet. A zsírok és olajok hőkezelése, különösen víz jelenlétében, szintén okozhat hidrolízist. A szabad zsírsavak megjelenése mindenképpen hátrányos, mert ezek esetében az autooxidációs folyamatok könnyebben indulnak meg, mint az észter formában kötött zsírsavaknál.

A zsírok tárolása és feldolgozása során fellépő változások közül az *oxidációs elváltozások* a legjelentősebbek, amelyekre jellemző a peroxidképződés és a láncreakciószerű lefolyás, ezért ezeket a folyamatokat gyakran autooxidációnak, illetve peroxidációnak hívják. A lipidek *peroxidációja* (autooxidációja) a telítetlen zsírsavak nagyfokú instabilitásával kapcsolatos, aktív oxigént tartalmazó rendszerekben. Oxigént tartalmazó körülmények között a telítetlen zsírsavak az élő szervezet szerves vegyületei közül a leglabilisabbak közé tartoznak. A zsírsavak autooxidációja az élelmiszerekben nemkívánatos íz- és szagelváltozásokhoz, az élvezeti érték csökkenéséhez vezet. Az oxidációs termékek, reakcióba lépve más élelmiszer-komponensekkel, több kedvezőtlen vál-

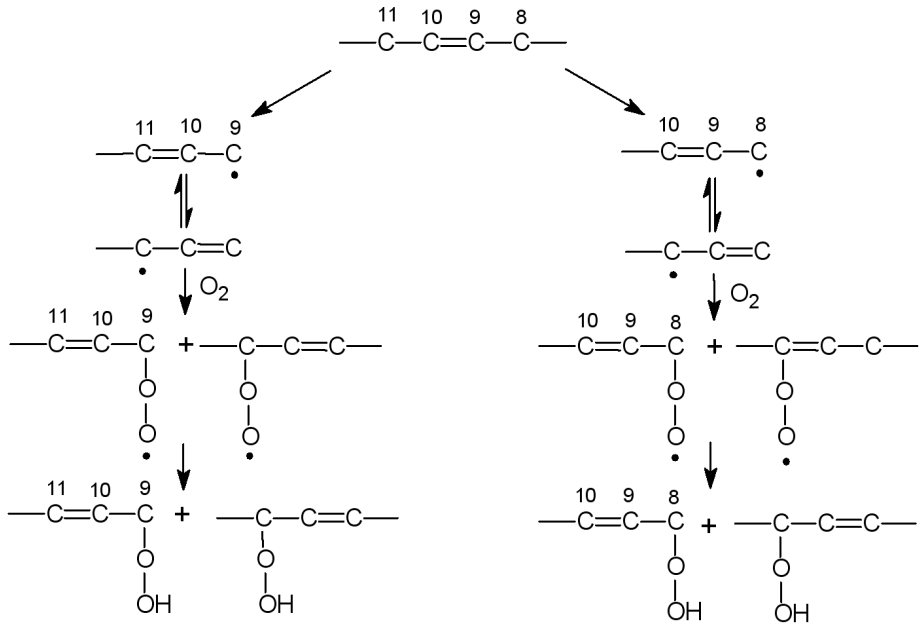
tozást (elszíneződés, a fehérjék emészthetősége és a biológiai érték csökkenése) válthatnak ki.

Az élő szervezetben lezajló peroxidációs folyamatoknak a szervezetre gyakorolt toxikus és károsító hatásai az alábbiak: a lipoprotein membránok áteresztőképességének zavara, a biokémiai és élettani folyamatok szabályozómechanizmusának zavara, a membránok és strukturális folyamatok változásai, ennek során zavart szenved az oxidatív foszforilálás és az ionok aktív transzportja, felbomlik az intracelluláris szerkezet, a lizoszómák szétesnek és kiáramlanak a sejtbe, aminek következménye az önmérsztés, a sejtthártya szétesése, a hemolízis és a mitokondriumok károsodása.

A peroxidok a sejt sok fontos alkotórészét képesek oxidálni és denaturálni. A lipoid-peroxidok oxidálják a tiolokat és a fehérjék SH-csoportjait, denaturálják a fehérjéket, gátolják az enzimaktivitást és megváltoztatják a szubsztrátspecificitásukat, oxidálják a *citokrom c-t*, gátolják a glikolízist és a trikarbonsav ciklust, a sejtosztódást és a vérképzést, valamint a dezoxiribonukleotidok, az aminosavak és a vitaminok anyagcseréjét. A peroxidok és a szabad gyökös folyamatok fontos szerepet játszanak számos patológiás állapot kialakulásában, mint amilyen pl. a sugárbetegség, a zsírmáj szindróma, az érlemeszesedés és a szervezet öregedése.

Az *autooxidáció kinetikája* négy lényeges szakaszra bontható. Az első szakasz a *láncreakció iniciációja*, tehát olyan gyökök képződése, amelyek a láncreakció kiindulási alapját képezik. Az iniciáló szakasz folyamatai különbözőek lehetnek aszerint, hogy élő szervezetről vagy olyan rendszerről van-e szó, ahol a nem enzimés folyamatok az uralkodók. Ez utóbbi helyzet áll fenn az élelmiszer-ipari zsiradékokban és a húsipari zsírszöveteket tartalmazó termékekben, nyersanyagokban. Ilyen esetben a gyökképződés csaknem kizárólagos útja a  $-CH_2-$  csoportok hidrogénjének leszakadása. Az olefinek kettős kötéséhez képest  $\alpha$ -helyzetű  $-CH_2-$  csoportjának hidrogénje az átlagnál labilisabb, és különleges helyzetet foglalnak el a gyökképződés és autooxidáció szempontjából a többszörösen telítetlen és konjugált kettős kötésű rendszerek is. Az előző rendszereken túl az élő szervezetekben is sok lehetőség van olyan gyökök kialakulására, amelyek a lipid-peroxidáció kiindulópontját képezik (4.24. ábra).

A peroxidációs láncreakció következő szakasza a *láncreakció továbbhaladása*, amelynek során zsírsavperoxid-gyök, majd zsírsavhidroperoxid keletkezik újabb, a láncreakció folytatását biztosító zsír-



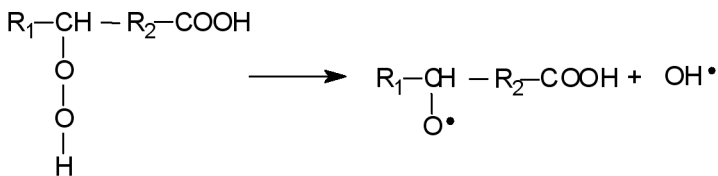
4.24. ábra. Az oleát hidroperoxidok képződésének mechanizmusa

savgyök kialakulásával. A természetes zsiradékok vagy zsírtartalmú élelmiszerek autooxidációját vizsgálva megállapítható, hogy az intenzívebb peroxidszám-emelkedést rövidebb-hosszabb *indukciós periódus* előzi meg, ami azzal magyarázható, hogy a rendszer olyan természetes inhibitorokat tartalmaz, amelyek az autooxidációs láncreakció kialakulását késleltetik. A jelenleg elfogadott mechanizmus szerint az elsődlegesen képződött oxidációs termék mindig a peroxid. Az oxidáció során bekövetkező oxigénfelvételtől és a peroxidmennyiség alakulásából látható, hogy kezdetben az oxigénfelvételi és a peroxidtartalom görbe teljesen egybeesik, vagyis a felvett oxigén teljes egészében peroxid formájában van jelen. Későbbi fázisban a két görbe elválik, a peroxidszám a maximum elérése után csökken, mutatva azt, hogy fokozatosan más oxigéntartalmú vegyületek is megjelennek ebben a fázisban, tehát egyidejűleg játszódhat le peroxidképződés és peroxidátalakulás. A hidroperoxidok képződésének mechanizmusát tanulmányozva az oleátnál kimutatták,



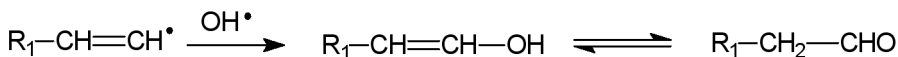
hogya a 8. és 11. szénatomról leválik egy-egy hidrogén, két allilgyök intermedier keletkezése közben. Az oxigén támadása mindegyik gyök szélső szénatomjainál négy izomer hidroperoxidot eredményez (8-, 9-, 10- és 11-allil-hidroperoxid). A 8- és 11-hidroperoxidok mennyisége valamivel nagyobb a másik kettőénél. 25 °C-on a 8- és 11-hidroperoxidok kb. egyenlő arányban vannak transz, illetve cisz konformációban, míg a 9- és 10-hidroperoxidok zömmel transz formában vannak jelen.

A hidroperoxidok többlépcsős folyamatban bomlanak le, sok másodlagos termék keletkezése közben. Ezek a termékek további oxidációra képesek, lebomlási reakciókban vesznek részt, amelyeknek egy része növelheti azon gyökök számát, amelyek az autooxidációt fenntartják. A hidroperoxid-bomlás egyik jellegzetes lépése az alkoxigyökök képződése az alábbiak szerint (4.25. ábra).



4.25. ábra. Az alkoxigyökök képződése

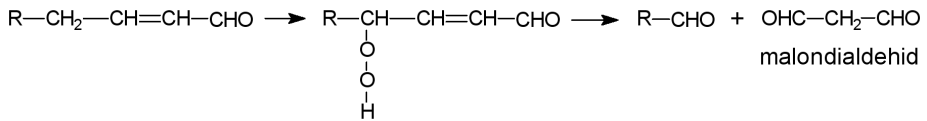
A továbbiakban a C-C kötések bontása következik be, amelynek eredményeként aldehid, sav, oxosav vagy szénhidrogén keletkezik. Az aldehid a hidroxilgyökök közreműködésével jön létre (4.26. ábra).



4.26. ábra. Az aldehidek kialakulása

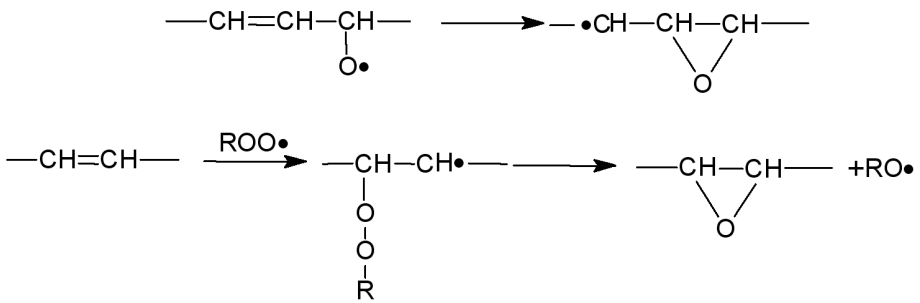
Az aldehidek további átalakulása oxidációval szerves savakat eredményez, telítetlen aldehidekből pedig még ciklikus vegyületek is képződhetnek. A telítetlen aldehidek oxidációjának egyik, gyakran előforduló terméke a malondialdehid (4.27. ábra), amely keletkezésének egyik módja az alábbi:

Az egyéb lehetséges reakciók közül megemlíthető a hidroxilgyökökkel való alkoholképződés, a hidrogénleadással való alkénképződés, vala-



4.27. ábra. A malondialdehyd keletkezése

mint a hidroxisavak és ketosavak képződése. Az alkoxi- és peroxigyökök epoxidokat is eredményezhetnek, az alábbi reakciók szerint (4.28. ábra).



4.28. ábra. Az epoxidok keletkezése

Hőhatásra dimerizáció és polimerizáció is lejátszódhat, amelynek következtében csökken a jódszám, nő a móltömeg és a viszkozitás, és gyakori a ciklikus vegyületek képződése is.

A zsiradékok romlását megelőzően az oxigén kizárása gyakorlatilag szinte teljesen megoldhatatlan, és az autooxidációt aktiváló fénysugaraktól sem tudjuk a zsiradékokat teljesen elzárni. A zsiradékok avasodásának gátlása vegyi úton a leghatásosabb, amit természetes vagy mesterséges antioxidánsokkal lehet elvégezni. A leghatásosabb természetes antioxidánsok a zsiradékok el nem szappanosítható részében található  $\alpha$ -,  $\beta$ - és  $\gamma$ -tokoferolok, a lipokrómok, a szterinek, a foszfátidok és a glükozidok. A zsiradékok romlásának meggátlására mesterséges antioxidánsok egész sorát próbálták ki és alkalmazták a zsírtartalmú élelmiszerek tárolásának meghosszabbítása érdekében. Az antioxidánsok lehetnek *iniciáló* vagy *egyfunkciós antioxidánsok*, *dezaktivátorok*, *kelátképző anyagok* és *többfunkciós antioxidánsok*.

Az *iniciáló* vagy *egyfunkciós* antioxidánsok feladata a szabad gyökök lekötése és ezáltal a láncreakció gátlása. A különféle élelmiszer-

ipari termékekhez különböző kémiai szerkezetű antioxidáns kiválasztása szükséges, és a kiválasztás mellett további problémát okoz az antioxidáns bedolgozása a védendő anyagba. Az emberi táplálkozás céljára engedélyezett antioxidánsok közül a legfontosabbak az egyes mono- és polifenol-származékok, amelyek aktivitása szorosan összefügg a kinonok és hidrokinonok redox egyensúlyával. A két leggyakrabban használt antioxidáns a BHA (butil-hidroxi-anizol) és a BHT (butil-hidroxi-toluol). A BHA jól állja a hőkezelést, a sütést, a zsírban pirítást, az esetek többségében 0,01%-os koncentrációban stabilizálja a végtermék zsírtartalmát, és növeli annak eltarthatóságát. A BHT-re is jellemző a hőstabilitás; a jobb stabilizáló hatás érdekében a két antioxidánst együttesen alkalmazzák.

A *dezaktivátorok* olyan, hatást növelő szinergens anyagok, amelyek feladata az elsődleges antioxidánsok hatásának fokozása. Közéjük tartozik a citromsav, az aszkorbinsav és más hidroxisavak, a savanyú és polifoszfátok, valamint bizonyos foszfolipidek. Amennyiben valamely élelmiszerben a fém mennyisége meghaladja a nyomnyi koncentrációt, az antioxidáns hatás csak kelátképző anyagokkal együtt való alkalmazástól várható. Az élelmiszerekben használatos kelátképző anyagok legismertebbje, az etilén-diamin-tetraecetsav (EDTA) segítségével a szabad fémion-koncentráció igen alacsony szintre csökkenthető. A természetben előforduló vitaminok könnyen oxidálódnak, amelynek megakadályozására az EDTA alkalmas. Szárított élelmiszerekben a zsíroldható A-, D-, E- és K-vitamin EDTA és BHT vagy más antioxidáns keverékével stabilizálható. Az egy- és többfunkciós antioxidánsok között nem lehet éles határt vonni, amire példa az aszkorbinsav, amely amellet, hogy jó szinergens hatású, antioxidánsok és tokoferolok jelenlétében megakadályozza az oxidációs barnulást és a különböző élelmiszerekben az ízváltozásokat.

A lipidek hő okozta elváltozásai során a zsírsavakat, az észtereket és a triglicerideket külön kell értékelni aszerint, hogy csak telített vagy telítetlen kötéseket is tartalmaznak. A telített zsírsavakból termolitikus reakciók során savak, szénhidrogének, propéndiol, észterek, akrolein és ketonok, az oxigén hatására létrejövő reakciók során alkánok, aldehidek, ketonok és laktok keletkeznek. A telítetlen zsírsavakból termolitikus reakciók során aciklikus és ciklikus dimerek, valamint különféle polimerek, az oxidáció során pedig illó és dimer termékek keletkezhetnek.

## 4.9. A zsírok, az illózsírsavak, a zsírsavak és az antioxidánsok meghatározása

### 4.9.1. A nyerszsírtartalom meghatározása

Takarmányok és élelmiszerek nyerszsírtartalmát *Soxhlet-féle visszafolyó készülékben, éteres vagy petroléteres kivonás után határozzuk meg*. Az extrahálószer elpárolgatása után visszamaradó anyag tartalmazza a valódi zsírokat, a foszfatidokat, a viaszokat, a szterin-származékokat, a színyanyagokat és az illózsírsavak nagyobbik részét.

A nyerszsírtartalom meghatározása során 1 mg pontossággal lemérünk 5 g vizsgálandó anyagot ( $m_o$ ), zsírmentes extrahálóhüvelybe helyezük, és a hüvelyt zsírmentes vattával lezárjuk. A vizsgálandó mintát tartalmazó hüvelyt az extrahálókészülék középrészébe helyezük, majd összekapcsoljuk a 4–5 szem horzsakövet tartalmazó, előre lemért ( $m_2$ ) és n-hexánnal vagy petroléterrel 3/4 részig megtöltött lombikkal. A hűtő felhelyezése után a mintát hat órán keresztül olyan fűtéssel extraháljuk, hogy a szivornya óránként legalább tízszer cserélje az oldószert. Az extrahálás során a minta mindig friss extrahálószerrel érintkezik, hiszen a zsíros oldószer lombikba való visszaszívása után onnan csak az extrahálószer tud elpárologni, mivel az extrahált zsírok forráspontja többszöröse az oldószérének. Ezzel az eljárással rendkívül hatékony kioldást lehet elérni viszonylag csekély mennyiségű oldószer alkalmazásával. Hatórás extrahálást követően, a mintát tartalmazó hüvely eltávolítása után az oldószert a lombikból a középrészbe desztilláljuk, és onnan folyamatosan eltávolítjuk. A zsírt és az oldószer maradékait tartalmazó lombikot egy órára 98 °C-os ( $\pm 2$  °C) hőmérsékletű szárítószekrénybe helyezük, majd exszikkátorban hűtjük, mérjük. Lemérés után további fél órán át szárítjuk. Kihűlés után mérjük, majd ezeket a műveleteket mindaddig ismételjük, amíg a két utolsó mérés közötti eltérés kevesebb lesz 1 mg-nál. Az utolsó mérés eredménye  $m_1$ . A nyerszsírtartalmat a következő képlet szerint számítjuk, és tömegszázalékban fejezzük ki:

$$\text{nyerszsír \%} = \frac{m_1 - m_2}{m_o} \cdot 100,$$

ahol:  $m_o$  = a vizsgálatra bemért minta tömege (g),

$m_1$  = a lombik, a horzsakő és a száraz kivonat tömege (g),

$m_2$  = a lombik és a horzsakő tömege (g).

A nyerszsírtartalmat két, párhuzamos meghatározás eredményének középértékeként, egytizedes pontossággal adjuk meg. A párhuzamos vizsgálat között megengedett legnagyobb eltérés 0,3% nyerszsír.

Állati eredetű takarmányok és élelmiszerek esetében a zsírtartalmat ezzel a módszerrel rendkívül nehéz a minta egyéb komponenseitől elválasztani, ezért ilyen esetekben a *Soxhlet*-extrakciót megelőzően a mintát sósavas kezelésnek kell alávetni. A sósavas kezelés során a zsír elválik a minta egyéb alkotórészeitől, szűrőpapíron a szabaddá vált zsír és a minta egyéb részecskéi könnyen felfoghatók, ezt követően az előzőekben ismertetett módszer szerinti *Soxhlet*-extrakció elvégezhető.

#### 4.9.2. A peroxidszám és a savszám meghatározása

A zsírok tárolása során bekövetkező minőségi romlást okozó elváltozásokat gyűjtőnéven avasodásnak hívjuk. Ez lehet egyszerű hidrolízis vagy oxidatív avasodás. A hidrolíziskor keletkező szabad zsírsavak lúgot kötnek meg, ezen alapul a zsírok (olajok) *savszámának* meghatározása.

A telítetlen zsírsavak kettős kötéseai igen reakcióképesek, különösen a többszörösen telítetlen olajok hajlamosak oxidatív avasodásra, peroxidok, majd aldehidek, ketonok képzésére. Az erélyes oxidáló hatású peroxid a kálium-jodid-oldatból jódot szabadít fel, és ennek jodometriás titrlálásán alapul a *peroxidszám* meghatározása.

A peroxidszám, illetve a savszám meghatározásához a zsírkinyerést élelmiszerekből és takarmányból a következők szerint végezzük. A vizsgált anyag zsírtartalmának függvényében 200–300 g mintát teszünk egy kb. 5 cm belső átmérőjű és 1 m hosszú üvegcsőbe, folyamatosan annyi petrolétert öntünk rá, hogy a lecsepegő zsíroldat térfogata 150–200 cm<sup>3</sup> legyen. A másfél óra alatt általában letisztult oldatot zsírlombikba öntjük át, majd a petrolétert a zsírról az oldat felhabzásáig ledesztilláljuk. A petroléteres zsíroldat felhabzása után a desztillálást befejezzük. A további vizsgálathoz a lehűlt petroléteres zsíroldatot használjuk, amelynek zsírtartalmát a következők szerint határozzuk meg.

A száraz, 1 mg pontossággal lemért (*A*) csiszolt fedelű bemérőedénybe 1 cm<sup>3</sup>-t pipettázunk a vizsgált petroléteres oldatból, és egy órára 100 °C-os szárítószekrénybe tesszük. Lehűlés után mérjük az együttes tömeget (*B*), amelynek segítségével az 1 cm<sup>3</sup>-es petroléteres zsíroldat zsírtartalma (*Zs*) g-ban a következő szerint számítható:

$$Zs = B - A.$$

Az így kapott hideg zsíroldatból végezzük el a peroxidszám és a savszám meghatározását.

#### 4.9.2.1. A peroxidszám meghatározása

A petroléteres zsíroldatból osztott pipettával  $2\text{ cm}^3$ -t pipetázunk  $250\text{--}300\text{ cm}^3$ -es jódszámú lombikba, hozzáadunk  $20\text{ cm}^3$  ecetsav-kloroform  $2 : 1$  arányú elegyét, és  $2\text{ g}$  porított kálium-jodidot, majd ötpercnyi állás után vízfürdőn forrásig melegítjük (amíg a légbuborékok a felszín  $2/3$ -át be nem borítják). Ezután hideg vízben gyorsan hűtjük, és már hűtés közben  $25\text{ cm}^3$   $1\%$ -os kálium-jodid-oldatot adagolunk hozzá.  $1\text{ cm}^3$  keményítőindikátor-oldat jelenlétében a kivált jód  $0,01\text{M}$   $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -mérőoldattal erős rázogatózás közben megtitráljuk. A peroxidszámot az alábbi képlettel számítjuk, és  $\text{cm}^3/100\text{ g}$  egységben adjuk meg.

$$P = \frac{A \cdot 10}{Z_s \cdot 2},$$

ahol:  $P$  = peroxidszám, amely megadja az  $1000\text{ g}$  zsír által leválasztott jóddal egyenértékű  $1\text{M}$   $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -einek számát,

$A$  = a fogyott  $0,01\text{ M}$ -os pontos koncentrációjú  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ( $\text{cm}^3$ ),

$Z_s$  = az  $1\text{ cm}^3$  petroléteres zsíroldatban lévő zsír mennyisége ( $\text{g}$ ).

#### 4.9.2.2. A savszám meghatározása

Az előzőekben ismertetett módon kapott petroléteres zsíroldatból beosztásos pipettával  $1\text{ cm}^3$ -t mérünk be egy  $250\text{--}300\text{ cm}^3$ -es *Erlenmeyer*-lombikba, majd hozzáadjuk a  $10\text{ cm}^3$  dietiléter-alkohol  $1 : 1$  arányú keverékét. Az oldathoz  $2\text{--}3$  csepp  $1\%$ -os fenolftaleinindikátor-oldatot adunk, és  $0,1\text{M}$ -os etil-alkoholos  $\text{KOH}$  mérőoldattal megtitráljuk. A savszámot az alábbi képlettel számítjuk, és  $\text{mg/g}$  ( $\text{mgKOH}/1\text{ g}$  zsír) egységben adjuk meg:

$$S = \frac{a \cdot 5,611}{Z_s},$$

ahol:  $5,611 =$  az  $1 \text{ cm}^3$   $0,1 \text{ M}$ -os alkoholos KOH mérőoldatban lévő KOH tömege (mg),

$S =$  savszám, az  $1 \text{ g}$  zsír közömbösítéséhez szükséges KOH mennyisége (mg),

$a =$  a fogyott etil-alkoholos  $0,1 \text{ M}$  KOH mérőoldat ( $\text{cm}^3$ ),

$Zs =$  az  $1 \text{ cm}^3$  petroléteres zsíroldatban lévő zsír mennyisége (g).

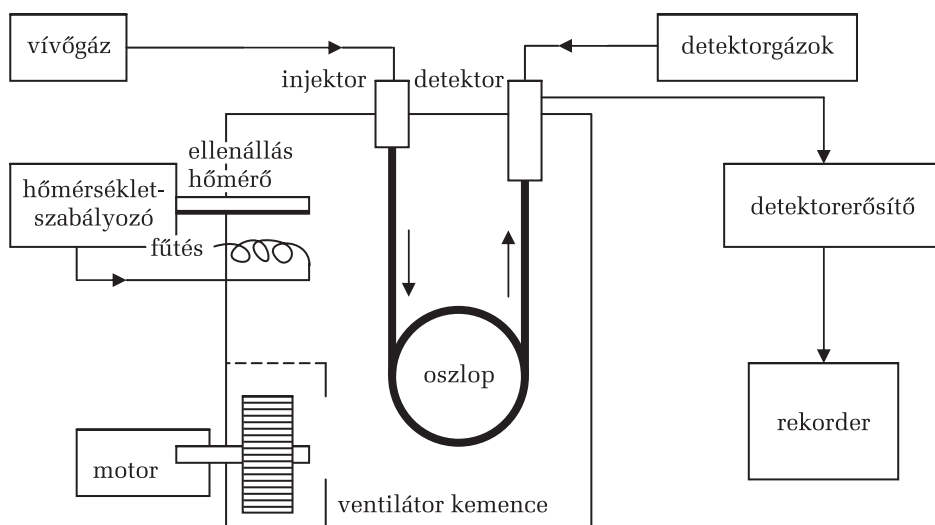
A peroxidszámot és a savszámot két, párhuzamos mérés középértékeként, egész számban adjuk meg.

#### 4.9.3. A zsír zsírsav-összetételének meghatározása gázkromatográfiásan

A gázkromatográfia a kromatográfias módszerek közé tartozik. Jellemzője, hogy a mozgó fázis gáz vagy gőz állapotban van jelen, az álló fázis pedig folyadék (kémiaailag inaktív hordozóra felvitt polimerek, zsírok, szilikonolajok) vagy szilárd anyag (aktív szén granulátum, szilikagél, alumínium-oxid). A gáz-folyadék kromatográfia esetén a folyadékban való oldékonyság különbsége eredményezi az elegy alkotórészeinek szétválását. A gáz-szilárd kromatográfia esetén az elválasztás alapja az álló fázis felületén lejátszódó adszorpció különbsége. A gázkromatográfia rendkívül jól használható illó vagy illékonyra tehető vegyületek analízisére, valamint alkalmas az optikai izomerek szétválasztására is.

Összefoglalva tehát, a gázkromatográfia lényegében azon alapul, hogy a különféle illékony anyagok molekulái adott hőmérsékleten, adott gáznyomás esetén különböző ideig tartózkodnak a szilárd vagy folyékony adszorbens felületén, azaz a molekulák szerkezetüktől függően különböző időtartam után deszorbeálódnak. Ha egy adszorbenssel töltött kromatográfias oszlopon gázelegyet áramoltatunk, akkor az oszlopról először a leggyengébben adszorbeáló komponens lép ki, majd ezt követi a növekvő erősségű adszorpció sorrendjében a többi komponens. Az egyes alkotórészek különböző ideig tartózkodnak a kromatográfias oszlopon. A gázelegy áramlásának kezdetétől számított idő, amely alatt az egyes komponensek az oszlopot elhagyják, a *retenció idő*, amely adott kromatográfias rendszerben jellemző az egyes komponensekre.

A gázkromatográfiahoz szükséges eszközök mind a gáz-szilárd, mind a gáz-folyékony rendszerű eljárásokban azonosak: vivőgáz rendszer, mintaadagoló berendezés, kromatografáló oszlop vagy kolonna, érzéke-



4.29. ábra. A gázkromatográf elvi felépítése

lőberendezés vagy detektor és regisztrálóberendezés, amelyet újabban a komputer és a szoftverek helyettesítenek (4.29. ábra).

A gázkromatográfiában csak olyan vivógáz használható, amely sem a vizsgálandó anyaggal, sem az oszlop töltetével nem lép kémiai kölcsönhatásba. Leggyakrabban vivógázként nitrogént, hidrogént, héliumot, argont, szén-dioxidot, ritkán levegőt vagy oxigént használnak. A kromatográfiás készülékeket gázpalackból látják el vivógázzal, amelyet még tisztítani vagy szárítani szükséges. A gázkromatográfiás készülékbe a vivógáz belépése után a mintaadagoló berendezés segítségével juttatjuk be a mintát. A vizsgálandó anyagot általában folyadék halmazállapotban tápláljuk a készülékbe, de lehetséges a gáz, sőt a szilárd halmazállapotban való bejuttatás is. A kolonnában a mintának már légneműnek kell lenni, ezért folyékony vagy szilárd anyag vizsgálatakor az adagoló és az oszlop közé előmelegítőt kell beiktatni, amellyel a minta elpárologtatható. Folyékony minták adagolására különleges fecskendőket szerkesztettek, amelyek a hozzájuk tartozó tüvel egy szilikongumi réteget szűrnak át, így a vizsgált anyagot a gázkromatográf kellően felmelegített adagolóterébe lehet fecskendezni. A készülékhez töltött és kapillaris vagy más néven üres kolonnák csatlakoztathatók. A *töltött kolonnák* készülhetnek üvegből, alumíniumból, rézből, valamint saválló acélból. Átmérőjük 2–4 mm, hosszuk 1–6 m között változik. A hosszabb oszlopokat csak spirál



alakban helyezhetjük el, mert másképp nem férnének el a termosztátban. A *kapilláris kolonnák* anyaga az előzőekben ismertetettekén túl lehet még műanyag is. A kapilláris csövek belső felületét különböző módszerekkel növelik azért, hogy minél több folyadékot lehessen arra felvinni. Belső átmérőjük 0,1–1 mm, hosszuk 10 és 100 m között változik, de speciális analitikai célokra használhatnak több száz méteres kapilláris kolonnákat is. A kapilláris kolonnát orsóra vagy egyéb tartóra tekerik fel, ami lehetőséget ad a ki- és bevezetés kialakítására is. A kromatografáló oszlop töltete, attól függően, hogy adszorpciós vagy megoszlási kromatografálást végzünk, más és más lehet. Adszorpciós gázkromatográfiában a töltet felületaktív, kémiaiilag indifferent, nagy fajlagos felületű, poláros vagy apoláros, szemcsés anyag. A megoszlási gázkromatográfiánál a folyadék töltetet a hordozóanyag felületére vagy a kapilláris cső falára viszik fel.

A nedvesítőanyaggal szemben követelmény, hogy a kromatografálás hőmérsékletén folyékony, kémiaiilag közömbös legyen, és tartósan maradjon meg a hordozó felületén, illékonyága lehetőleg minél kisebb, oldékonyága minél nagyobb legyen. Nagyon jól megfelelnek erre a célra a különböző szilikonolajok.

A szétválasztani kívánt komponensek tulajdonságaitól és a kolonna töltetétől függően a rendszert szobahőmérséklettől 400 °C-ig temperálhatjuk. Mivel a kromatográfiás elválasztást a hőmérséklet jelentős mértékben befolyásolja, a kolonna hőmérséklete csak szűk határok között ingadozhat. A mai modern készülékeknél a termosztát fűtése is megoldható, amelynek során a termosztát hőmérséklete 0,1–50 °C/perc értékkel is változtatható.

A kolonnáról távozó komponensek folytonos, gyors és érzékeny észlelésére a különböző *detektorok* szolgálnak. A detektor a komponens megjelenésekor a kilépő gázáram valamilyen fizikai vagy kémiai tulajdonságának megváltozását érzékeli. E változás erősítőn keresztül észlelhető, regisztrálható és értékelhető. A regisztrált jelek összességét *kromatogramnak* hívjuk. A sok kifejlesztett gázkromatográfiás detektor közül legfontosabb a *hővezetőképesség-mérő detektor*, a *lángionizációs detektor*, az *elektronbefogós detektor* és a *lángfotometriás detektor*. A lángionizációs detektor tulajdonképpen egy hidrogénégő, amelyben a láng két elektród között alakul ki, amelyekre 100–300 V feszültséget adunk. A hidrogénláng 2000–2200 °C hőmérsékletén a hidrogén is kismértékben ionizálódik, ami állandó alapáramot biztosít az elektródák között. Ha a kolonnáról szerves anyag jut a detektorba, abból a hidrogénlángban

elégve ionok keletkeznek. Ennek következtében a gáz vezetőképessége, s ennek megfelelően az ionáram, jelentősen megnő. A lángot határoló két elektróda között keletkező ionáram a megfelelő erősítés után regisztrálható.

A detektor jelét egy műszer rögzíti, amelynek segítségével kapjuk meg az elemzés eredményét, a kromatogramot. Regisztráló műszerként általában vonalíró elektronikus potenciométert használunk. Integrátorok segítségével mérni lehet a csúcsok alatti területet, a csúcsok retenciós idejét, használatukkal teljesen automatizált elemzés valósítható meg. Újabb készülékeknél a gázkromatográf működését komputerbe táplált szoftverek segítségével teljeskörűen ellenőrizhetjük. A kromatogramok regisztrálására és értékelésére ma már kizárólag elektronikus integrátorokat vagy számítógépet használunk, amelyek segítségével teljes mértékben kiküszöbölhető a fárasztó és időigényes kézi értékelés.

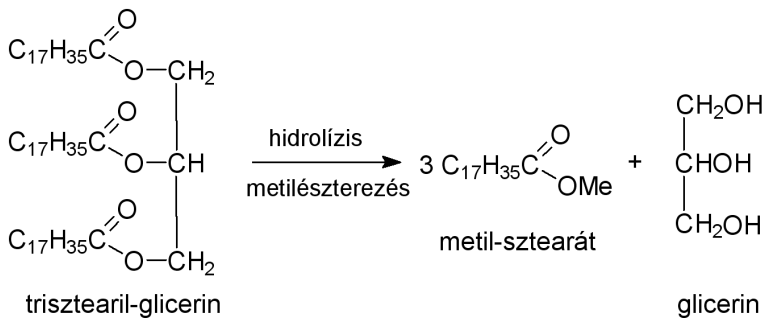
A gázkromatográfias módszereket ma már az élelmiszer-analízis sok területén alkalmazzák. Így többek között gázkromatográfiával határozzák meg az antioxidánsokat, a tartósítószerket, a szermaradványokat, az íz- és aromaanyagokat, valamint az illó vagy illóvá tehető komponenseket (alkoholok, aldehidek, zsírsavak, észterek), valamint újabban használható aminosav-meghatározásra is az aminosavak észterszármazékainak analízise során. A gázkromatográf nehezen illó, illó származékká nem alakítható és hőlabilis anyagok (szénhidrátok, egyes vitaminok) vizsgálatára nem alkalmas. Ezen utóbbi komponensek analízisét nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával lehet elvégezni.

Összefoglalásul tehát a gázkromatográfias analízis menete a következőképpen írható le. Az analizálni kívánt illó komponenseket megfelelő előkészítés, illetve származékképzés után a mintaadagoló mikrofecskendő segítségével a kolonnatér elejére juttatjuk be, 0,5–2  $\mu$ l térfogatban. A magas hőmérséklet hatására a komponensek pillanatszerűen elillannak, és a gőzöket a vivőgáz (nitrogén, hidrogén, hélium vagy argon) viszi magával. A gőz komponensei az álló fázisban oldódnak, de az érkező gázrészecskék hatására egy részük kilép a gáz fázisba, előrehalad, és ismét oldódik a folyadékban. Ez folyamatosan zajlik a kolonna egész hosszában, aminek eredményeként a vizsgált komponensek lemaradnak a gáz fázishoz képest. Ez a lemaradás vagy retenció a különböző anyagoknál az eltérő oldhatóság miatt más és más, emiatt a különböző komponensek a kolonnán eltérő sebességgel haladnak végig, és a végén külön-külön jelennek meg. A minta injektálásától a komponensnek a kolonnából való kilépéséig eltelt idő a retenciós idő, amely adott kolonnánál,

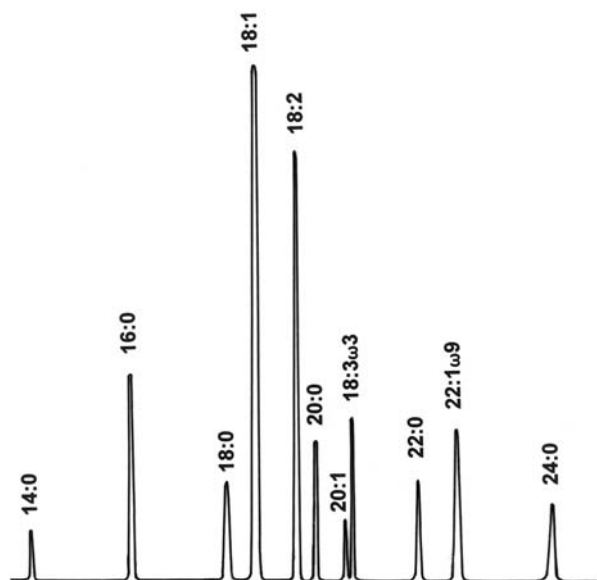
hőmérsékleten és vivőgázsebességnél nem változik, így felhasználható a komponens azonosítására. A kolonnából kilépő komponenseket detektor érzékeli, amely az illósavak és a zsírsavak meghatározásakor láng-ionizációs elven működik. A szerves anyagok elégeése során keletkező szén- és hidrogéntartalmú ionok hirtelen nagy áramnövekedést okoznak, amit regisztrálókészülékkel vagy komputerrel folyamatosan mérünk, így áramintenzitás-idő görbét kapunk, amelyet kromatogramnak nevezünk. A kromatogramok értékelése történhet kézzel, de ma már integrátorral, illetve komputerrel végzett értékelést alkalmazunk. A kromatogramon a csúcs helye az illető anyag minőségére, a csúcs nagysága (a csúcs alatti terület) pedig az illető anyag mennyiségére jellemző tulajdonság.

4.9.3.1. *A napraforgóolaj és a disznózsír zsírsav-összetételének meghatározása*

A módszer alkalmas a napraforgóolaj, valamint a disznózsír és az egyéb növényi és állati zsiradékok zsírsav-összetételének meghatározására. Gázkromatográfias módszerrel elsősorban azok a komponensek vizsgálhatók, amelyek illékonyak vagy 300 °C-ig illékonyra tehetők. A triacil-glicerinek ennek a követelménynek nem felelnek meg, és alkalmatlanok erre a szabad, hosszú láncú zsírsavak is. Ezeknél a triacil-glicerinek észterkötésének hidrolízise után szabaddá váló zsírsavakból *zsírsav-metilésztereket szintetizálunk*, majd a kapott vegyületet gázkromatográfiasan vizsgáljuk. A hidrolízis, illetve az észterezés folyamatait a 4.30. ábra mutatja be.



4.30. ábra. A triglicerid hidrolízisének, illetve észterezésének folyamata



**4.31. ábra.** A telített és telítetlen zsírsavak standard kromatogramja

A meghatározás során 0,2 g napraforgóolajat vagy disznózsírt feloldunk 2 cm<sup>3</sup> n-heptánban, és víztelenítés céljából kevés kiizzított nátrium-szulfátot adunk hozzá. A víztelenített heptános oldatból 0,5 cm<sup>3</sup>-t fiolába pipettázunk, és hozzáadunk 0,5 cm<sup>3</sup> nátrium-metilát reagenst, majd 60 °C-on, egy órán át melegítjük, 10 percenként összerázzuk. Ezt követően hozzáadunk 1 cm<sup>3</sup> n-heptánt és 1 cm<sup>3</sup> desztillált vizet, majd 1–2 percig rázzuk. A reagens feleslegének eltávolítása után a felső szerves fázisból injektálunk a gázkromatográfba. A kapott kromatográfiás csúcsok alatti területek a zsírsav-metilészterek mennyiségével arányosak. Az eredményeket ennek megfelelően a zsírsav-metilészterek relatív tömegszázalékában adjuk meg.

$$Rel \% = \frac{T_{\text{zsírsav}}}{\Sigma T_{\text{zsírsav}}} \cdot 100,$$

ahol:  $Rel\%$  = a zsírsav-metilészter relatív mennyisége,  
 $T_{\text{zsírsav}}$  = a zsírsav-metilészter kromatográfiás csúcsa alatti terület,  
 $\Sigma T_{\text{zsírsav}}$  = a zsírsav-metilészterek kromatográfiás csúcsai alatti területek összege.

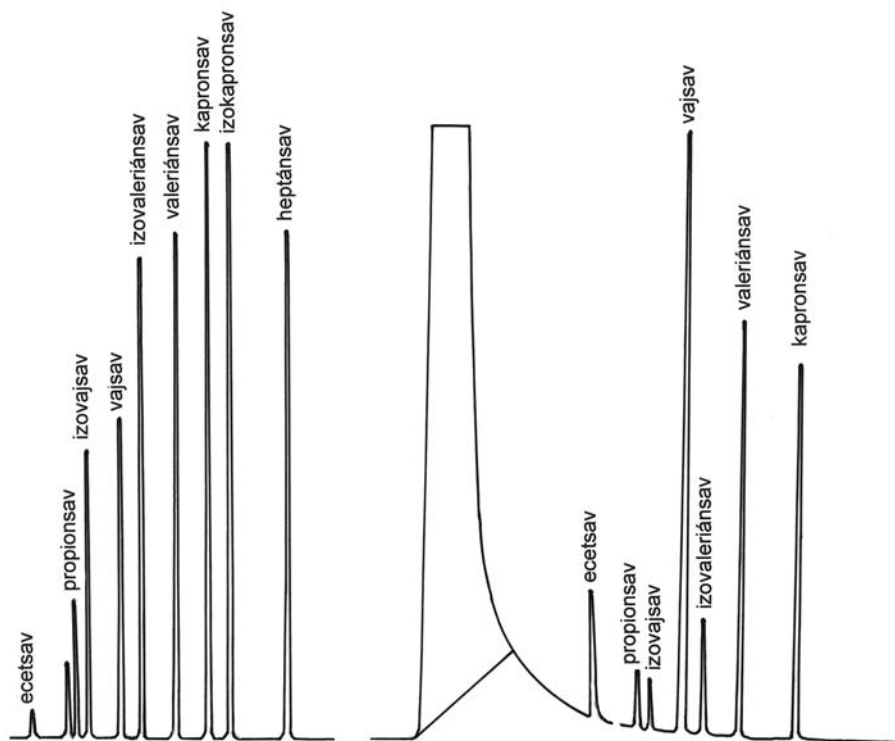
Azonos mintából két, párhuzamos mérés közötti eltérés az eredmény 5%-a.

#### 4.9.4. Az illósavak meghatározása gázkromatográfián

Illósavaknak hívjuk a 2–6 szénatomszámú monokarbonsavakat (ecetsav, propionsav, vajsav, izo-vajsav, valeriánsav, izo-valeriánsav, kapronsav és izo-kapronsav). Ezek az „illósavak” vizes oldatukból melegítéssel könnyen elillannak, tehát kidesztillálhatók. Illékonyságuknak köszönhetően szaguk is intenzív; az ecetsavé kis koncentrációban kellemes, de a többié kellemetlen. Gyakorlati szempontból az erjesztett élelmiszerek illósvartartalmának meghatározása a legjelentősebb. Az erjesztéssel való tartósítás során a cukortartalom anaerob bomlás következtében tejsavvá alakul. A folyamattal párhuzamosan végbemenő erjedések során ecetsav, propionsav, vajsav, valamint a fehérjebomlás következtében nagyobb molekulájú illózsírsavak is előfordulhatnak az élelmiszerekben. Az erjesztéssel készített táplálékokban 1–1,5% körüli tejsavkoncentráció kívánatos; a propionsav jelenléte nem káros, sőt a takarmány esetében hozzájárul annak tartósításához. A vajsav jelenléte önmagában a takarmányban nem káros, de ártalmas folyamatokra, illetve rosszul végrehajtott silózásra utal. Izovajsav, illetve nagyobb molekulájú illózsírsavak az aminosavbomlás eredményeként jelennek meg.

Az illózsírsavak meghatározását korábban frakcionált desztillálással, újabban viszont gázkromatográfiás eljárással határozzák meg. Az első eljárás szerint a különféle savakat a vizes oldatból kidesztillálták, szedőkben forráspont alapján elkülönítve felfogták, és mennyiségüket lúgos titrálással határozták meg. A desztillálás során a különböző savak nem váltak el tökéletesen egymástól, ezért ezzel a módszerrel csak az ecetsav-, a propionsav- és a vajsavtartalmat vizsgálták, a többi illósvavat pedig figyelmen kívül hagyták.

Napjainkban az illózsírsavak meghatározása gázkromatográfiás módszerrel történik. Ennek első lépésében 100 g erjesztéssel tartósított élelmiszert vagy takarmányt mérünk egy 1000 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba, ráöntünk 900 cm<sup>3</sup> desztillált vizet, egy napot állni hagyjuk, időnként össze-



4.32. ábra. Az illózsírsavak meghatározása gázkromatográfiával

rázzuk. A szűrletből  $4 \text{ cm}^3$ -t centrifugacsőbe mérünk, hozzáadunk  $0,2 \text{ cm}^3$  foszforsavat, és  $8000 \text{ g-n}$   $10$  percig centrifugáljuk. A felülúszót leöntjük, és ebből injektálunk  $1 \mu\text{l}$ -t a gázkromatográfba. Az illózsírsavak elválasztása  $120^\circ\text{C}$ -on,  $2 \text{ m}$ -es töltött oszlopon történik, ahol az álló fázis kovaföld hordozóra felvitt szilikonolaj.

Minden elemzés előtt általában naponta injektálunk standardoldatot, amely az összes, meghatározni kívánt komponenst ismert koncentrációban tartalmazza. Megállapítjuk a retenciós időket, meghatározzuk a koncentráció számításához szükséges faktorokat. A hitelesítő-kromatogram elkészülte után a vizes kivonatból injektálunk, és az integrátor vagy a komputer segítségével megállapítjuk, hogy mely savak találhatók benne, s a hitelesítő-kromatogramhoz való hasonlításal kiszámítjuk azok koncentrációját. A 4.32. ábrán a bal oldalon egy hitelesítő-

kromatogram, a jobb oldalon pedig egy savanyítással készült élelmiszer illózsírsavainak kromatogramja látható.

#### 4.9.5. Antioxidánsok (BHT) meghatározása

A butil-hidroxi-toluol (BHT) alacsony forráspontja miatt könnyen gáz állapotúvá alakítható, ezért gázkromatográfias módszerrel meghatározható. Az eljárás során az antioxidánstartalmú vizsgálandó anyagból, elsősorban zsírból, margarinból, olajból oldatot készítünk, amelyet közvetlenül injektálunk a gázkromatográfba. A gázkromatográfias elválasztás viszonylag magas hőmérsékletén (200–300 °C) mind az oldat, mind az oldott anyagok gáz állapotúvá válnak, és megfelelően megválasztott gázkromatográfias oszlopon szétválaszthatók.

A vizsgálati eljárás során a disznózsírból, margarinból vagy étolajból 100 mg vizsgálati anyagot oldunk 10 cm<sup>3</sup> hexánban, és az így elkészített oldatból 1 µl-t injektálunk a gázkromatográfba. A gázkromatográf injektorának hőmérséklete 250 °C, a vivőgáz hélium, az injektorban a nyomás 180 kPa, a kolonna 10 m hosszú és 0,25 mm átmérőjű kvarckapilláris szilikonolaj töltettel, a kolonnatér hőmérséklete 220 °C, detektorként pedig ITD–800 tömegspektrométert használunk, 220-as tömegszámú üzemmódra beállítva, 220 °C-on. A BHT csúcsának beazonosítása után az eredményt a következők szerint számítjuk ki, felhasználva azt, hogy a mérések során a BHT mennyiségével arányos területű kromatográfias csúcsot kapunk. A BHT-tartalmat mg/kg-ban adjuk meg, a következő képlet szerint:

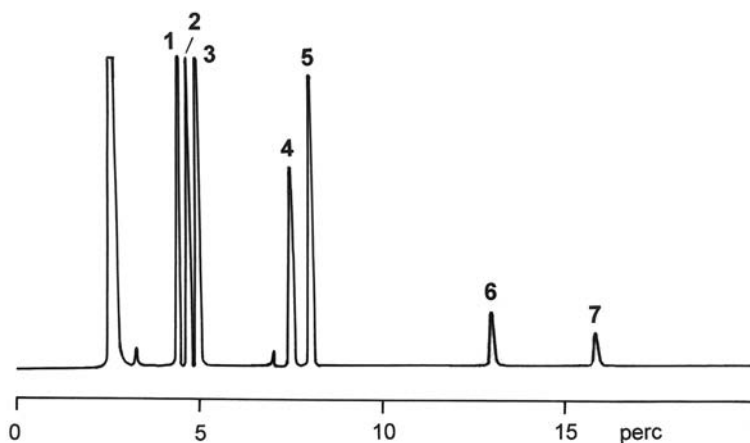
$$\text{BHT} = \frac{T_{\text{minta}}}{T_{\text{standard}}} \cdot 100,$$

ahol:  $T_{\text{minta}}$  = a mintából származó BHT csúcs területe,

$T_{\text{standard}}$  = a standardból származó BHT csúcs területe.

Két, párhuzamos mérés között a megengedett legnagyobb eltérés az eredmény 5%-a lehet.

A különféle antioxidánsokat a megfelelő kromatográfias körülmények betartásával egy lépésben is szét lehet választani és meg lehet határozni. A 4.33. ábrán látható szétválasztás különféle antioxidánsok meghatározására irányul. A kromatogramon az első csúcs a butil-hidroxi-anizol, a második csúcs a butil-hidroxi-toluol, az utolsó csúcs pedig a propil-gallát mennyiségét mutatja. A 3–6 csúcsok különféle antioxidánsokhoz tartoznak.



**4.33. ábra.** A különféle típusú antioxidánsok szétválasztása és meghatározása gázkromatográfiával (1. BHA, 2. BHT, 3. TBHQ, 4. etoxiquin, 5. ionox 100, 6. THBP, 7. propil-gallát)

A gázkromatográfiás elválasztás körülményei a következők (mind-egyik antioxidáns  $200 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  koncentrációjú oldatából  $2 \mu\text{l}$ -t táplálunk be a gázkromatográfba):

- 30 m x 0,25 mm SAC-5 oszlop,
- 200 °C-os hőmérséklet,
- 30 cm/s áramlási sebességű héliumgáz,
- lángionizációs detektor 200 °C-on.

#### 4.10. A lipidek összefoglalása

A lipidek a szervezetnek csak zsíroldó szerekben oldódó anyagai, amelyek zömükben két feladatot töltenek be a sejtben: energetikai szempontból igen hatékony raktározott üzemanyagok, valamint a sejtek és organellumok membránját felépítő anyagok. Kis mennyiségben hormonok, vitaminok stb. formájában jelentős szabályozófunkcióik is vannak.

Az állati szervezetek energiakészletének egy részét a glicerinből és zsírsavakból felépülő triacil-glicerinek, az ún. neutrális zsírok alkotják, amelyek tulajdonságai a zsírsavrész hosszától és a benne lévő telítetlen kötések számától függenek. A membránok felépítésében az amfipatikus, poláros lipidek vesznek részt, amelyek glicerinhez kötött két zsírsavlán-



cot, a harmadik alkoholos hidroxilhoz kapcsolódó foszforsav részt és az ehhez kapcsolódó egyéb alkotórészt tartalmaznak. Az idegrendszerben másféle poláros lipidek (pl. szfingolipidek) is találhatóak.

A lipidek külön csoportját képezik a terpének és a belőlük származtatható sokféle vegyület. Ezek között találhatóak vitaminhatásúak, kofaktorként működők, és izoprénből vezethető le az élővilágban igen változatos szerepet játszó szteránvázas vegyületek nagy csoportja is. A lipidek fehérjékkel alkotott komplexei a lipoproteinek; felépítésük függ a szervezet tápláltságától és a transzportfeladatoktól. A membránok lényegében lipidekből és fehérjékből épülnek fel, meghatározva a sejt és környezete közötti szelektív kapcsolatokat, valamint a sejt alakját és integritását.

A zsírok kémiai reakciói közül kiemelésre érdemesek az észterkötés hidrolízise, a lipioxidáció, az avasodás, valamint a hőhatásra bekövetkező dimerizációs és polimerizációs átalakulások. A természetes zsíradékok közül legfontosabbak a tejszíradékok, a sertészsír, a marhafaggyú, a baromfiszír és a növényi eredetű olajok, amelyek keményítésével különféle étkezési margarinokat állítanak elő.

Az élelmiszerek nyerszsírtartalma *Soxhlet*-féle extrakcióval, savas feltárással vagy anélkül határozható meg. A zsír minőségéről a peroxidszám és a savszám ad felvilágosítást. A zsír zsírsav-összetételét, valamint a savanyítással készült élelmiszerek illózsírsav-tartalmát gázkromatográfiával határozzák meg. Az antioxidánsok meghatározására alacsony forráspontjuk miatt a gázkromatográfia ugyancsak alkalmas.

## A VITAMINOK

Az emberi lét fenntartásához kis mennyiségben olyan természetes szerves vegyületek is szükségesek, amelyek szerepet játszanak az anyagcsere és az energiaforgalom szabályozásában, valamint a szervezet megújításában. Ezeket a nélkülözhetetlen anyagokat vitaminoknak hívjuk.

### 5.1. A vitaminok általános jellemzése

A vitaminok táplálkozás-élettani jelentőségét századunk elején ismerték fel. Vitaminhiányos táplálkozás miatt egyes vidékek lakossága között tömeges halálozás fordult elő. Az egyik ilyen betegség a skorbut volt, amely a tartós tengeri úton részt vevőket tizedelte, a másik súlyos betegség a beriberi, amely Ázsiában, a hántolt rizs fogyasztására való áttérés miatt alakult ki, ekkor ugyanis a maghéjban lévő vitaminok elmaradtak az étrendből. A tapasztalat rávezette az embereket arra, hogy az egyoldalú táplálkozás következtében fellépő betegségek az étrend kiegészítésével (pl. a matrózok esetében C-vitamin-tartalmú fenyőtűből készült kivonat vagy citrusfélék fogyasztása) megelőzhetők.

#### 5.1.1. A vitaminok fogalma

A vitaminokkal kapcsolatos első tudományos kísérletet 1896-ban, Jáva szigetén végezték, ahol a hántolt rizzzel táplált foglyok tömegesen betegedtek meg beriberiben. Csirkéket hántolt rizzzel és teljes rizzzel etetve megfigyelték, hogy a hántolt rizst fogyasztó csirkékben a beriberihez hasonló tünetek mutatkoztak. Felismerték azt is, hogy ez a betegség bizonyos tápanyagok hiányának következtében lép fel. Kimutatták, hogy a rizs korpájából készített kivonat hántolt rizshez keverve megakadályozza a beriberi kifejlődését. Mivel ez a hatóanyag (amit ma B<sub>1</sub>-vitaminként ismerünk) kémiai szempontból az aminok tulajdonságait mutatta,

ezért az ilyen, életfontosságú aminosavak elnevezésére a vitamin kifejezést javasolták.

A vitaminok nagy része nem aminosav, mégis általánosan használjuk ezt az elnevezést mindazokra a természetes anyagokra, amelyeknek hiánya betegségeket okoz. Mai ismereteink szerint a vitaminok olyan szerves vegyületek, amelyeket az emberi szervezet nem tud elegendő mennyiségben szintetizálni, energiát nem szolgáltatnak, de kis mennyiségben az anyag- és energiaforgalomhoz nélkülözhetetlenek. A vitamin fogalom relatív, ugyanis egy anyag az egyik élőlény számára lehet nélkülözhetetlen, más élőlények szervezete viszont ugyanezt az anyagot elegendő mennyiségben tudja előállítani. A C-vitamint az ember, a majom és a tengerimalac kivételével minden állatfaj képes glükózból szintetizálni, tehát az aszkorbinsav csak az ember és e két állatfaj számára vitamin.

A vitaminok elnevezésére nincs nemzetközileg elfogadott ajánlás; legszélesebb körben a latin ábécé szerint nevezik el a vitaminokat. A hasonló élettani hatású, de más eredetű, illetve kémiai szerkezetű vitaminokat az azonos betű mellé tett számindexszel különböztetjük meg. Célszerűbb lenne a biológiai hatáson vagy a kémiai szerkezet alapján való elnevezés.

### 5.1.2. A vitaminok fiziológiai hatása

A vitaminok hatása azon alapul, hogy a szervezet különböző részeiben katalitikus vagy szabályozó tényezőként bekapcsolódnak az életfolyamatokba. A vitaminok egy része a szervezetben fehérjékhez kapcsolódik, és enzimeként vesz részt a biokémiai folyamatokban. Ezeket a vitaminokat *prosztetikus vitaminoknak* nevezik, mivel ezek az enzimek koenzimjébe vagy prosztetikus csoportjába beépülve fejtik ki hatásukat. A vitaminok másik csoportját *induktív vitaminoknak* nevezik, amelyek szintén nélkülözhetetlenek az élő szervezet számára, élettani szerepük azonban még nem mindenben tisztázott.

A napi vitaminszükséglet függ a kortól, az egészségi állapottól és a végzett munka jellegétől. Ma a vitaminszükségletet tömegegységekben adják meg a régebben használt nemzetközi egység helyett. Az ember számára szükséges vitaminokat növényi és állati eredetű élelmiszerek fogyasztásával kapja meg, egyes vitaminokhoz azonban a bélcsatornában élő mikroorganizmusok segítségével jut hozzá. *Hipovitaminózisnak* nevezzük azt az állapotot, ha a táplálékból valamelyik vitamin hosszabb ideig hiányzik. A hipovitaminózis súlyosabb változata az *avitaminózis*,

amikor a vitaminhiány már betegséget okoz. Különösen a zsíroldható vitaminok sokszoros túladagolása *hipervitaminózishoz* vezethet, ami kóros tünetekben nyilvánulhat meg.

### 5.1.3. A vitaminok felosztása

A vitaminokat rendszerezni lehet a biológiai hatás és a kémiai szerkezet szerint, azonban csak a vitaminok oldhatósága az egyetlen olyan tulajdonság, amely két fő csoportba való sorolásukat lehetővé teszi. Eszerint az egyik csoportba a zsíradékban oldódó vagy zsíroldható vitaminokat (A-, D-, E-, K-vitaminok), a másik csoportba pedig a vízoldható vitaminokat (B<sub>1</sub>-, B<sub>2</sub>-vitamin, nikotinsav-amid, B<sub>6</sub>-vitamin, pantoténsav, folsav, biotin, B<sub>12</sub>-, B<sub>15</sub>-vitamin, U-vitamin, C-vitamin) sorolják.

*Provitaminoknak* hívjuk azokat a biológiai aktivitás nélküli vegyületeket, amelyek a szervezetben vitaminokká tudnak alakulni. Az *antivitaminok* ezzel szemben azok a vegyületek, amelyek a vitaminok antagonistái, és amelyek a koenzimként működő vitaminok hatását korlátozzák pl. úgy, hogy hasonló molekulaszervezetük révén az enzimből kiszorítják a vitamint.

## 5.2. Zsíroldható vitaminok

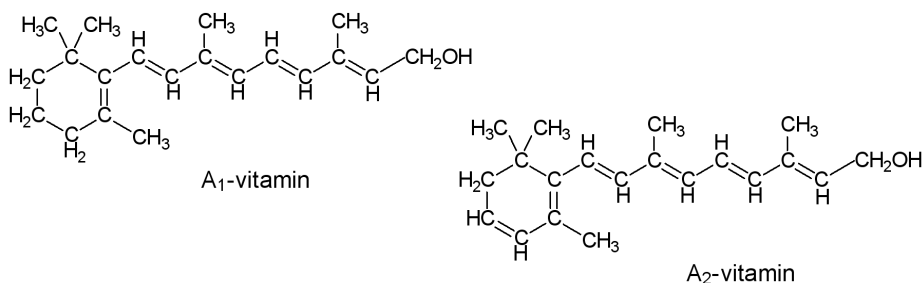
A zsírban oldódó vitaminok élettani hatása ismert, de a sejtek metabolizmusában kifejtett biológiai hatásuk még nem minden részletében tisztázott. Hiányuk esetén egyes állati szövetekben az enzimek aktivitása csökken vagy növekszik; feltételezések szerint a zsíroldható vitaminok egyes fehérjék bioszintézisét szabályozzák. A zsíroldható vitaminokat a szervezet tárolni tudja, ezért a velük kapcsolatos avitaminózis ritkábban fordul elő, a hipervitaminózis veszélye azonban elsősorban az A- és D-vitaminnál nagyobb.

### 5.2.1. A-vitamin

A-vitamin hiányában szürkületi vakság vagy farkasvakság alakul ki, mivel csökken a szem sötétséghez való alkalmazkodási képessége. Hiányában a hámsejtek fokozottan elszarusodnak, a bőrfelület kiszárad, ezért *hámvédő vitaminnak* is nevezik, amely a bőr és a nyálkahártya ép állapotban tartásához szükséges, és védi a szervezetet az itt behatoló

kórokozókkal szemben. Az A-vitamin hiányának legsúlyosabb tünete a vakság, amely a szem szaruhártyájának kiszáradása következtében lép fel. A szervezet számára növekedési tényező, mert hiánya fiatal korban lassítja a csontok növekedését. Hipervitaminózis hajhullást, hámlással járó bőrgyulladást és végtagfájdalmakat okoz. Hazai viszonyok között ilyen igen ritkán fordul elő, mert ételmiszereink A-vitamin-tartalma alacsony, provitaminjainak felszívódása pedig rossz hatásfokú.

Kémiai szerkezetét tekintve két különböző A-vitamint ismerünk: a tengeri halak májából származó A<sub>1</sub>-vitamint és az édesvízi halak májában található A<sub>2</sub>-vitamint (5.1. ábra). A két vegyület mindössze egy kettős kötéssel különbözik egymástól, ennek ellenére az A<sub>2</sub>-vitamin élettani hatása csak mintegy 30–40%-a az A<sub>1</sub>-vitaminénak. Az A-vitaminok valójában 20 szénatomos telítetlen alkoholok, amelyek β-jonon-gyűrűt és a hozzá kapcsolódó izoprénegből álló oldalláncot tartalmaznak, amelyek végén egy alkoholos hidroxilcsoport található. Az alkoholos hidroxilcsoport oxidációjával A-vitamin-aldehidet és A-vitamin-savat is elő lehet állítani. A biológiailag aktív molekulák közül az aldehid gyakorlatilag egyenértékű az eredeti vitaminnal, a sav viszont csak korlátozottan hasznosul a szervezetben. Az A-vitamin alkoholos hidroxilcsoportja gyakran észterkötést képez valamelyik zsírsavval (palmitinsav), amelynek során az észter megtartja, esetleg felülmúlja az A-vitaminok biológiai hatását.



5.1. ábra. Az A<sub>1</sub>- és az A<sub>2</sub>-vitamin

Az A<sub>1</sub>-vitamin (retinol) oldalláncának négy kettős kötése 16 geometriai cisz- és transz-izomer keletkezését teszi lehetővé. Az A<sub>1</sub>-vitaminban a kettős kötéshez kapcsolódó szubsztituensek mind transz helyzetűek, ezért a molekula nyújtott és egy síkban helyezkedik el. A-vitamin csak az állati termékekben található, elsősorban a tengeri halakban és azok

májában, a tejben, a vajban, a tojássárgájában, a vesében, a tüdőben és a májban. Növényekben csak az A-vitamin provitaminjai fordulnak elő. A<sub>1</sub>-vitamin mintegy 12 karotinoid típusú vegyületből keletkezhet, amelyek közül az α-, a β- és a γ-karotin, továbbá a kriptoxantin a legfontosabbak. A karotinok szénhidrogének, tapasztalati képletük C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>, a kriptoxantiné C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>O, és mindegyik tartalmazza az A<sub>1</sub>-vitaminokra jellemző β-jonon-gyűrűt. A provitaminokból a karotinááz enzim segítségével képződik A<sub>1</sub>-vitamin. Az átalakulás legjobb hatásfokkal a β-karotinból történik, ugyanis ebből teljesen szimmetrikus szerkezete miatt két molekula A-vitamin szintetizálódik. A többi provitamin csak mintegy feleannyi A<sub>1</sub>-vitamint szolgáltat. *Az ember napi A-vitamin-szükséglete 0,8–1,5 mg A-vitamin, illetve 5–9 mg β-karotin.* Élelmiszereink közül rendkívül sok A-vitamint tartalmaz a csukamájolaj, a csirke-, liba- és sertésmáj, és jelentős lehet a tojás, valamint a tej és tejtermékek A-vitamin-tartalma is. β-karotinból sokat tartalmaz a sárgarépa, a rebarbara és a paraj.

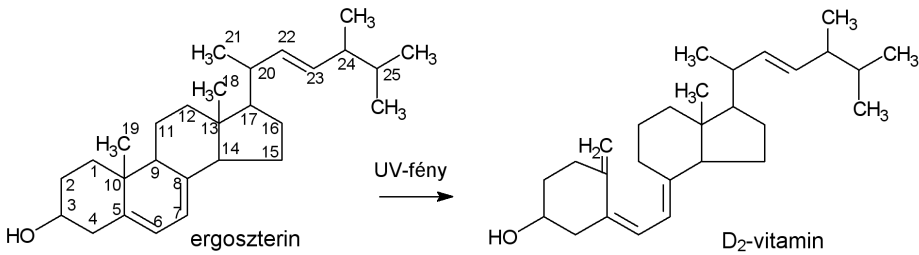
Az A-vitaminok és provitaminjaik a hővel szemben ellenállóak, levegőn melegítve azonban oxidálódnak, és biológiai aktivitásukat fokozatosan elveszítik. Az élelmiszer zsírsavainak avasodása és az olajok hidrogénezés keményítése a vitamintartalom teljes inaktiválódásához vezet. Az A-vitamin, de különösen a karotinok hasznosítása zsírok jelenlétében nagyobb hatásfokú. Nyers zöldségfélék fogyasztásakor a sárgarépa karotintartalmának csak mintegy 2%-a szívódik fel, a többi a bélsárral kiürül. Az emberi szervezetben a karotinoidok enzimes úton átalakulnak A-vitaminná, és A<sub>1</sub>-vitamin zsírsavészterként a májban raktározódnak. Az ember májában átlagosan 240–540 mg retinol található, amely a szükségletnek megfelelően szabad állapotban jut vissza a vérbe. A vérben hidrofíl fehérjéhez kapcsolódva, komplexként szállítódik. A normális vérplazma A<sub>1</sub>-vitamin-tartalma 500–800 μg/dm<sup>3</sup>, amely ha 150–200 μg/dm<sup>3</sup>-re csökken, hipovitaminózis léphet fel.

### 5.2.2. D-vitamin

*A D-vitamin (kalciferol) a kalcium és a foszfor felszívódását és a csontokba való beépülését szabályozza.* D-vitamin hiányában az angolkórnak (rachitis) nevezett tünetcsoport alakul ki a rosszul táplált és napfényhiányban élő gyermekeknél. Ennek során a csont kalciumtartalma 66% kalcium-foszfátról és kalcium-karbonátról 18%-ra csökkenhet, aminek következtében a beteg csontjai megpuhulnak és a test súlya alatt elgörbülnek. A rachitises gyermekek növekedése sem normális, fej-

lődésükben visszamaradnak, kis termetűek lesznek. D-vitamin adagolásával ez a probléma megelőzhető, illetve a már jelentkező elváltozások megfelelő arányú kalcium- és foszforbevitellel részben vagy teljesen kiküszöbölhetők.

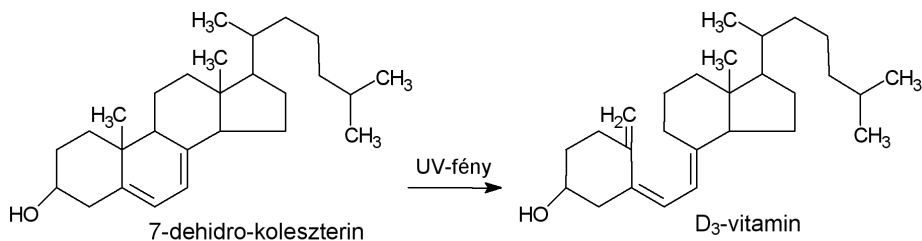
A D-vitamin túladagolása hipervitaminózist okoz, aminek következtében a csontok törékennyé válnak, magasabb lesz a vér kalciumszintje, és idősebbekben meggyorsul az érfalak elmeszesedése. Napfényben elegendet tartózkodó felnőtteknek nincs szükségük D-vitamin-kiegészítésre. A D-vitaminok a növényi eredetű ergoszterin és az állati eredetű 7-dehidro-koleszterin provitaminokból keletkeznek az ibolyántúli sugarak hatására. Az ergoszterin nagyobb mennyiségben található az élesztőben, egyes gombákban és az anyarozsban. Belőle besugárzás hatására D<sub>2</sub>-vitamin (ergokalciferol) keletkezik (5.2. ábra). A mértéktelen besugárzás inaktíválja a vitamint, sőt a besugárzás során toxikus szterinek is keletkezhetnek.



5.2. ábra. Az ergoszterin átalakulása ibolyántúli sugarak hatására

A 7-dehidro-koleszterin szteránvázas vegyület, amely a bőr alatti zsírban lévő koleszterin kísérőjeként található meg. Napfény vagy mesterséges besugárzás hatására D<sub>3</sub>-vitaminná (kolekalciferollá) alakul (5.3. ábra). A D<sub>3</sub>-vitamin csak a molekula oldalláncának felépítésében különbözik a D<sub>2</sub>-vitamintól. A természetben előforduló D-vitaminok többsége D<sub>3</sub>-vitamin, ugyanis D<sub>2</sub>-vitamint csak néhány halmájolajféle-ségben sikerült kimutatni. Az emberi szervezetben a D<sub>2</sub>- és a D<sub>3</sub>-vitamin biológiai értéke azonos. A májban és a vesében a mellékpajzsmirigy hormonjainak hatására különböző hidroxilszármazékokká alakulnak át, amelyek hatékonyan vesznek részt a felszívódásban, a csontosodásban és az anyagcsere szabályozásában.

Az ember D-vitamin-szükséglete 20 éves korig napi 10 µg, felnőtteknél, a terhes és szoptató anyák kivételével napi 5 µg. A pontos igényt



5.3. ábra. A D<sub>3</sub>-vitamin kialakulása

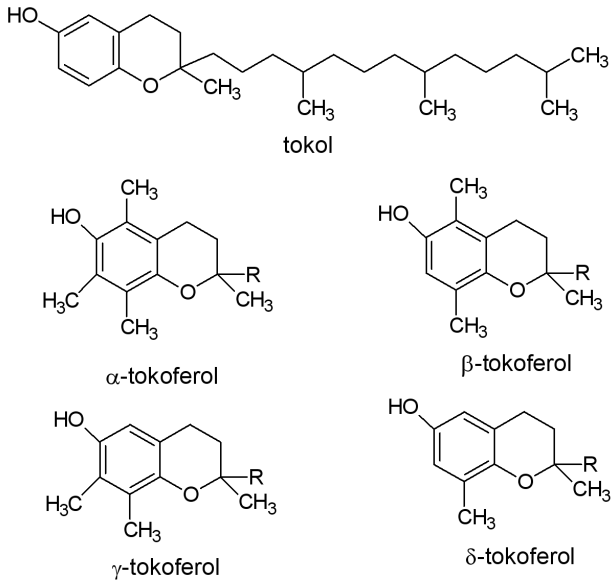
felmérni azért nehéz, mert a szervezetben a bőrfelületen napfény hatására állandóan képződik vitamin. Gyermeknek és terhes anyáknak szükségük van mesterséges D-vitamin-készítményekre, mert a napsugárzás hatására nem tud bennük elegendő vitamin szintetizálódni. A hal-májolaj kivételével az élelmiszerek csak csekély mennyiségű D-vitamint tartalmaznak. Jelentős mennyiségű D-vitamin van a kaviárban és a lazacban, a vajban, a csirke-, liba-, sertés-, marha- és borjúmájban. Mindennapi élelmiszereinkben elsősorban a provitaminok találhatók meg, amelyekből legtöbbit a tej, a vaj, a máj és a tojássárgája tartalmaz. Angliában a tej ibolyántúli besugárzásával, illetve D-vitaminos dúsításával fokozzák a D-vitamin-tartalmát.

### 5.2.3. E-vitamin

Az E-vitaminok ( tokoferolok, tokotrienolok) antioxidáns hatású vegyületek, az esszenciális zsírsavakat és a membránlipideket védik az oxidációtól. Gyulladásgátló, illetve -mérséklő hatásuk is van, csökkentik a véredények permeabilitását, és a kollagén képződését befolyásolják. Emberen E-avitaminózist vagy hipovitaminózist nem mutattak ki, a hiánytünetek azonban sok állaton jól megfigyelhetők. Hatására meddőség, vérszegénység és izomsorvadás lép fel, és az anyagcserében is zavarok keletkeznek. Ezért az állattenyésztők különös gonddal vizsgálják a takarmányok E-vitamin-tartalmát, és jelentős mennyiségben használnak kiegészítésként E-vitamin-készítményeket. A tokoferolok kémiaiilag egy oxigéntartalmú kettős heterogyűrűből (kromángyűrű) és egy fitil-oldalláncból állnak. Az aromás kromángyűrűn egy hidroxilcsoport és egy metilcsoport található, az alapvegyület a tokol (2-metil-2-alkil-6-



hidroxi-kromán). Az egyes változatok a kromángyűrűn lévő mellékcsoportok számában és elhelyezésében különböznek egymástól. Az élelmezés során az  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - és a  $\delta$ -tokoferolnak van gyakorlati jelentősége (5.4. ábra).



5.4. ábra. A tokol és a tokoferolok

A tokoferolokhoz hasonló szerkezetű vegyületek a tokotrienolok, amelyek oldalláncában három kettős kötés található. Biológiailag legaktívabb a három metilcsoportot tartalmazó  $\alpha$ -tokoferol; a két metilcsoportos  $\beta$ - és  $\gamma$ -tokoferol hatása ennek csak 30–50%-a, az egy metilcsoportot tartalmazó  $\delta$ -tokoferolé pedig mindössze 1–3%. A tokotrienolok vitaminhatása kisebb a megfelelő tokoferolokénál.

A tokoferolok a természetben csak növényekben fordulnak elő. Valószínűleg a kloroplasztokban képződnek, ahonnan a növény lipideket tároló részeibe vándorolnak. A tokoferolok sárgás színű olajok, amelyek csak zsírokban és zsíroldó szerekben oldódnak. Oxidatív hatásra érzékeny, redukáló tulajdonságú vegyületek, ezért levegőn és napfényen biológiai aktivitásukat elvesztve bomlanak. Az  $\alpha$ -tokoferol ecetsav-észterét mesterségesen is előállítják, amelynek oldhatósága hasonló az  $\alpha$ -tokoferoléhoz, de biológiai aktivitása annál nagyobb, amit magyarázni lehet az észter nagyobb ellenálló képességével az oxidáló hatásokkal szem-

ben. A tokoferolok antioxidánsként használhatók, mert képesek gátolni a zsírsavak autooxidációját, ezért jelenlétük késlelteti a zsírok avasodását. A legnagyobb antioxidáns hatással a  $\gamma$ - és a  $\delta$ -tokoferol rendelkezik.

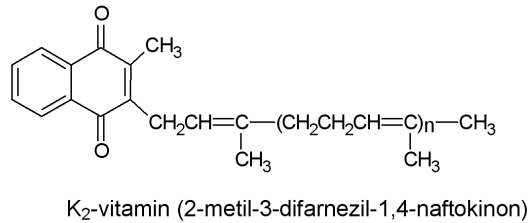
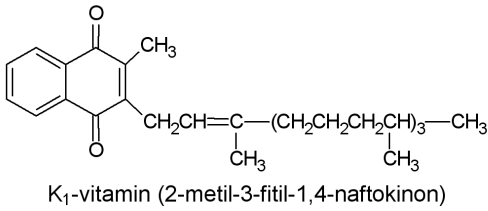
Az ember E-vitamin-szükséglete napi 5–15 mg, és feltételezések szerint az ételekkel elfogyasztott többszörösen telítetlen zsírsavak mennyisége arányosan növeli az E-vitamin-szükségletet. Az emberi táplálék általában elegendő mennyiségű E-vitamint tartalmaz. Különösen sok van belőle a hüvelyesek magvaiban, a gabonamagvak csíraolajában, a vajban és a levélzöldségekben.

#### 5.2.4. K-vitamin

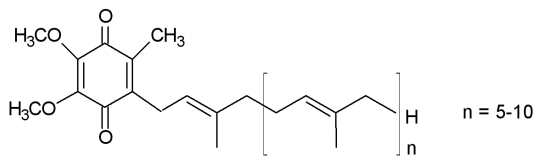
A K-vitaminok (*fillokinon*) hiánya súlyos vérzékenységet okoz, ami elsősorban a gyomor- és bélrendszerben léphet fel. A vérző sebek nem hegednek be, a véralvadás elmarad, mert a véralvadáshoz szükséges fehérjét, a protombint a máj nem képes megfelelő mennyiségben szintetizálni. Az állatok és az ember bélflórája elegendő K-vitamint szintetizál, ezért egészséges szervezetben hiánybetegség nem lép fel. Csecsemők K-vitamin-ellátása emésztőcsatornájuk sterilitása miatt rossz, ezért ezt az időleges hiányt mesterségesen kell pótolni.

A K<sub>1</sub>- és K<sub>2</sub>-vitaminok 2-metil-naftokinon-származékok (5.5. ábra). A gyűrűs rész szerkezete mindkét molekulában azonos, a K<sub>1</sub>-vitaminban azonban fitil-oldallánc, a K<sub>2</sub>-vitaminban pedig izoprén egységekből álló prenil-oldallánc van. A K<sub>2</sub>-vitamin tulajdonképpen olyan vegyületeket takar, amelyek csak az oldalláncban lévő izoprénegységek számában különböznek egymástól. A képletben  $n$  értéke 3–12 lehet, tehát az oldalláncban lévő szénatomok száma 20–65 közötti. A K<sub>1</sub>-vitamin főként a növényi, a K<sub>2</sub>-vitaminsorozat tagjai az állati eredetű élelmiszerekben találhatóak, míg a bél mikroflórája K<sub>2</sub>-vitaminokat termel. Legnagyobb mennyiségben a zöld levelekben, a parajban és a káposztában, az állati eredetű élelmiszerek közül pedig a májban fordul elő K-vitamin.

A K-vitamin-hatás főleg a naftokinonrésznek tulajdonítható, hisz az oldallánc nélküli 2-metil-naftokinon biológiailag éppen olyan aktív, mint a teljes molekula, mert a szervezet szintetizálja az oldalláncot. Szokás ezért ezt a vegyületet K<sub>3</sub>-vitaminnak is nevezni. A gyógyászati célra készített, vízoldható K-vitamin-készítményeket is ebből a szintetikus anyagból állítják elő. Az utóbbi években izoláltak egy négyszeresen szubsztituált K-vitamin-hatású benzokinonszármazékot, amely szintén egy izoprénből álló oldalláncot tartalmaz. Ez az ubikinon azonban

5.5. ábra. K<sub>1</sub>- és K<sub>2</sub>-vitamin

nem tekinthető vitaminnak, mert a szerkezet maga is képes szintézisére (5.6. ábra). *Egy felnőtt ember napi K-vitamin-szükséglete 1–4 mg*, amelyet a táplálék és a bélbaktériumok napi K-vitamin-szintézise fedez.



5.6. ábra. Az ubikinon

### 5.3. Vízoldható vitaminok

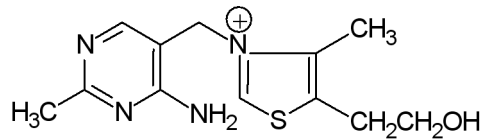
A vízoldható vitaminok közül legkorábban a beriberi kialakulását megelőző B-vitamint és a skorbut ellenszerét, a C-vitamint ismerték meg. Kiderült, hogy a B-vitaminnak tartott anyag nem egységes, hanem több, biológiailag aktív komponens elege. Ezeket az alkotórészeket alsó indexbe tett számokkal különböztették meg egymástól. A később megis-

mert vitaminhatású anyagokat azonban már kémiai szerkezetük alapján nevezték el, ezért ma a B-vitamincsoport komponenseinek egy részét számindekszel ( $B_1$ -,  $B_2$ -,  $B_6$ -,  $B_{12}$ -vitamin) jelöljük, az újabban megismert vitaminokat pedig a kémiai nevükön (pantoténsav, folsav stb.) tárgyaljuk. A B-vitamincsoport tagjaira jellemző, hogy az élesztőben csaknem valamennyi előfordul. Biokémiai szempontból jellemző rájuk, hogy a biológiai oxidációt katalizáló enzimek koenzimjeinek alkotórészei. A vízben oldódó vitaminok feleslegét a szervezet a vizelettel kiválasztja, ezek nem raktározódnak, hanem rendszeresen fel kell vennünk a táplálékkal. Nincsenek provitaminjaik, és jellemző rájuk, hogy a hiánytünetek gyorsan lépnek fel. Hipervitaminózisos tünetek a vízzeloldható vitaminoknál nem lépnek fel, túlzott mértékű fogyasztásuk azonban mégsem ajánlható. A napi szükségletnél sokszorosan több C-vitamint szedve (mivel az aszkorbinsav oxálsav formájában ürül ki a vizelettel, és az oxálsav a vesekő alapanyaga) a C-vitamin-túladagolás a vesekő képződését segíti elő.

### 5.3.1. $B_1$ -vitamin

A B-vitamincsoport első tagja a  $B_1$ -vitamin (tiamin, aneurin), amelynek hiánya a beriberi betegséget okozza Kelet-Ázsia hántolt rizst fogyasztó népei között (5.7. ábra). Az avitaminózis jellegzetes tünete az ideggyulladás, az izomgyengeség, az álmatlanság, a végtagokon kezdődő és végül az egész szervezetre kiterjedő ödémaképződés, majd bénulások, és a szív működés zavara következtében beáll a halál. A szervezet szénhidrát-anyagcseréje felbomlik  $B_1$ -vitamin-hiány következtében, mert a közbenső anyagcseretermékek (piroszőlősav, tejsav) a szövetekben és a vérben feldúsulnak, ugyanis a piroszőlősav lebontásában a  $B_1$ -vitamint tartalmazó enzim vesz részt. A  $B_1$ -vitamin foszfátokkal kapcsolódva tiamin-pirofoszfát (TPP) koenzimet képez, amely koenzim több enzim (piroszőlősav-dekarboxiláz, -transzketoláz stb.) prosztetikus csoportja.

A  $B_1$ -vitamint szerkezete alapján *tiaminnak* is nevezik, a molekulában ugyanis egyrészt kén, másrészt aminocsoport található. Antineuritiches hatása miatt *aneurinnak* is hívják. A  $B_1$ -vitamin molekulájában egy pirimidinyűrűt és egy tiazolgyűrűt egy metilcsoport köt össze. A pirimidinyűrű aminocsoportja és a tiazolgyűrű nitrogénje bázikus természetű. Savanyú oldatokban hőtűrő, semleges vagy gyengén lúgos közegben azonban, különösen levegő jelenlétében, hőhatásra bomlik.

5.7. ábra. B<sub>1</sub>-vitamin (tiamin)

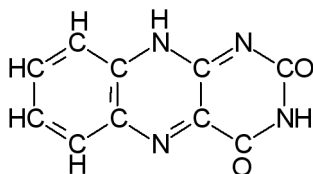
A B-vitamin-csoport leghőrzékenyebb tagja. Nehézfém sók, oxidálószer-ek és kénessav jelenlétében gyorsan inaktiválódik.

B<sub>1</sub>-vitamin-hatása van még a tiamin-diszulfidnak és a hagyma olajában megtalálható allil-tiaminnak. A tiamin szintézisére a növények képesek, míg az állati szervezetek jelentős része csak a két heterogyűrű jelenlétében tudja a vitaminmolekulát felépíteni. A gabonamagvak héja és csírársze különösen gazdag vitaminforrás, ezért a korpamentes lisztből sült kenyér a barna kenyérral szemben csak nagyon kevés B<sub>1</sub>-vitamint tartalmaz. A különböző szövetek (a vese, a máj és az izomszövetek) állatfajonként változó mennyiségű B<sub>1</sub>-vitamint tartalmaznak. Legnagyobb tiamintartalma az élesztőnek van. *Az átlagos táplálkozási étrend a felnőtt ember napi 1,5–2 mg tiamin igényét alig fedezi.*

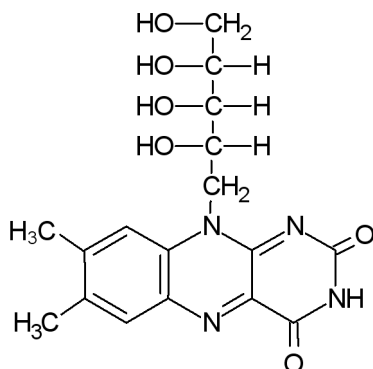
### 5.3.2. B<sub>2</sub>-vitamin

A B<sub>2</sub>-vitamin (riboflavin, laktoflavin) hiánya a száj és a nyelv nyálkahártyáján gyulladáshoz vezető tüneteket és berepedéseket okoz, valamint általános fáradtság és látási zavarok jelentkeznek. Állatkísérletekben a B<sub>2</sub>-vitamin növekedési faktornak bizonyult, amelynek hiányában az állat fejlődése megállt, szőrzete kihullt, és vérszegénység állt elő. A B<sub>2</sub>-vitamin a *flavinok csoportjába tartozó színes vegyület*. Izoalloxazinvázat tartalmaz (5.8. ábra), amelynek két szénatomján szubsztituált metilcsoport, a középső gyűrű egyik nitrogénjén pedig egy öt szénatomos cukoralkoholból, a ribitolból származó ribitil-oldallánc található (5.9. ábra). Mivel a tejsav is előfordul, ezért néha *laktoflavinnak* is nevezik.

A B<sub>2</sub>-vitamin hőre nem érzékeny, fényhatásra azonban könnyen bomlik egy fotokémiai reakció során, amely az oldallánc leszakadásával jár, és aminek következtében biológiailag inaktív alloxazin-származékok keletkeznek. A riboflavin nagyon elterjedt a növényi és állati szövetekben és a különböző élelmiszerekben. Különösen nagy a máj, a vese, a hal,



5.8. ábra. Az izoalloxazin

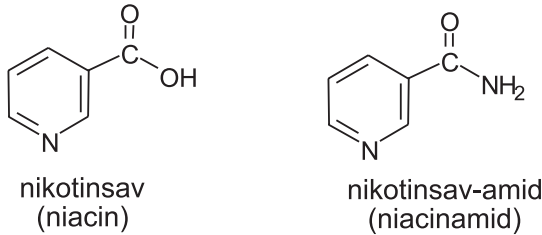
5.9. ábra. B<sub>2</sub>-vitamin (riboflavin)

a tojás, a tej és a különféle zöldségfélék B<sub>2</sub>-vitamin-tartalma. A szerkezetben a flavin-mono-nukleotid (FMN) és a flavin-adenin-dinukleotid (FAD) kofaktora, ezért részt vesz a biológiai oxidációs folyamatokban. Ezeket az enzimeket összefoglalóan flavoproteineknek is hívják. Szubszt ráttal reagálva a két nitrogénatomon reverzibilisen két hidrogénatomot köt meg, amelynek során a flavin színtelen leukoflavinná redukálódik. Az ember napi B<sub>2</sub>-vitamin-szükséglete 1,5–2 mg-ra tehető.

### 5.3.3. Nikotinsav-amid

A nikotinsav-amid (PP-vitamin, niacin) hiánybetegsége a pellagra, amely elsősorban azoknál jelentkezik, akik főként kukoricából készült ételeket fogyasztanak. A betegség általános fáradtsági tünetekkel kezdődik, kialakul az emésztőcsatorna működésének zavara, a száj és a nyelv nyálkahártyájának gyulladós berepedése, majd a bőrfelületeken jelentkező érdesség, gyulladás és hámlás. A felsorolt tünetek nikotinsav-amid

adagolására elmúlnak, de rajta kívül még triptofán, tiamin és riboflavin bevitele is szükséges a teljes gyógyuláshoz.

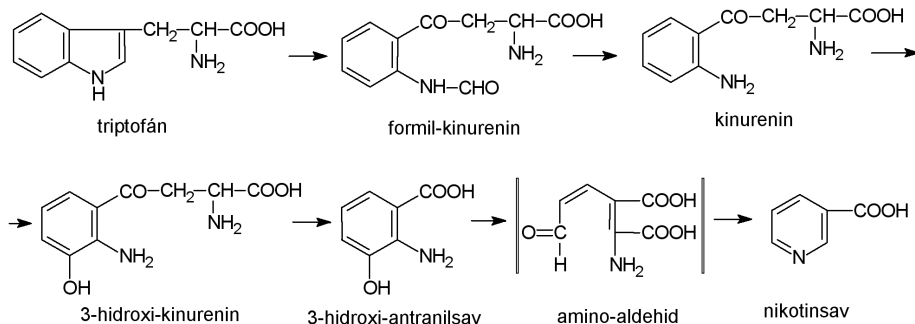


**5.10. ábra.** A nikotinsav és a nikotinsav-amid

A PP-vitamin kémiai szerkezetét tekintve nikotinsav, amelyet más néven niacinnak is hívunk, a természetes anyagokban pedig a nikotinsav-amidot, a niacinamidot találjuk meg (5.10. ábra). Az élő szervezet a nikotinsavat könnyen tudja amidálni. A niacin nagyon elterjedt a természetben, hisz koenzim formájában minden élő sejtben előfordul. Sok található a gabonamagvak héjában, az élesztőben, a májban, a vesében, az állatok és a halak húsában, a tejben, a tojásban és a zöldségfélékben. A niacin egy része fehérjéhez kötött formában található, ezért a gabonák niacintartalmának ez a része – mivel felszabadítás csak lúgos hidrolízissel történhet – a táplálkozás során nem hasznosul. A kukorica nagyon kevés nikotinsav-amidot és triptofánt tartalmaz, ezért a kukoricás étrenden élőkön gyakori a pellagra fellépése. A nikotinsav-amid a piridinenzimek dinukleotid jellegű koenzimjébe (NAD, NADP) épül be. A piridingyűrű az egyik kettős kötés megszűnésével hidrogént vesz fel, és ily módon részt vesz az enzimhatás kifejtésében. Fontos szerepe van ezenkívül a gyomornedv sósavjának képzésében, a vér koleszterinszintjének csökkentésében, és értágító hatással is rendelkezik. *A felnőtt ember napi nikotinsav-amid-szükséglete 10–20 mg.* B<sub>1</sub>-, B<sub>2</sub>-, B<sub>6</sub>-vitamin jelenlétében a máj triptofánból szintetizálni tudja, de az átalakítás határfoka nagyon rossz, ugyanis 1 mg niacin bioszintéziséhez kb. 60 mg triptofánra van szükség (5.11. ábra).

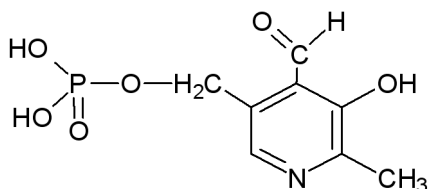
#### 5.3.4. B<sub>6</sub>-vitamin

A B<sub>6</sub>-vitamin (piridoxin) hipovitaminózisa a fehérje-anyagcserében okoz zavarokat. Hiánya a pellagrára emlékeztető tüneteket idéz elő: a száj és a szem kivörösödik, gyulladás lép fel, a bőr cserepes lesz és



5.11. ábra. A nikotinsav bioszintézise triptofánból

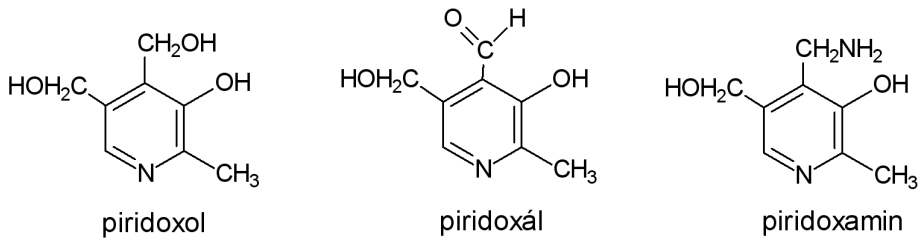
hámlik, a szőrzet pedig kihullik. A piridoxin elnevezés három, rokon vitaminhatású vegyületet foglal össze, amelyek a piridoxol, a piridoxál és a piridoxamin (5.13. ábra); valamennyien szubsztituált piridinszárma- zékok. A piridoxol növényi, a piridoxál és a piridoxamin állati eredetű élelmiszerekben fordul elő foszfátészterként. A foszforsav az ötös hely- zetű, elsőrendű alkoholos hidroxilcsoporthoz kapcsolódik, ezért a *B<sub>6</sub>- vitamin élettani hatását tulajdonképpen piridoxál-5-foszfát alakjában fejtí ki* (5.12. ábra).



5.12. ábra. Piridoxál-foszfát

A *B<sub>6</sub>*-vitamin forrása a hús, a máj, a tojássárgája, a zöldségek, a hüve- lyesek, és a bélben élő baktériumok is termelik. *Egy felnőt ember napi szükséglete 2–3 mg-ra tehető*, idősebb korban azonban a szükséglet na- gyobb is lehet. Biológiai szerepe az intermedier aminosav-anyagcserében van, ahol foszforsavészterei különböző enzimek (*aminotranszferázok, aminosav dekarboxilázok stb.*) koenzimjei. Feleslege inaktív piridoxin- sávva oxidálódik, és a szervezetből kiürül.

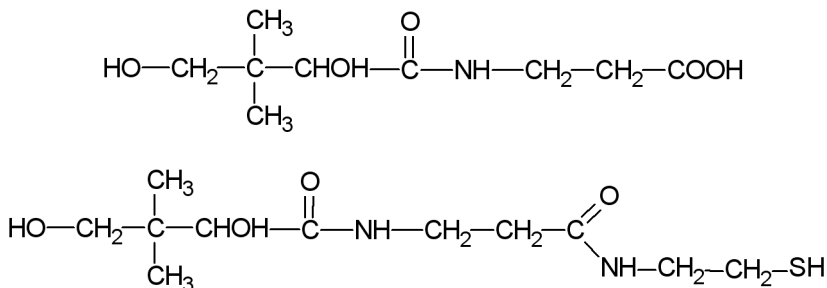




5.13. ábra. A piridoxin vitaminhatású komponensei

### 5.3.5. Pantoténsav

A pantoténsav-hiánybetegség az emberben fáradékonyságot, nyugtalanságot, izomgörcsöket és emésztési zavarokat okoz. Állatokon avitaminózisa gátolja a növekedést és a szaporodást, pellagraszerű elváltozást okoz, valamint bőr alatti vérzések és idegműködési zavarok is jelentkeznek. Élesztőgombák számára növekedési faktor. A pantoténsav tulajdonképpen a pantoinsavnak  $\beta$ -alaninnal képzett peptidje. Savas jellegű, vízben jól oldódó vegyület, amely semleges közegben ellenáll a fénynek és a levegő oxigénjének. Erős savak és lúgok hatására inaktiválódik. A természetben előfordul még a *pantotenol*, amely a *pantoténsavnak megfelelő alkohol*, és a *pantetein*, ami a *pantoténsav és cisztein kapcsolódásából származó pantotenil-cisztein* (5.14. ábra) *dekarboxilezési terméke*. Mindkét vegyület pantoténsav-hatású.



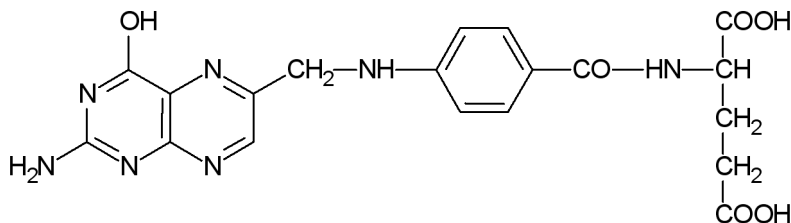
5.14. ábra. A pantoténsav és a pantetein

A pantoténsav biológiai hatását a szervezet anyagcseréjében a *koenzim-A alkotórészeként* tölti be, amelynek során az energiaszolgál-

tató tápanyagok hasznosításának nélkülözhetetlen közreműködője, a zsírok és a szénhidrátok egymásba alakulásának irányítója. *A koenzim-A tulajdonképpen a pantetein és az ADP egyesülésével jön létre.* Több mint 70 olyan enzim reakciót ismerünk, amelyben részt vesz. Legismertebb közülük az acilcsoport átvitele a szénhidrátok, a zsírsavak és az aminosav lebontásánál, valamint a zsírsavak, a porfirin- és a szteroidvegyületek bioszintézisében való részvétel.

### 5.3.6. Folsavcsoport

A folsav (pteroil-glutaminsav) zöld növények leveleiben fordul elő nagy mennyiségben. Az emberi szervezetben *hiánya vesztes vérszegénységet okoz*, a folsav ugyanis a B<sub>12</sub>-vitammal együtt a vörös- és fehérvérsejtek, valamint a vérlemezkék képződésének a szabályozója. Szerepe van ezentúl az emésztőrendszer nyálkahártyájának kialakításában is. A folsav elnevezést olyan vegyületcsoportra alkalmazzák, amelynek *alapvegyülete a pteroesav és az ehhez kapcsolódó 1, 3 vagy 7 glutaminsav-molekula.* A pteroesav a para-amino-benzoésavnak és a pteridinnek a származéka. A pteroesavhoz az első glutaminsav amidkötéssel, a továbbiak pedig  $\gamma$ -peptidkötéssel kapcsolódnak (5.15. ábra). Elnevezésük pteroil-glutaminsav, pteroil-triglutaminsav és pteroil-heptaglutaminsav. A pteroil-glutaminsavból asztkorbinsav és NADPH hatására 5,6,7,8-tetrahidro-folsav keletkezik, amely biológiailag aktív folinsavvá alakul. A folinsav *szintetázok, transzferázok és izomérázok koenzimjének felépítésében vesz részt.*



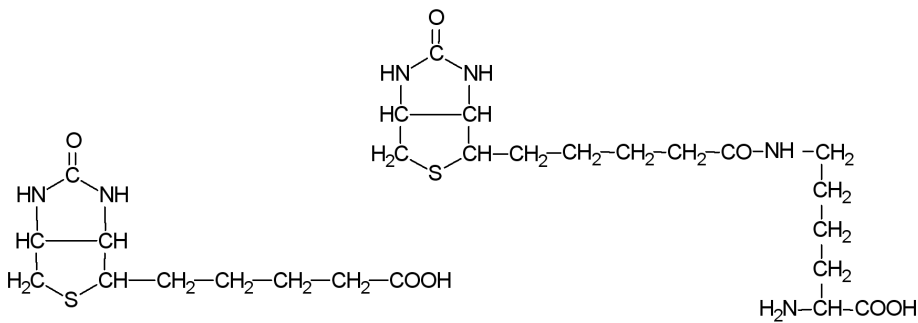
5.15. ábra. A folsav

Az ember szokásos étrendje általában elegendő folsavat tartalmaz. Leggazdagabb folsavforrások a máj, a vese, a hús, a különböző gombák, a spárga, a kelbimbó és a levélzöldecskék. A bélflóra is hozzájárul

az emberi szervezet normális működéséhez szükséges napi 0,4 mg szükséglethez.

### 5.3.7. Biotin

A biotin (H-vitamin) avitaminózisa étvágytalanságot, bőrgyulladást, a szőrzet kihullását és a bőrfelület elzsírosodását idézi elő. Élesztőgombák számára is fontos növekedési faktor. A biotinmolekula kéntartalmú gyűrűs részből és valeriánsav oldalláncból áll. A két ötagú heterogyűrűből álló váz a karbamid és a tiofénygyűrű összekapcsolódásából alakul ki. Biológiaiilag aktív az aldehid változat, a biotinál is, amely képes biotinná oxidálódni. A természetben a lizinnel képzett savamidja, az ugyancsak aktív biocitin is megtalálható (5.16. ábra).



5.16. ábra. A biotin és a biocitin

A biotin hőre nem érzékeny, erős savak és lúgok, valamint oxidálószeres azonban bontják, és fény hatására is lassan inaktiválódik. A nyers tojásfehérje avidin glikoproteinje a biotinnal olyan komplexet képez, amely az enzim bontásnak ellenáll, ezért az avidin-biotin komplex az emésztőcsatornán keresztül kiürül a szervezetből. A biotin a növényekben szabadon fordul elő, az állati szövetekben és a mikroorganizmusokban, továbbá a tejtermékekben viszont fehérjéhez kötött állapotban található. Az ember napi igénye 100–300 µg-ra tehető. Az emberi táplálkozás szempontjából legfontosabb forrás a máj, a vese, a tej, a tojássárgája, a szója, a zöldségfélék, a dió és az élesztő, továbbá a bélflóra is képes biotint szintetizálni.

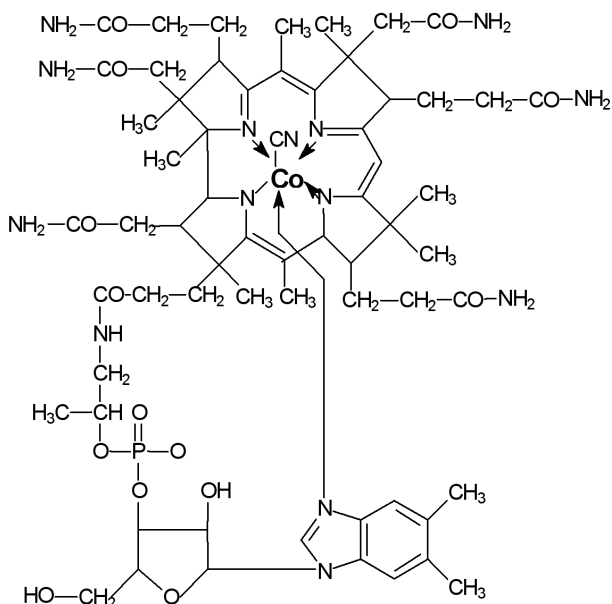
Biológiai funkcióját az enzimek prosztetikus csoportjaként fejt ki oly módon, hogy az *enzimfehérjék peptidláncában lévő lizinrészhöz kapcsolódik*. Biotintartalmú enzimek elsősorban a *szénhidrát- és lipid-anyagcserében fontos dekarboxilezési, dezaminálási, karboxilálási és szintetizáló folyamatokban vesznek részt*.

### 5.3.8. B<sub>12</sub>-vitamin

Az emberi szervezetben a B<sub>12</sub>-vitaminra (kobalamin) a *normális növekedéshez, az egészséges idegállapothoz és a vérképzéshez van szükség*. Sok fontos folyamatban (tiaminszintézis, egy szénatomos egységek redukálása, a propionsav metabolizmusa stb.) *koenzimként vesz részt*. Sok biokémiai folyamatban a folsavval együtt szerepel. Kiseb hiánya idegrendszeri panaszokat, nagymértékű hiánya az ember vészes vérszegénységét okozza. Ennek jellegzetes tünete a vörösvérsejtek számának csökkenése és természetellenes duzzadása, ezenkívül felléphetnek még étvágytalanság, gyengeség és emésztési panaszok is. A B<sub>12</sub>-vitamin felszívódásához szükség van egy 60 ezer dalton molekulatömegű, a gyomorfallal képződő mukoproteinre, amely felszabadítja az élelmiszerekkel felvett B<sub>12</sub>-vitamint a fehérjekomplexekből, és elősegíti a megfelelő receptorok kapcsolódását a vékonybélben.

A B<sub>12</sub>-vitamin elősegíti a háziállatok növekedését, növeli a tyúkok tojáshozamát, ami a proteinyagcserére gyakorolt hatásával függ össze. Szerkezetének alapja a porfirinvázhoz hasonló korringyűrű, amely a kobaltatom köré épül. A kobalthoz komplex kötéssel 5,6-dimetilbenzimidazol és vagy egy cianid-, vagy egy hidroxil-, vagy egy nitritgyök kapcsolódik (5.17. ábra). Mindhárom változat vitaminhatású, mert felszívódás után a májban ezek a *gyökök egyaránt 5-dezoxi-adenozinnal cserélődnek ki, és a kobalamin ebben a formában (adenozil-kobalamin) épül be az enzimbe*.

A B<sub>12</sub>-vitamint *kizárólag a mikroorganizmusok állítják elő*, növényekben nem található, a növényevő állatok szükségletét a belekben lévő mikroorganizmusok termelik meg. Az ember a nagy fehérjetartalmú állati eredetű táplálékkal hozzájut a szükséges B<sub>12</sub>-vitaminhoz, amelyből *napi szükséglete 3–4 µg*.



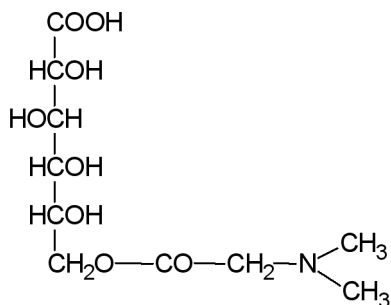
5.17. ábra. A cianokobalamin

### 5.3.9. B<sub>15</sub>-vitamin

A B<sub>15</sub>-vitamin (pangaminsav) az élő szervezet fontos metilezőszere (5.18. ábra). *Fiziológiai jelentősége a sejtek és szövetek oxigén-anyagcseréjének elősegítésében, továbbá méregtelenítő és lipotrop hatásában van.* Azokat az anyagokat nevezzük *lipotrop hatásúaknak*, amelyek *megakadályozzák egyes szervek (máj) elzsírosodását.* Kémiai összetétele: a *D-glükonsav dimetil-glicinnel képzett észtere.* Ételeink közül a gabonamagvakban, a májban és az élesztőben, továbbá a melaszban fordul elő nagyobb mennyiségben.

### 5.3.10. U-vitamin

Az U-vitamin (S-metil-metionin) *gátolja és gyógyítja a gyomorfekélyt, csökkenti a vérszérum zsír- és koleszterinszintjét, lipotrop hatása pedig hasonló a pangaminsavéhoz.* Kémiai szerkezetét tekintve



5.18. ábra. A B<sub>15</sub>-vitamin

a metionin kénatomon metilezett L-konfigurációjú, bázikus jellegű, reakcióképes szulfóniumszármazéka. A magasabb rendű növényekben S-adenozil-metioninból képződik. A szervezetben részt vesz a kolin és a kreatin szintézisében. Fontos biokémiai metilezőszer, a metionint is helyettesíti. Az emberi szervezet nem tud metilcsoportot szintetizálni, ezért a *zsírok lebontásához szüksége van metildonorokra*. Az U-vitamin a káposztában, a salátában, a paradicsomban, a zöldhagymában, a retekben, a petrezselyemzöldben, a spárgában és a gyümölcsökben fordul elő. Főzés hatására dimetil-szulfidra és homoszerinre bomlik, ezért elsősorban a nyers növények és azok kiszajtolt leve tartalmaz sok U-vitamint.

### 5.3.11. C-vitamin

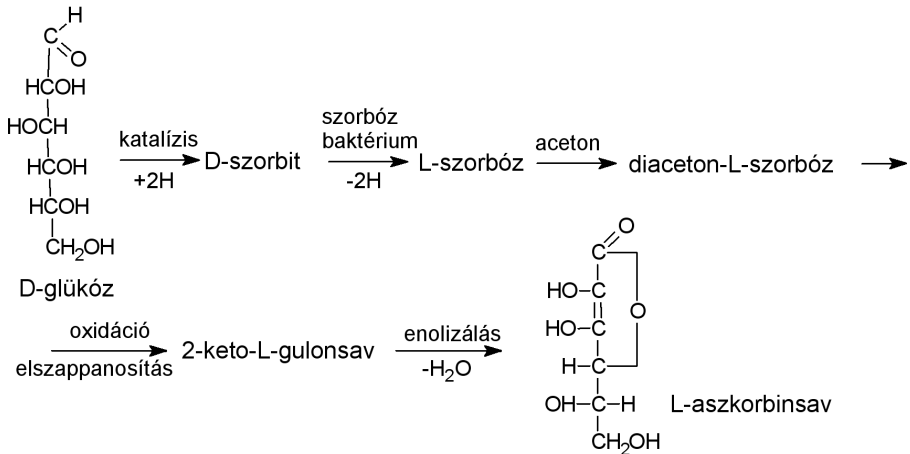
A C-vitamin- (aszorbinsav-)hiány okozta skorbut a középkorban félelmetes betegség volt, újabb vizsgálatok azonban kimutatták, hogy a *skorbutot a C-vitamin és egyes bioflavonoidok együttes hiánya okozza*. Jellemzői az általános gyengeség, a légszomj, a zavart szív működés, az izom- és csontfájdalmak, a fogíny nagyfokú vérzékenysége, majd a pontszerű bevérzések az alsó végtagokon, amit az vált ki, hogy a hajszálerek könnyen megsérülnek és véráteresztővé válnak. A csontok törékenyek lesznek, az ízületek megduzzadnak, a fogak meglazulnak és kihullanak, a sebek csak rendkívül nehezen gyógyulnak, és végül bekövetkezik a halál.

C-vitamin-hiány miatt ma már csak ún. tavaszi fáradtság alakul ki, amelynek következtében a szervezet ellenálló képessége csökken, és nő a meghűléses betegségekkel szembeni fogékonyság.

A C-vitamin a glükóz oxidációs termékének, a 2-keto-gulonsavnak L-konfigurációjú laktonja (5.19. ábra). A 2-keto-gulonsav is vitaminhatású, a D-aszkorbinsav biológiai hatása viszont jelentéktelen. Az aszkorbinsavra jellemző a dienolcsoport, amely diketocsoportra oxidálódhat, ezért az aszkorbinsav erős redukálószer; jellemző tulajdonsága, hogy reverzibilisen oxidálódik dehidro-aszkorbinsavvá, amellyel redoxrendszert képez. Mindkét forma vitaminhatású, azonban az aszkorbinsavat tartjuk értékesebb terméknek. Az aszkorbinsav oxidációval diketogulonsavvá alakul, ami oxálsavra és L-treonsavra bomlik, amely átalakulások már irreverzibilisek. Az aszkorbinsav nemcsak a levegő oxigénje vagy vegyszerek, hanem egyes enzimek hatására is oxidálódik. A vitamin inaktiválódását melegítés, fény és fémnyomok is katalizálják. Aminosavak jelenlétében az aszkorbinsav, a dehidroaszkorbinsav és különböző bomlástermékei Maillard-típusú reakciókban barna színű terméké alakulhatnak.

Az aszkorbinsav jellegzetesen savanyú ízű, kristályos anyag, amely vízben jól oldódik, 2%-os vizes oldatának pH-ja 2,8, savanyú oldatai állandóak, levegő jelenlétében azonban pH = 4 felett könnyen bomlik. A második szénatomon lévő hidroxilcsoportjának hidrogénje könnyen ( $pK_1 = 4,2$ ), a harmadik szénatomon lévő nehezen ( $pK_2 = 11,6$ ) disszociál. Az elsőrendű alkoholos hidroxil-csoportja zsírsavval észtereshet; a palmitinsavval kapott észtere, az aszkorbil-palmitát a zsíradékokban antioxidáns hatást fejt ki. Az aszkorbinsav sztereoizomerjei (D-aszkorbinsav, D-izoaszkorbinsav, L-araboaszkorbinsav) vitaminhatás nélküli antioxidánsok.

A kristályos C-vitamint először Szent-Györgyi Albert állította elő 1928-ban, mellékveséből, majd paprikából. Mesterséges szintézise D-glükózból indul ki, és D-szorbiton keresztül jut el az L-aszkorbinsavhoz. Különösen sok C-vitamint tartalmaz a zöldpaprika (150 mg/100 g), a paradicsom (10–25 mg/100 g), a káposzta (45–55 mg/100 g), a fekete ribiszke (160–180 mg/100 g), a friss és szárított csipkebogyó (400–100 mg/100 g), a burgonya (10–20 mg/100 g) és a különböző déligyümölcsök (40–50 mg/100 g). Az állati szövetek közül csak a belsőségek rendelkeznek nagyobb C-vitamin-tartalommal (20–40 mg/100 g), és a tehéntej C-vitamin-tartalma is csekély (15 mg/kg).



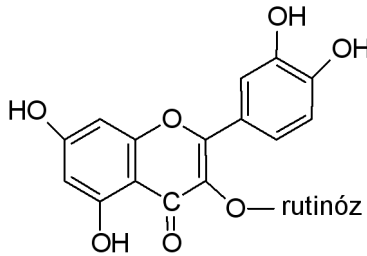
5.19. ábra. Az askorbinsav mesterséges szintézise D-glükózból

Az *askorbinsav* biológiai hatása oxidációs-redukciós képességével függ össze. Az emésztőcsatornában *elősegíti a vas és kalcium felszívódását*, a sejtek biokémiai folyamataiban *redukált állapot fenntartásával és hidrogéndonorként vesz részt*. Közreműködik a kötőszövetek kollagénjének képződésében, a mellékvese hormonjainak szintézisében, a szerotonin nevű szöveti hormon termelésében és a tirozin oxidatív lebontásában.

A *felnőtt ember átlagos napi C-vitamin-szükséglete a munkavégzéstől függően mintegy 45–80 mg*. A C-vitamin-felesleg a szervezetből távozik ugyan a vizelettel, de túlzott mértékű fogyasztása (a vesekő kialakulása miatt) káros az egészségre. Szent-Györgyi Albert kísérletei során kimutatta, hogy a véredények falának nagy permeabilitását, a vérzékenységet, csak askorbinsav adagolásával nem lehet megszüntetni. Ehhez szükséges a P-vitaminnak elnevezett, és először 1936-ban előállított, permeabilitást szabályozó vitamin. *P-vitamin-hatású anyagok a bioflavonoid-glikozidok*, amelyek közül a *rutin* bizonyult biológiailag legaktívabbnak (5.20. ábra).

A rutin olyan glikozid, amelynek cukorrésze a rutinóz, az aglikonja pedig három gyűrűből álló flavonolgyűrű. A rutinóz olyan oligoszacharid, amely D-glükózból és L-ramnózból,  $\beta$ -konfigurációjú összekapcsolódás során jön létre. (A bioflavonoidokat ma már nem soroljuk a vitaminok közé.)





5.20. ábra. Rutin

## 5.4. Egyéb táplálkozási tényezők

A vitaminokon kívül még számos olyan szerves vegyület van, amelyek fontosak az élő szervezet működéséhez, azonban nem vitaminok. Ezeket a vitaminszerű anyagokat szokták vitagéneknek nevezni. Közéjük tartoznak az esszenciális aminosavak és zsírsavak, az inozit, a kolin, a liponsav, az ubikinon és a bioflavonoidok.

### 5.4.1. Nélkülözhetetlen (esszenciális) aminosavak

Az esszenciális aminosavat a szervezet vagy nem képes szintetizálni, vagy nem tudja olyan mennyiségben előállítani, amennyire szüksége lenne. A nélkülözhetetlen aminosavat ezért a táplálékkal kell a szervezetbe juttatni. Az esszenciális aminosavak fogalma relatív, mert a különböző állatok és az ember számára más és más aminosavak a nélkülözhetetlenek, és az esszencialitás esetleg a kortól is függ. Jelenlegi ismereteink szerint az alábbi nyolc aminosav esszenciális egy felnőtt ember számára: *fenil-alanin, izoleucin, leucin, lizin, metionin, treonin, triptofán* és *valin*. Ezeken kívül az emberi szervezet különböző fejlődési szakaszaiban esszenciális lehet az arginin és a hisztidin. Azokat a fehérjéket, amelyek az esszenciális aminosavakat kellő mennyiségben és megfelelő arányban tartalmazzák, teljes értékű fehérjéknek nevezzük (hús, tojás, tej fehérjei). A növényi eredetű fehérjék többsége nem teljes értékű, mert belőlük a nélkülözhetetlen aminosavak – elsősorban a lizin, a metionin, a triptofán – kisebb-nagyobb mértékben hiányoznak.

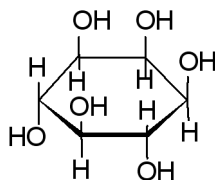
### 5.4.2. Nélkülözhetetlen (esszenciális) zsírsavak

Magasabb rendű szervezetek normális életműködéséhez olyan, többszörösen telítetlen zsírsavak is szükségesek, amelyeket a szervezet nem képes előállítani. Az *esszenciális zsírsavak hiánya* (régebben F-vitaminnak nevezték őket) *bőrkiütést és bőrgyulladást okoz*. Közéjük soroljuk a linolsavat, a linolénsavat és az arachidonsavat, amelyek közül az első kettő 18, az utolsó pedig 20 szénatomos vegyület. A kettős kötések száma a vázolt sorrendben 2, 3 és 4, és mindhárom telítetlen zsírsavban valamennyi kettős kötés *cisz konfigurációjú*.

Az esszenciális zsírsavak a több telítetlen kötés miatt oxidációval szemben igen érzékeny vegyületek. Közülük a linolsav és a linolénsav nagyobb mennyiségben a növényi zsírokban található, míg *az arachidonsav csak az állati zsíradékból mutatható ki*. A nélkülözhetetlen zsírsavakból a szervezet valószínűleg prosztaglandinokat, olyan biológiailag aktív lipideket szintetizál, amelyek csaknem valamennyi testszövetben megtalálhatók; izomserkentő, illetve -gátló hatásúak és erős vérnyomás-csökkentők.

### 5.4.3. Inozit

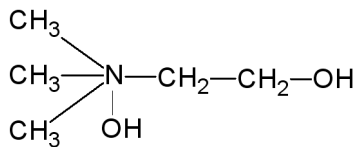
Az inozit – kémiai szerkezetét tekintve hexahidroxi-ciklohexán – az emberi szervezetben a máj és a csontvelő normális fejlődéséhez szükséges. A lehetséges sztereoizomerek közül csak az optikailag inaktív mioinozitrnak (5.21. ábra) van élettani hatása. Az inozit a növényekben szabadon, komplex vegyületekben vagy fitin (az inozit foszforsav észterének Ca-Mg sója) alakjában, az állati szövetekben pedig fehérjékhez vagy lipidokhoz kötve található. Különösen sok van a vesében és a citromfélékben. Az ember napi táplálékával kb. 1 g inozitot vesz fel, és bioszintézisére is képes.



5.21. ábra. Mioinozitr

#### 5.4.4. Kolin

A szervezet zsírsavcseréjében fontos szerepet játszó *foszfatidok szintéziséhez kolinra* (5.22. ábra) *van szükség*, hiányában ugyanis nem képződik elegendő foszfatid, és a májban felesleges zsírmennyiség rakódik le. A szervezet egyik fontos metildonora. Hidroxilcsoportja észterezhető, foszforsavésztere a legnagyobb gyakorlati jelentőségű. Az emberi szervezetben főként a foszfolipidekben található, acetyl-kolin formában az idegimpulzusok továbbításában van szerepe. Az élelmiszerek közül a hal, a máj, a tojássárgája és az olajos magvak tartalmaznak sok kolin. Az emberi szervezet is képes szintézisére.



5.22. ábra. Kolin

#### 5.4.5. Liponsav

A liponsav *ciklikus diszulfid*, amely *valeriánsav-oldalláncot tartalmaz*. Magasabb rendű szervezetekben számos enzim kofaktorába épül be. Jelentős szerepet tölt be az  $\alpha$ -ketosav *dehidrogenáz* multienzim komplexben, ahol fehérjéhez kötődik, és átmenetileg gyűrű felhasadásával SH-csoportot tartalmazó dihidro-liponsavvá alakul, amely hidrogénátadásra képes (5.23. ábra).



5.23. ábra. Liponsav és dihidro-liponsav

## 5.5. A provitaminok és a vitaminok meghatározása

Élelmiszerek és takarmányok provitaminjainak és vitaminjainak meghatározása a többi komponenshez képest *összetett analitikai feladat*, mert egyrészt koncentrációjuk kicsi az egyéb alkotórészek mellett, másrészt *a legtöbb vitamin érzékeny az oxidációra és néhány még a fényre is*. Ezért csak kíméletes analitikai műveletekkel, szükség esetén semleges atmoszférában vagy a direkt fény kiküszöbölésével lehet a vitaminokat analizálni. A vitaminok kémiai összetételüket tekintve olyan sokfélék, hogy meghatározásukra általános eljárást nem lehet kidolgozni, csak egyedi analitikai műveletekkel lehet őket elemezni, és meghatározásuk legtöbbször még különböző előkészítési műveleteket is igényel. A legtöbb esetben a meghatározás előtt a zavaró anyagokat el kell távolítani, a vitaminokat extrakcióval ki kell vonni, a kötött formában lévőket kötéseikből fel kell szabadítani, majd ezután következhet az azonosítás és a mennyiségi meghatározás. Általánosságban elmondható, hogy a zsírolható vitaminok kivonását szerves oldószeres extrakcióval végezzük, a vízoldható vitaminokat pedig vízzel vagy pufferoldattal nyerjük ki a vizsgálandó anyagból. A kivonás után az extraktumot általában kromatográfias módszerrel tisztítjuk, majd tisztítás után alkalmazhatjuk a klasszikus analitikai módszereket, a fotometriás és kolorimetriás, spektrofotometriás, fluorimetriás, bioanalitikai és főként a kromatográfias eljárásokat.

### 5.5.1. A karotin- és a xantofilltartalom meghatározása

A módszer alkalmas légszáraz zöld- vagy légszárazra szárított friss zöldtakarmányok karotin- és xantofilltartalmának meghatározására. E módszer szerint a légszáraz zöld vagy szárított mintákat hexán és aceton vagy petroléter és aceton elegyével szobahőmérsékleten nitrogénáram alatt extraháljuk, majd az extraktumot metanolos kálium-hidroxidos oldattal kezeljük. A bepárolt extraktum maradékát petroléterben feloldjuk, és alumínium-oxid oszlopon kromatografáljuk. Az *eluátum karotin-, illetve xantofilltartalmát spektrofotometriásan mérjük*. A meghatározás során extrahálási, kromatografálási és spektrofotometriás műveleteket végzünk.

Az extrahálás során a mintából, annak várható karotintartalmától függően, 1–3 grammot mérünk le 1 mg pontossággal, és csiszolt dugós mérőhengerben vagy mérőlombikban 30 cm<sup>3</sup> n-hexán és aceton 7 : 3

térfogatarányú elegyét adjuk hozzá. Nitrogéngáz befúvásával a levegőt az üvegedényből elűzzük, az üvegedényt csiszolt dugóval bedugjuk, és egy éjszakán át sötétben állni hagyjuk. Kromatografálás előtt egy órával hozzáadunk  $2 \text{ cm}^3$  40%-os metanolos kálium-hidroxid-oldatot, össze-rázzuk, és 30 percig sötétben állni hagyjuk. Ezt követően hozzáadunk  $2 \text{ cm}^3$  vizet, össze-rázzuk, és hagyjuk, hogy a csapadék leülepedjen, majd még  $70 \text{ cm}^3$  hexánt vagy petrolétert adunk hozzá, elegyítjük, és megvárjuk, amíg a csapadék ismét leülepszik. A felső tiszta fázisból a várható karotintartalomtól függő mennyiséget kimérünk csiszolatos gömblombikba, majd rotációs gyorsbepárlón,  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -on bepároljuk. A bepárlási maradékot  $20 \text{ cm}^3$  petroléterben feloldjuk.

Kromatografáláskor a petroléterben szuszpendált alumínium-oxidból  $15 \text{ cm}$  magas oszlopot készítünk, ügyelve arra, hogy az oszlop elkészülte után mindig legyen oldószer az adszorbens felett. Az alumínium-oxid tetejére  $2 \text{ cm}$  vastagon vízmentes nátrium-szulfátot rétegzünk, és ennek a tetejére visszük fel az előzőek szerint elkészített minta petroléteres oldatát. A kromatografáló oszlopot vízszögű-vákuummal úgy szívjuk meg, hogy az eluátum mennyisége másodpercenként  $2\text{--}3$  csepp legyen. Az eluálást addig folytatjuk, amíg a lecsepegő eluátum már szintelen nem lesz. A mérőlombikba gyűjtött eluátumot petroléterrel jelig töltjük, és össze-rázzuk. *A karotinfракció eltávolítása után egy másik mérőlombikba gyűjtjük a xantofillt tartalmazó eluátumot, amelyet az oszlopra vitt etanollal oldunk le. A xantofillfrakció távozása után a lombikot etanollal jelig töltjük, és össze-rázzuk.*

A spektrofotometriás mérés során a petroléteres eluátum karotintartalmának mérésekor az abszorbancia értéket  $450 \text{ nm}$ -es hullámhosszon,  $1 \text{ cm}$ -es küvettában, petroléterhez hasonlóan mérjük le. A xantofilltartalom meghatározását is ugyanilyen körülmények között végezzük, etanolhoz viszonyítva. A karotin- és a xantofilltartalom számításánál figyelembe kell venni az eluátum abszorbanciáját, az eluátum térfogatát, a meghatározáshoz bemért minta tömegét, valamint a karotintartalom meghatározásánál a  $\beta$ -karotin, a xantofilltartalom meghatározásánál pedig a xantofill  $1\%$ -os petroléteres, illetve etanolos oldatának  $1 \text{ cm}$ -es küvettában,  $450 \text{ nm}$ -en mért elméleti abszorbanciaértékét. Az eredmény két, párhuzamos mérés számtani középértéke. A párhuzamos mérések közt megengedhető eltérés a középérték  $8\%$ -a. Az eredményt egész számra kerekítve,  $\text{mg/kg}$ -ban adjuk meg.

### 5.5.2. A zsíroidható vitaminok meghatározása

#### 5.5.2.1. Az A-vitamin-tartalom meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával

A módszer alkalmas élelmiszerek és takarmányok A-vitamin-tartalmának meghatározására. Az eljárás során a megfelelően előkészített mintát lúgos közegben hidrolizáljuk, a felszabadult retinolt pedig petroléterrel extraháljuk. Az extraktumot bepároljuk, metanolban feloldjuk, a retinoltartalmat pedig nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC), fordított fázisú oszlopon, UV-detektálással, 325 nm hullámhosszon határozzuk meg.

A retinol felszabadítására lúgos közegben végzett hidrolízis körülményei függenek a várható A-vitamin-tartalomtól. Általánosságban a hidrolízist az alábbi körülmények között végezzük. Az A-vitamin-tartalomtól függően 5–15 g mintát 0,02 g pontossággal egy *Erlenmeyer*-lombikba mérünk, hozzáadunk 50 cm<sup>3</sup> etil-alkoholt, 2 cm<sup>3</sup> 3%-os nátrium-szulfid-oldatot, 2 cm<sup>3</sup> 10%-os aszkorbinsav-oldatot és 1 cm<sup>3</sup> 0,1%-os metanolban oldott BHT-t, végül 10 cm<sup>3</sup> 60%-os kálium-hidroxid-oldatot. A lombik tartalmát óvatosan, körkörösén összerázzuk, és 30 percre nitrogénáram mellett 70 °C-os hőmérsékletű vízfürdőbe merítjük. Ez idő alatt ötpercenként intenzíven körkörösén összerázzuk, majd a hűtőt 10 cm<sup>3</sup> etil-alkohollal leöblítjük, és a lombikot vízcsap alatt szobahőmérsékletűre lehűtjük. A hidrolizátumot 50 cm<sup>3</sup> vízzel, majd etil-alkohollal, az oldhatatlan részekkel együtt 200 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba mossuk, a mérőlombik tartalmát körkörös mozgatóssal összerázzuk, szobahőmérsékletűre hűtjük, majd etil-alkohollal jelig töltjük. A bedugaszolt mérőlombikot többszöri átforgatással elegyítjük, majd sötétben, 15 percig ülepedni hagyjuk. Közben egy rázótolcsérbe bemérünk 50 cm<sup>3</sup> 10%-os nátrium-klorid-oldatot és 50 cm<sup>3</sup> petrolétert, és a mérőlombikban lévő felülúszóból ehhez pipettázuk hozzá a várható A-vitamin-tartalom függvényében 10–100 cm<sup>3</sup>-t. A rázótolcsért bedugaszoljuk, egy percig intenzíven rázzuk, majd a fázisok szétválása után az alsó fázist 400 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárba engedjük le, a felső fázist pedig *Erlenmeyer*-lombikba töltjük, és sötét helyre tesszük. Az alsó fázis kirázását még kétszer 50–50 cm<sup>3</sup> petroléterrel megismételjük, az egyesített petroléteres fázisokat 10 g vízmentes nátrium-szulfáttal víztelenítjük, majd a petrolétert maximum 40 °C-os hőmérsékleten, nitrogénáramban bepároljuk úgy, hogy az extraktum térfogata kb. 5 cm<sup>3</sup>-re csökkenjen.

A petroléteres extraktumhoz  $5 \text{ cm}^3$  metanolt adunk, és a rotációs bepárlón térfogatát  $2 \text{ cm}^3$ -re csökkentjük. Ezt követően a maradékot  $2 \text{ cm}$  átmérőjű G4-es üvegszűrőn keresztül, vákuumszűrő segítségével  $10 \text{ cm}^3$ -es, kalibrált kémcsőbe szűrjük. A gömblombikot a szűrőn át metanollal a kémcsőbe mossuk, és a kémcső térfogatát  $10 \text{ cm}^3$ -re állítjuk be. Az így nyert oldat egy hétig alkalmas az A-vitamin-tartalom meghatározására.

Az így előkészített oldat  $20 \mu\text{l}$ -ét injektáljuk a nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiába. Az elválasztást  $25 \text{ cm}$  hosszú,  $7\text{--}10 \mu\text{m}$  szemcsenagyságú, C18 típusú, fordított fázisú oszloppal végezzük, metanol-víz  $95 : 5$  arányú elegyét  $1,5 \text{ cm}^3/\text{perc}$  áramlási sebességgel áramoltatva. A retinolcsúcsot a retenciós ideje alapján azonosítjuk. A mennyiségi meghatározáshoz retinil-acetát alapoldatot használunk, amely izopropil-alkoholban mintegy  $60 \text{ mg}$  A-vitamint tartalmaz  $100 \text{ cm}^3$ -enként. Ebből tízszeres hígítást képezünk, és ezt a tízszeresen hígított retinil-acetát mérőoldatot a mintával teljesen megegyező módon készítjük elő az A-vitamin meghatározásához. Az így előkészített standard oldatból a mintához hasonlóan  $20 \mu\text{l}$ -t injektálunk a HPLC analitikai oszlopára, és ezt követően a standard és a minta csúcs alatti területének összehasonlítása után a minta A-vitamin-tartalma számolható. A vizsgálat ismételhetősége a vitamintartalom függvényében a középérték  $10\text{--}20\%$ -a.

#### 5.5.2.2. *A D<sub>3</sub>-vitamin meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával*

A módszer alkalmas vitamin-alapanyagok, panelek és premixek D<sub>3</sub>-vitamin-tartalmának meghatározására. *A módszer szerint a mintát metanollal extraháljuk, és az így kapott metanolos oldatból szűrés vagy centrifugálás után  $50 \mu\text{l}$ -t injektálunk a HPLC készülékbe, az abszorbanciát pedig  $265 \text{ nm}$ -nél mérjük.*

Az eljárás során a vizsgálandó mintából a vitamintartalom függvényében  $1\text{--}10$  grammot mérünk be  $100 \text{ cm}^3$ -es Erlenmeyer-lombikba, hozzáadunk  $50 \text{ cm}^3$  metanolt, és a gondosan lezárt lombikot ultrahang fürdőbe helyezzük  $2 \times 10$  percre; ennek hiányában a lombikot  $30$  percig rázógéppel rázatjuk. A rázatás vagy ultrahangozás után az oldatot vákuumban szűrjük vagy centrifugáljuk, a tiszta oldatot vákuumban  $3\text{--}4 \text{ cm}^3$ -re bepároljuk, majd eluenssel  $6 \text{ cm}^3$ -re egészítjük ki. A meghatározást  $250 \times 4,6 \text{ mm}$ -es ODS HIP-5 kromatográfiás oszlopon végezzük.  $200 \text{ cm}^3$  metanol és  $800 \text{ cm}^3$  acetonitril elegyével,  $1,5 \text{ cm}^3/\text{perc}$  eluens-áramlási sebesség mellett kromatografálunk, és a D<sub>3</sub>-vitamin csú-

csát 10–11 perc retenciós idő után 265 nm-en detektáljuk. Ezt követően  $1,25 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $2,5 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  és  $5 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  koncentrációjú D-vitamin-tartalmú standardoldatokat készítünk metanollal, amelyek segítségével hitelesítőgörbét veszünk fel. A hitelesítőgörbe segítségével a minta ismeretlen D<sub>3</sub>-vitamin-tartalma meghatározható. Az eredményt  $\mu\text{g}/\text{g}$  értékben adjuk meg. Az azonos mintákból végzett két, párhuzamos érték között megengedett legnagyobb eltérés az eredmény 15%-a.

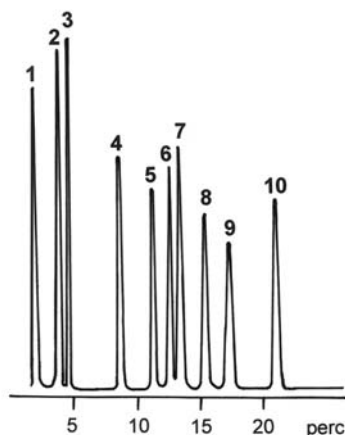
#### *5.5.2.3. Az E-vitamin ( $\alpha$ -tokoferol) meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával*

A módszer alkalmas vitamin-alapanyagok, panelek és premixek E-vitamin-tartalmának meghatározására. Élelmiszerek E-vitamin-tartalma a *természetes tokoferoltartalom, valamint a természetes és hozzáadott tokoferol-acetát hidrolíziséből származó  $\alpha$ -tokoferol összege*, amelyet mg/kg egységekben fejezünk ki. A módszer szerint a megfelelően előkészített mintát lúgos közegben hidrolizáljuk, a hidrolízis végén az elegyet sósavval megsavanyítjuk. A felszabadult  $\alpha$ -tokoferolt petroléterrel extraháljuk, az extraktumot bepároljuk és metanolban feloldjuk. *Az  $\alpha$ -tokoferol-tartalmat nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, fordított fázisú oszlopon, UV-detektálással 292 nm hullámhosszon határozzuk meg.*

#### *5.5.2.4. A zsíroidható vitaminok szimultán meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával*

A zsíroidható vitaminok a megfelelően megválasztott kromatográfiás körülmények között egy lépésben is szétválaszthatók, illetve meghatározhatók. Az 5.24. ábrán látható kromatogram tíz különböző vitamin, illetve vitaminszármazék szétválasztását mutatja.





**5.24. ábra.** A zsírolható vitaminok szétválasztása és meghatározása folyadékkromatográfiával. A szétválasztott vitaminok a következők: 1. menadion (K<sub>3</sub>-vitamin), 2. retinol (A-vitamin), 3. retinol-acetát, 4. menakinon (K<sub>2</sub>-vitamin), 5.  $\delta$ -tokoferol, 6. ergokalciferol (D<sub>2</sub>-vitamin), 7. kolekalciferol (D<sub>3</sub>-vitamin), 8.  $\alpha$ -tokoferol (E-vitamin), 9. tokoferol-acetát, 10. fillokinon (K<sub>1</sub>-vitamin)

A szétválasztás körülményei az alábbiak:

- 150 × 4 mm GRA-SIL 120 ODS–5 ST 5  $\mu$ m oszlop,
- acetonitril mozgó fázis 0,8 cm<sup>3</sup>/perc áramlási sebességgel,
- 7 MPa nyomás, 30 °C hőmérséklet,
- UV-detektálás 280 nm-en.

**5.1. táblázat.** A zsírolható vitaminok gyakorlatban használatos egységei és azok egymásba való átszámolása, valamint a mérési hullámhosszok

| Vitamin   | Egység              | Mérési hullámhossz (nm) |
|-----------|---------------------|-------------------------|
| A-vitamin | 1NE = 0,3 $\mu$ g   | 325                     |
| E-vitamin | 1NE = 1 mg          | 292                     |
| D-vitamin | 1NE = 0,025 $\mu$ g | 265                     |
| K-vitamin | mg/kg; $\mu$ g/kg   | 255                     |
| Karotin   | mg/kg               | 451                     |

### 5.5.3. A vízoldható vitaminok meghatározása

#### 5.5.3.1. A B<sub>1</sub>-vitamin- (tiamin-)tartalom meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával, fluorimetriás detektálással

A módszer alkalmas dúsított élelmiszerekben a hozzáadott B<sub>1</sub>-vitamin meghatározására. A módszer szerint a mintát hidegen zsírtalanítjuk, Selecton B<sub>2</sub> jelenlétében híg sósavval, majd koncentrált sósavval kezeljük. Nitrogénatmoszférában, 80–90 °C-os vízfürdőn, fény kizárása mellett oldjuk, majd hígítás és szűrés után lúgos közegben tiokrommá oxidáljuk. A meghatározást HPLC-vel, spektrofluorimetriás detektálással, a mintával azonos módon elkészített tiamin-klorid-hidroklorid standardoldathoz viszonyítva végezzük.

A vizsgálati eljárás során a minta várható B<sub>1</sub>-vitamin-tartalmától függően 2,5–10 grammot mérünk be egy 250 cm<sup>3</sup>-es Erlenmeyer-lombikba, 100 cm<sup>3</sup> 0,1 mólos sósavval szuszpendáljuk, majd még 1 cm<sup>3</sup> tömény sósavat adunk hozzá. (Amennyiben a minta zsírtartalma magas, a mintát tölcséren lévő szűrőpapírra tesszük és több részletben, 100 cm<sup>3</sup> körüli n-hexánnal vagy petroléterrel átmoszuk, majd száradni hagyjuk.) Ezt követően 80–90 °C-os vízfürdőn, visszafolyós hűtéssel, fénytől védve, 30 percig oldjuk, majd csapvízzel lehűtjük, szűrés nélkül 200 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba visszük, desztillált vízzel jelig töltjük, alaposan össze-  
rázzuk, majd ülepedni hagyjuk. Az oldat tisztáját a várható B<sub>1</sub>-vitamin-tartalomtól függően desztillált vízzel 250 cm<sup>3</sup>-re hígítjuk, össze-  
rázzuk és szűrjük. A szűrlet 10 cm<sup>3</sup>-éhez oxidációs edényben (30 *times* 120 mm, vastag falú kémcső) automata pipettával hozzáadunk 5 cm<sup>3</sup> oxidálóoldatot, amely 2%-os kálium-ferricianid és 30%-os nátrium-hidroxid-oldat 1 : 1 arányú elegye, és alaposan átkeverjük. Ezt követően hozzáadunk 0,5 cm<sup>3</sup> 85%-os tömény foszforsavoldatot, és csapvíz alatt lehűtjük. A mintaoldatból 20 cm<sup>3</sup>-t C18-as tisztítóoszlopon préselünk keresztül, és az így megtisztított oldatból 20 μl-t injektálunk a C18-as töltetű analitikai oszlopra. A B<sub>1</sub>-vitamin oxidált származékát metanol : foszfát puffer elegyével eluáljuk 1,2–1,5 cm<sup>3</sup>/perc áramlási sebesség mellett, majd fluoreszcenciás detektálással 320 nm-es extinkciós és 424 nm-es emissziós hullámhossznál határozzuk meg a B<sub>1</sub>-vitamin mennyiségét. A kalibráció során az oxidációs edénybe 10 cm<sup>3</sup> vízbe bemérünk 100, illetve 200 μl standardoldatot, amely 250–500 ng tiamin-klorid-hidrokloridot tartalmaz, majd a mintához hasonlóan oxidáljuk, tisztítjuk és kromatografál-

juk őket. A minta B<sub>1</sub>-vitamin-tartalmát a mintánál kapott csúcsmagasságból vagy területből, a vizsgálatához bemért minta tömegéből, illetve a standard egységnyi koncentrációjára jutó csúcsmagasságból vagy területből számoljuk. Az azonos mintából végzett két, párhuzamos mérés értéke között megengedett legnagyobb eltérés 20 µg/kg B<sub>1</sub>-vitamin-tartalom felett az eredmény 15%-a.

#### *5.5.3.2. A nikotinsav-amid meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával*

A módszer alkalmas az élelmiszerekhez hozzáadott, valamint premixek és supplementek nikotinsav-amid-tartalmának meghatározására. *Az eljárás során a mintát metanol : foszfát puffer eleggyel extraháljuk, majd az extraktum szűrése és centrifugálása után a nikotinsav-amid-tartalmat folyadékkromatográfiásan határozzuk meg 254 nm-en, UV-detektálással, ionpáráképzéssel.*

Az eljárás során a minta nikotinsav-amid-tartalmától függően 1–5 grammot mérünk be alufóliával bevont Erlenmeyer-lombikba, és hozzáadunk 100 cm<sup>3</sup> extrahálószer, ami 15 cm<sup>3</sup> metil-alkohol és 85 cm<sup>3</sup> 1%-os foszfátpuffer elegye. Az extrakciót 3 × 5 perces ultrahangozással véghezvük, amelynek során a túlzott felmelegedés elkerülése végett az ultrahangozások között kétperces szünetet tartunk. Az extrahálás után a mintát leszűrjük, térfogatát mérjük, majd 10 cm<sup>3</sup>-t centrifugacsőbe pipetázunk belőle. 10 percig 10 ezer g-n centrifugáljuk, majd amennyiben szükséges, a folyadékkromatográfiás mozgó fázissal szükség szerint hígítjuk. A megfelelően hígított és előkészített anyagból 50 µl-t injektálunk a folyadékkromatográf 25 cm hosszú, fordított fázisú, C18 típusú oszlopára. A mozgó fázis 1 litere 1 g n-heptánszulfonsav-nátriumot, 125 cm<sup>3</sup> metil-alkoholt és 875 cm<sup>3</sup> 1%-os foszfátpuffert tartalmaz. A nikotinsav-amid csúcsot 254 nm-en detektáljuk. A mennyiségi meghatározáshoz ismert mennyiségű nikotinsav-amid standardot mérünk be 0,1 mg pontossággal, amelyhez hozzáadunk 100 cm<sup>3</sup> folyadékkromatográfiás mozgó fázist. Az oldódást ultrahangozással segítjük elő, majd az oldatot szükség szerint folyadékkromatográfiás mozgó fázissal hígítjuk úgy, hogy a koncentrációja 4–20 ng/cm<sup>3</sup> között legyen. Az eredményt a standard csúcs alatti területe, a minta csúcs alatti területe, a hígítások és a bemérés figyelembevételével számoljuk, és mg/kg-ban adjuk meg, az eredeti mintára vonatkoztatva. Párhuzamos mérés esetén a mérés pontossága az átlag 8%-a.

### 5.5.3.3. Az aszkorbinsav-tartalom meghatározása

**Az aszkorbinsav-tartalom meghatározása 2,6-diklór-fenol-indofenolos titrimetriával.** A módszer szerint az aszkorbinsavat a mintából oxálsavoldattal vagy metafoszforsav : ecetsav elegyével extraháljuk, ezt követően pedig 2,6-diklór-fenol-indofenol színezékoldattal lazacrózsaszínig titráljuk.

A minta-előkészítést követően az aszkorbinsav-tartalom függvényében 10–100 grammot mérünk be 0,1 mg pontossággal, majd a bemért minta grammokban kifejezett tömegéhez képest 1–5-szörös mennyiségű 2%-os oxálsav-oldattal vagy ecetsavas metafoszforsav-oldattal extraháljuk. Az oldatot leszűrjük, elöntve a szűrlet első néhány cm<sup>3</sup>-ét, és ha szükséges, megfelelő hígítással érjük el, hogy a szűrlet aszkorbinsav-tartalma 0,1–1 mg/cm<sup>3</sup> között legyen. Az így kapott oldatból kiveszünk három aliquot részt úgy, hogy abban az aszkorbinsav-tartalom 2 mg körül legyen, és titráljuk meg a 2,6-diklór-fenol-indofenol-színezékoldattal úgy, hogy a lazacrózsaszín legalább öt másodpercig megmaradjon. A titrálást megelőzően meghatározzuk a színezékoldat hatóértékét aszkorbinsav standardoldatok segítségével, és a hatóértéket az 1 cm<sup>3</sup> színezékoldattal ekvivalens aszkorbinsav mg-ban megadott mennyiségére fejezzük ki. A titrálást követően vakpróbát is készítünk, amelynek során a titrálást úgy végezzük el, hogy az eljárás során a minta helyett azonos térfogatú extrahálóoldatot használunk. Az eredmény számolásánál a vakpróbánál fogyott színezékoldat térfogatát a minta titrálásához fogyott színezékoldat térfogatából le kell vonni. Az eredményt a következő képlet szerint számoljuk, és mg/100 g termék mértékegységben adjuk meg:

$$\text{aszkorbinsav-tartalom (mg/100 g)} = \frac{(V_o - V_1) \cdot m_1}{m_o} \cdot 100,$$

ahol:  $m_o$  = a titráláshoz felhasznált aliquot rész tömege (g),

$m_1$  = az 1 cm<sup>3</sup> színezékoldattal ekvivalens aszkorbinsav tömege (mg),

$V_o$  = a titráláshoz fogyott színezékoldat térfogata (cm<sup>3</sup>),

$V_1$  = a vakpróbára fogyott színezékoldat térfogata (cm<sup>3</sup>).

Az eredmény a három meghatározás számtani középértéke. A vizsgálatot zavarják a vas-, a réz- és az ónionok, a redukálóanyagok, a hidrogén-szulfidok, a szulfitok és a kén-dioxid.

**Az aszkorbinsav-tartalom meghatározása spektrofotometriás módszerrel.** A módszer szerint a mintából az aszkorbinsavat oxálsav-oldattal vagy metafoszforsav : ecetsav elegyével extraháljuk. Az aszkorbinsav a 2,6-diklór-fenol-indofenol színezéket kvantitatíve redukálja; a feleslegben lévő színezékanyagot xilollal extraháljuk, és az oldat abszorbanciáját 500 nm-en, spektrofotometriásan meghatározzuk.

Az eljárás során az előző fejezetben leírt extrakció szerint úgy kell eljárni, hogy az oldat 0,05–0,5 mg aszkorbinsavat tartalmazzon  $\text{cm}^3$ -enként. Ebből az oldatból 1–5  $\text{cm}^3$  mennyiséget centrifugacsőbe pipetázzunk, és adjunk hozzá a mintával megegyező térfogatú 4-es pH-jú nátrium-acetát-ecetsav pufferoldatot, és késedelem nélkül még feleslegben 2-6-diklór-fenol-indofenol-színezékoldatot. Az oldatot összekeverjük, és hozzáadunk 10  $\text{cm}^3$  xilolt, a centrifugacsövet lezárjuk, és erőteljesen rázzuk 6–10 másodpercig. A rétegek szétválásáig centrifugálunk, majd óvatosan eltávolítjuk a felső xilolos réteget, beletöltjük a spektrofotométer küvettájába, és lemérjük a xilolos fázis abszorbanciáját 500 nm-en. Vakpróbaként meghatározzuk a xilol abszorbanciáját, ugyancsak 500 nm-en. A mennyiségi meghatározáshoz helyezünk 4 db centrifugacső mindegyikébe ugyanannyi extrahálóoldatot, mint amennyit a mintaanalízisek során használtunk, adjunk mindegyikhez ugyanannyi mennyiségű pufferoldatot, és ezt követően az egymás utáni csövekbe 0,2; 0,4; 0,6 és 0,8  $\text{cm}^3$  színezékoldatot. Végezzük el a xilolos kirázást, határozzuk meg az abszorbanciákat, rajzoljuk meg a kalibrációs görbét, azaz ábrázoljuk az abszorbancia-értékeket a hozzáadott színezékoldat térfogatának függvényében. Az aszkorbinsav-tartalmat  $\text{mg}/100 \text{ g}$  termékben kifejezve, a következő képlettel számítjuk ki:

$$\text{aszkorbinsav-tartalom (mg/100 g)} = \frac{(V_o - V_1) \cdot m_1}{m_o} \cdot 100,$$

ahol:  $m_o$  = a meghatározáshoz felhasznált aliquot részben lévő minta tömege (g),

$m_1$  = az 1  $\text{cm}^3$  színezékoldattal ekvivalens aszkorbinsav tömege (mg),

$V_o$  = a színezékoldat térfogata ( $\text{cm}^3$ ),

$V_1$  = a színezékoldat felesleg térfogata a mért abszorbancia alapján, a kalibrációs görbéről leolvasva ( $\text{cm}^3$ ).

Két azonos mintából végzett meghatározás eredménye között a megengedett eltérés a számtani középérték 3%-a. Ha a termék xilolban old-

ható színanyagot tartalmaz, akkor a xilolos fázis abszorbanáciájának mérése után adjunk hozzá két csepp félig telített hidrokinnoldatot, keverjük össze, hagyjuk állni 30 másodpercig, majd mérjük le ismét az abszorbanáciáját. Az így mért abszorbanáciát vonjuk le a xilolos fázis kezdeti abszorbananciaértékéből.

**Az aszkorbinsav meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával.** A módszer alkalmas élelmiszerek C-vitamin-tartalmának meghatározására. *A homogén mintát metanol puffer eleggyel extraháljuk, majd a leszűrt oldatot nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával analizáljuk, elektrokémiai detektálást alkalmazva.*

A minta vitamintartalmának függvényében 1–10 g anyagot mérünk be 250 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer*-lombikba, és 50–100 cm<sup>3</sup> extrahálószerrel extraháljuk. Az extrahálószer 350 cm<sup>3</sup> metanoltól és 650 cm<sup>3</sup> 0,01 mólos kálium-dihidrogén-foszfát-oldatból áll, amelynek pH-ját összekeverés után 1 mólos foszforsavval 3,0 értékre állítjuk be. A lombikot alufóliával bevonjuk; 30 perces rázatás vagy 3 × 5 perces ultrahangos kezelés után a lombik tartalmát vákuumban leszűrjük, esetleg 5 percig 3500 g-n centrifugáljuk. A szilárd maradékot 5 cm<sup>3</sup> extrahálószerrel mossuk, a szűrlet térfogatát feljegyezzük, és a tiszta oldatból 20–50 μl-t injektálunk a HPLC készülékbe. A kromatografálásra Spherisorb 5 ODS 250 × 4,6 mm-es oszlopot használunk. Az eluens 350 cm<sup>3</sup> metanolt, 650 cm<sup>3</sup> 0,01 mólos kálium-dihidrogén-foszfát-oldatot és 2 cm<sup>3</sup> decilamint tartalmaz. Az eluens pH-ját 1 mólos foszforsavoldattal 3,0-ra állítjuk be. Az eluens áramlási sebessége 0,5 cm<sup>3</sup>/perc, a detektor ED 101 E elektrokémiai detektor. A méréshez szükséges kalibrációs egyenest a mélyhűtőben tárolt kristályos C-vitamin standardból a következőképpen készítjük. 0,05; 0,1 és 0,2 mg/cm<sup>3</sup> koncentrációjú oldatokat készítünk az extrahálószerrel, majd az oldatokat tízszeresére hígítva vesszük fel a kalibrációs egyenest. A C-vitamin rendkívüli bomlékonysága miatt a standardoldatokat nem célszerű egy héten túl használni. Ha az előzőeknek megfelelő koncentrációknál a kalibrációs egyenes lineáris, akkor további hígításokat nem kell készíteni.

Az eredményeket, figyelembe véve a minta C-vitamin-csúcsának magasságát, a szűrlet térfogatát, a minta extrakcióhoz felhasznált mennyiségét, valamint a hitelesítőgörbéhez bemért aszkorbinsav koncentrációját, mg/kg-ban adjuk meg. A mérés hibája két párhuzamos mérést követően az átlag 10%-a.

**A tej aszkorbinsav-tartalmának meghatározása.** A módszer az aszkorbinsav 2,6-diklór-fenol-indofenollal 2,5–3,5 pH tartományban való oxidációján alapszik. Ebben a pH-tartományban a C-vitamin tartóssága a tejszérumban jobb, mint kevésbé savas pH-nál. A titrálás során a reagens kék színe pirosba csap át.

A meghatározás során 25 cm<sup>3</sup> tejet pipettázunk 250 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer-lombik*ba, majd 20 cm<sup>3</sup> vizet adunk hozzá. Intenzív összekeverés után hozzámérünk 5 cm<sup>3</sup> 20%-os szulfo-szalicilsav-oldatot, intenzíven összerázzuk, majd öt perc állás után redős szűrőpapíron szűrjük, amelynek során az első, zavaros cseppeket a szűrőre visszaöntjük. A tiszta szűrletből kiveszünk 20 cm<sup>3</sup>-t (amely megfelel 10 cm<sup>3</sup> tejnek), fehér porcelántálba visszük, hozzáadunk 0,4 cm<sup>3</sup> pH = 2,8-ra szállított 50%-os Na-acetát-oldatot, majd állandó keverés mellett megtitrljuk a mikrobürettából folyó színezékkal addig, amíg az oldat enyhén piros színt vesz fel, és színét legalább 30 másodpercig megtartja. A szűrlet kimérése után a titrálást két perc időtartamon belül el kell végezni. Az oldatok beállítását az előző fejezetekben leírtak szerint végezzük. A tej aszkorbinsav-tartalmának kiszámítására a következő képletet használjuk, figyelembe véve, hogy a titráláshoz felhasznált tejszérum 10 cm<sup>3</sup> tejnek felel meg:

$$\text{tej aszkorbinsav-tartalma (mg/kg)} = \frac{g \cdot e \cdot 1000}{10},$$

ahol:  $g$  = a színezékoldat-felhasználás (cm<sup>3</sup>), 20 cm<sup>3</sup> tejszérumra,  
 $e$  = 1 cm<sup>3</sup> színezékoldatnak megfelelő aszkorbinsav mennyisége (mg).

#### 5.5.3.4. Az U-vitamin-tartalom meghatározása automatikus aminosav-analizátorral

A módszer alkalmas élelmiszerek, elsősorban növényi anyagok sejtnedvei U-vitamin-tartalmának meghatározására. Az *U-vitamint tartalmazó anyagot 2,2 pH-jú citrát-pufferben végzett homogenizálás után 12 órán át 4–5 °C-on, hűtőszekrényben tároljuk*. Ezt követően a homogenizátumot szűrjük és a *szűrletből meghatározzuk az U-vitamint (S-metil-metionin-szulfonium-klorid, a továbbiakban SMM)*. A módszerrel az SMM elválasztható a többi szabad aminosavtól, és mennyisége az *ioncserés oszlopkromatográfia adta pontossággal* meghatározható.

Az eljárás során a friss növényi mintából 30 grammot mérünk be egy gyors fordulatú homogénező-berendezésbe, hozzáadunk 30 cm<sup>3</sup> 2,2 pH-

jú Na-citrát puffert, öt percig intenzíven homogenizáljuk, majd további 12 óráig hűtőszekrényben tároljuk. A rostos részeket szűréssel eltávolítjuk, a szűrőn maradt anyagot  $2 \times 2 \text{ cm}^3$  pufferrel átmoszuk. A szűrletet lapos fenekű kristályosítócsészékbe öntjük, és hideg ventilációval  $10 \text{ cm}^3$ -re besűrítjük. Az így kapott sűrítményből az automatikus aminosav-analizátor érzékenységének megfelelő mennyiséget viszünk fel a megfelelő hígítás után az ioncserélő oszlopra. *Az U-vitamin a bázikus aminosavak között, az alkalmazott pufferrendszer függvényében a lizin előtt vagy után jelenik meg a kromatogramon.* Az alkalmazott pufferrendszerek, hőmérséklet- és időprogramok, valamint a készülék kalibrálása teljes mértékben megegyezik a fehérjék aminosav-összetételének meghatározását tárgyaló fejezetben leírtakkal. Az U-vitamin-meghatározás pontossága a szabad aminosavak nagy koncentrációja és zavaró hatása miatt az átlag 5%-a.

#### 5.5.3.5. A karnitin meghatározása fotometriával

Az emlősök szervezetében folyó zsírsavak  $\beta$ -oxidációjában jelentős szerepet játszik a karnitin. A zsírsavak  $\beta$ -oxidációja acetyl-CoA egységekre a mitokondriumok belsejében történik, azonban a mitokondrium belső membránja nem átjárható a zsírsavak és a CoA-észterek számára, ezért a zsírsavak bejuttatása a karnitin segítségével lehetséges. A karnitin a belső membránon való transzportban vesz részt oly módon, hogy átveszi a zsírsav CoA-észtereinek savkomponensét saját hidroxil-csoportjára a megfelelő *transzferáz* enzimek segítségével. A zsírsav CoA-észter acil-csoportja a *karnitin-palmitoil transzferáz I* enzim segítségével átkerül a karnitinre, amely a belső mitokondriummembrán külső felén helyezkedik el. Az így létrejött acil-karnitin a *karnitin transzlokáz* közvetítésével bejut a mitokondriumba, miközben egy szabad karnitinmolekula kikerül a citoplazmába. A belső mitokondriummembrán belső feléhez kötött *karnitin-palmitoil transzferáz II* enzim egy szabad CoA-SH felhasználásával újra létrehozza az acil-CoA észtert, amely így be tud lépni a  $\beta$ -oxidációs ciklusba.

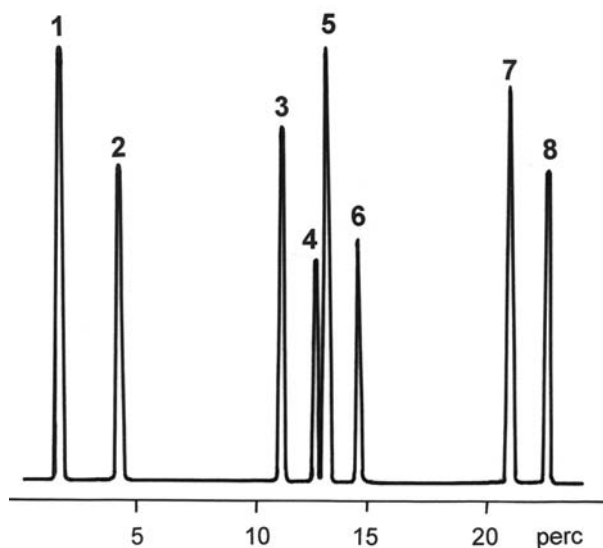
Az acetyl-CoA- és a karnitinreakciót az *Edman*-féle 5,5'-ditio-bis-(2-nitro-benzoészter)-val (DTBNB) követhetjük, amelynek lényege a következő. A felszabaduló CoA-SH szabad tiolcsoportja révén a DTBNB-vel sárga színű termék keletkezése közben reagál, amelynek abszorpciós maximuma 412 nm-nél van. A termék koncentrációjának mérésével a karnitin mennyisége meghatározható. Az SH-csoport és a DTBNB közötti



reakció leírása a tisztintartalom meghatározásával foglalkozó 3.6.6.3. fejezetben megtalálható.

*5.5.3.6. A vízoldható vitaminok szimultán meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával*

A vízoldható vitaminok a megfelelően megválasztott folyadékkromatográfiás körülmények között nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával egymástól szétválaszthatók, illetve meghatározhatók. A kromatogramon a következő vitaminok szétválasztása látható: 1. L-aszorbinsav (C-vitamin), 2. nikotinsav, 3. piridoxin-hidroklorid (B<sub>6</sub>-vitamin), 4. nikotinsav-amid, 5. tiamin-hidroklorid (B<sub>1</sub>-vitamin), 6. folsav, 7. ciano-kobalamin (B<sub>12</sub>-vitamin), 8. riboflavin (B<sub>2</sub>-vitamin). A meghatározás során CROM-SIL 120 ODS 5–ST, 5 μm töltetű, 150 × 4 mm-es oszlopot használtak. Az eluens 6,6-os pH-jú, 20 μM koncentrációjú kálium-foszfát-oldat volt, az áramlási sebesség 8 cm<sup>3</sup>/perc, a nyomás 9 MPa, a hőmérséklet 30 °C, a detektálást pedig 254 nm-en végezték.



**5.25. ábra.** A vízoldható vitaminok meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával

## 5.6. A vitaminok összefoglalása

A vitaminok olyan, természetes szerves vegyületek, amelyeket különböző külső forrásból kis mennyiségben meg kell szerezni ahhoz, hogy a szervezet anyagcseréje, energiaforgalma és megújítása zavartalan legyen. A vitaminok, nevüktől eltérően, nemcsak aminok, hanem egészen eltérő felépítésű vegyületek is lehetnek. A C-vitamin és a biotin kivételével többségük kisebb-nagyobb kémiai átalakulás után nyeri el funkcióképes alakját.

A vitaminok hatása azon alapul, hogy katalizáló- vagy szabályzó-tényezőként bekapcsolódnak az életfolyamatokba, részben fehérjéhez kötődve enzimeként (prosztetikus vitaminok), részben egyéb, még nem tisztázott módon (induktív vitaminok). Oldódásuk alapján megkülönböztetünk zsírolldható és vízoldható vitaminokat, és ismerünk még provitaminokat és antivitaminokat is.

Mai tudásunk szerint a zsírolldható vitaminok egyes fehérjék bioszintézisét szabályozzák. Mivel a szervezet tárolni képes őket, ezért velük kapcsolatos avitaminózis ritkán fordul elő. A zsírolldható vitaminok közül az A-, E- és K-vitamin részben vagy teljesen izoprén egységekből épül fel, a D-vitamin viszont a szteránvázis vegyületek csoportjába tartozik.

A vízben oldható vitaminok (B<sub>1</sub>-, B<sub>2</sub>-, B<sub>6</sub>-, B<sub>12</sub>-, B<sub>15</sub>-vitamin, nikotinsav, folsav, pantoténsav, biotin, C-, P- és U-vitamin) feleslegét a szervezet a vizelettel kiválasztja, ezért ezeket a táplálékkal rendszeresen fel kell venni. Biokémiai szempontból jellemző rájuk, hogy a biológiai oxidációt katalizáló enzimek koenzimjei vagy azok alkotórészei. Nincsenek provitaminjaik, és a velük kapcsolatos hiánytünetek gyorsan lépnek fel.

A vitaminokon kívül nélkülözhetetlenek még a szervezet számára az esszenciális aminosavak és zsírsavak, valamint az inozit, a kolin és a liponsav, amelyeknek ugyancsak az élelmiszerekkel kell a szervezetbe jutni.

Mivel a vitaminok többsége érzékeny az oxidációra, a magas hőmérsékletre és a fényre, és mivel kémiai összetételüket tekintve rendkívül sokfélék, ezért meghatározásuk összetett analitikai feladat. Analízisük általában szerves oldószerrel (zsírolldható vitaminok) vagy vízzel és pufferoldattal (vízoldható vitaminok) való extrakcióval kezdődik, tisztítási lépésekkel folytatódik, majd általában kromatográfias (legtöbbször nagy hatékonyságú folyadékromatográfias) módszerrel történik.

## TERMÉSZETES SZÍNEZÉKEK

Azokat az anyagokat, amelyek a természetben előforduló növényi és állati szervezetek színét adják, természetes színezőanyagoknak nevezzük. Csoportosításuk jellegzetes kémiai szerkezetük alapján lehetséges. Legismertebbek közülük a karotinoidok, a flavonoidok és a pirrolszínezékek.

### 6.1. Karotinoid színezékek

A *karotinoid színezékek* nagyrészt magasabb rendű növények lipidjeiben oldva előforduló, *sárga, narancssárga, vörös és ibolyás színeket adó vegyületek*. Megtalálhatók virágszirmokban, gyümölcsökben, termésekben, magvakban, levelekben, míg a gyökerek karotintartalma (a sárgarépa kivételével) viszonylag csekély. A növényevő állatok szervezetébe a táplálék útján kerülnek be, ahol a zsírszövetekben raktározódnak.

#### 6.1.1. A karotinoidok kémiai szerkezete

A legtöbb karotinoid színezék 40 szénatomos, jellemzően konjugált kettős kötése szerkezetűek és transz konfigurációjúak. Az izoprénből vezethetők le. Összetételük alapján megkülönböztetünk *karotinoid-szénhidrogéneket*, valamint *oxigéntartalmú karotinoidokat*. Ez utóbbit *xantofiloknak* hívjuk. Megkülönböztetünk hidroxilcsoportot, ketocsoportot, karboxilcsoportot és epoxidgyűrűt tartalmazó származékokat.

#### 6.1.2. A karotinoidok tulajdonságai

A karotinoidok zsírokban és zsíroldó szerekben oldódó *konjugált kettős kötéseik révén igen reakcióképes vegyületek*. A levegő oxigénjével reagálva az élénk színi vegyületekből színtelen oxidált származékok keletkeznek. Az oxidáció mértéke függ a fénytől, a hőtől, az oxigén je-

lenlététől, az antioxidánsok és a prooxidánsok hatásától. Feltételezhető, hogy a reakció szabad gyökök keletkezésével indul. Nagymértékben telítetlen zsírsavakat tartalmazó lipidek jelenlétében a vegyületek stabilabbak, mivel a szabad gyököket ilyenkor a zsírsavak addíciónálják. Egyes karotinoidok biológiailag aktívak. Az emberi szervezetben A<sub>1</sub>-vitaminná alakulnak; *legfontosabb provitamin a β-karotin*, mivel ebből két molekula A<sub>1</sub>-vitamin keletkezhet.

### 6.1.3. Fontosabb karotinoidok

A *karotinoid-szénhidrogének* közé tartozik a *likopin* (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>), amely megtalálható a paradicsom termésében, a magasabb rendű növények virágjában, gyökerében, magvakban és gyümölcsökben is. Az α-, β- és γ-*karotinok* (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>) igen elterjedtek a természetben; minden magasabb rendű növényben megtalálhatók. Fontosabb előfordulási helyeik a sárgarépa, a rizscsírólaj, a szójabab, a zöldpaprika és a kukorica. Minden klorofilltartalmú növényi részben jelen vannak.

Az *oxigéntartalmú karotinoidok* vagy xantofilok közül a *kriptoxantin* (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>O) jelentősebb mennyiségben a citrusfélékben, a kukoricában és a paprikában található. A *zeaxantin* (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>O<sub>2</sub>) a kukoricában, egyes bogyós gyümölcsökben és a halakban fordul elő. A *xantofill* vagy más néven *lutein* (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>O<sub>2</sub>) a klorofill mellett mindenütt jelen van a magasabb rendű növényekben. A xantofilok közé tartoznak még a *rubixantin*, az *asztaxantin*, *kapszantin*, a *kapszorubin*, a *β-karotin-5,6-epoxid*, a *β-bixin*, a *krocetin* és a *krocin*.

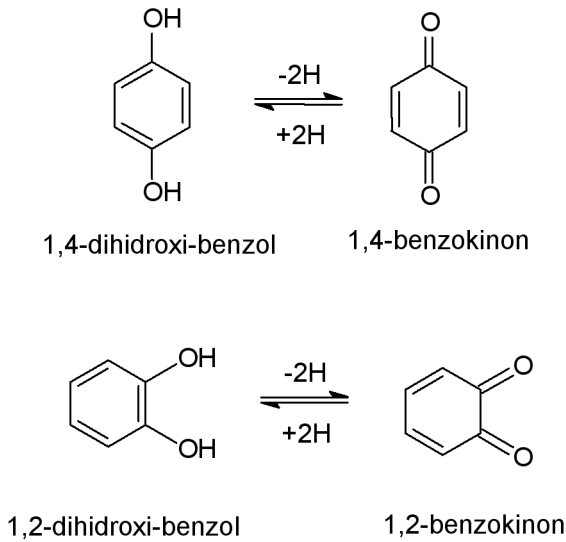
## 6.2. Kinonok

A különböző kinonszármazékok elsősorban a növényvilágban fordulnak elő; benzokinonokat a gabonafélékből sikerült izolálni. Legelterjedtebbek a *naftokinonok*, amelyek közül egyesek K-vitamin-hatást is mutatnak. Az *antrakinonok* ritkábbak, elsősorban rovarokban és gombákban találhatóak meg.

### 6.2.1. A kinonok kémiai szerkezete

A kinonok a természetben szabadon, észter- vagy glikozidos kötésben, esetleg fehérjéhez kötve találhatóak. Gyakran előfordulnak redukált

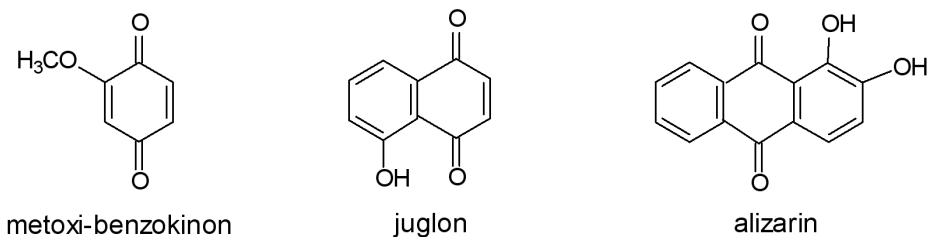
formában, mint polifenol vegyületek. Elsősorban *oxidáz* enzimek hatására tudnak átalakulni kinoidális szerkezetté (6.1. ábra). A nagy molekulatömegű polifenoloknál nagyobb a lehetőség a kinoidális szerkezet kialakítására, így a *színtelen polifenolokból sötétebb árnyalatok is létrejöhetnek*. Ilyen mechanizmussal megy végbe egyes gyümölcsök, növények sérült felületein az ún. *polifenolos barnulás*.



6.1. ábra. A difenolok oxidációs átalakulásai

### 6.2.2. Ismertebb kinonok

A benzokininok közül a *metoxi-benzokinin* és a *2,6-dimetoxi-benzokinin* búzacsírából izolálható, az *embelin* pedig bogyós termékekből nyerhető ki. A naftokininok közül a *juglon* a diófa zöld részeiben, különösen a gyümölcs zöld héjában fordul elő. A *lawson* a henna leveleiből izolálható, narancsszínű vegyület, az *alkannin* pedig vörösesbarna színű. Az antrakinonok közül az *alizarin* a rebarbarában és néhány más növény gyökerében található (6.2. ábra). A *krizofánsav* narancssárga, a *digitolutein* vörös színű anyag.



**6.2. ábra.** Egy-egy fontosabb benzo-, nafto- és antrokinon színyanyag

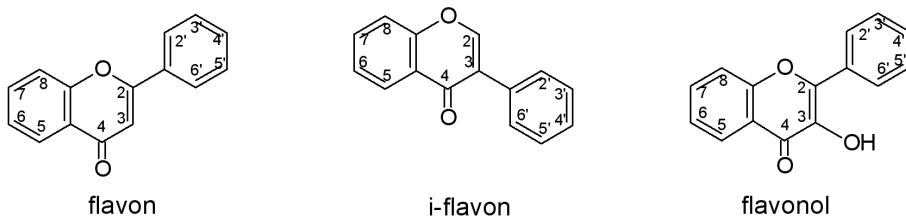
### 6.3. A flavonoid színezékek

A magasabb rendű növényekben megtalálható flavonoidok egy része színtelen, azonban számos vegyület tud sárga, narancssárga, piros, ibolya és kék színhatást kifejteni.

#### 6.3.1. A flavonoidok kémiai szerkezete

A flavonoidok fenil-kromán alapvázú, abból levezethető vagy azzal rokon vegyületek, amelyek elterjedtek a növényvilágban. Kémiai szerkezetük alapján az alábbi alcsoportokba soroljuk őket: *antoxantinok*, *antocianidinek*, *auronok* és *kalkonok*.

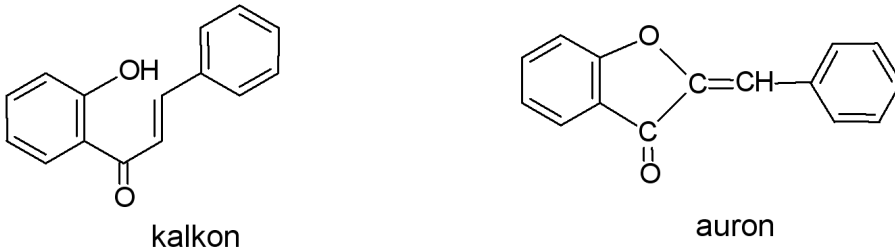
Az antoxantinokat további csoportokra oszthatjuk az alapvegyület oxidáltsági foka, illetve jellegzetes funkciós csoportjaik révén. Ezek közül a *flavonok*, az *izoflavonok* és a *flavonolok* adnak sárga színárnyalatot (6.3. ábra). Szintén sárga színűek a kalkonok és az auronok is (6.4. ábra).



**6.3. ábra.** Sárga színű antoxantinok

Az antocianidinek alapváza a fenil-kromán szerkezetből levezethető, pozitív töltést hordozó flaviliumkation. Az antocianidinek *színe a hid-*

roxilcsoportok számának növekedésével a narancsvörös-piros árnyalat-tól az ibolyáskék felé tolódik el. A proantocianidinek színtelenek, de az élelmiszer-feldolgozás során színessé válhatnak.



6.4. ábra. A sárga kalkon és auron képlete

### 6.3.2. A flavonoidok fontosabb tulajdonságai

A flavonoid vegyületek apoláros karakterűek, vízben vagy vizes oldatban glikozidos formában oldódnak. Egyes flavonoid vegyületek két- vagy háromértékű fémionokkal komplexeket tudnak képezni. A fémkomplekképződés általában gyengén savas vagy semleges közegben megy végbe, és a flavonolok kelátkötéseket is létre tudnak hozni. A flavonoidok fémkomplekképzése során a fémion oxidációt katalizáló hatása nem érvényesül, ily módon másodlagos vagy *indirekt antioxidáns* hatást tulajdoníthatunk ezeknek a vegyületeknek. Hátrányos lehet, hogy ezek a fémkomplexek élénk színű vegyületek, amelyek nemkívánatos elszíneződést okozhatnak a termékben. A flavonoidokra jellemző a kopigmentáció, amelynek során antociánvegyülethez kapcsolódva jelentős színváltozás történik. Az antociánok pH-változás hatására jelentősen megváltoztatják szerkezetüket. Erősen savas közegben az oxónium forma a stabil módosulat, amely a pH-növekedés hatására fokozatosan kinoidális szerkezetté alakul, miközben színe a semleges és az enyhén lúgos tartomány határán pirosból kék árnyalatúvá változik.

A gyümölcsök kénezése során az antociánvegyületek gyors elszíneződésen mennek keresztül, amelynek folyamán sárgás vagy más színű vegyületek keletkeznek. Az átalakulás reverzibilis, mert a kén-dioxidot kiforralva és a gyümölcspulpot megsavanyítva visszaáll az ere-

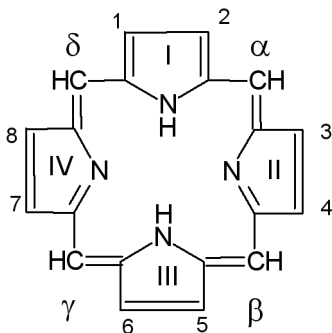
deti szín. A gyümölcsökben az antociánvegyületek mellett előfordul az L-aszkorbinsav is, amely nem okoz káros színintenzitás-csökkenést az antociánvegyületeknél.

### 6.3.3. Ismertebb flavonoid vegyületek

Az *antoxantinok* közé tartozik az *apigenin*, amely halványsárga, a *luteolin*, amely sárga, a *kvercetin*, a *rutin* és a *kvercitrin*, amelyek szintén sárga, sárgásfehér színű vegyületek. A *kalkonok* közé tartoznak az *izolikviritin* és a *butein*, sárga színű vegyületek, és ugyancsak sárga az *auronok* közé tartozó *aureuzidin*. Az *antocianidinek* közé tartozik a vörös színű *apigenidin*, a vörösbarna *pelargonidin* és *cianidin*, a barna *peonidin*, a sötétbarna *delfinidin* és *malvidin*, valamint a szürkésbarna *petunidin*.

## 6.4. Pirrolszínezékek

A pirrolszínezékek a magasabb és alacsonyabb rendű állati és növényi szervezetekben is megtalálhatók. A sárga, vörös, zöld és kék szín kialakításában vesznek részt. *Kémiai szerkezetüket tekintve gyűrűs és lineáris tetrapirrol szerkezeteket különböztetünk meg.* Ismeretesek olyan, lineáris elrendezésű származékok is, amelyek két vagy három pirrolgyűrűt tartalmaznak. A pirrolszínezékek fizikai, kémiai és érzékszervi tulajdonságai függenek a speciális szerkezettől, valamint az alapvázon lévő helyettesítőktől, esetleg más vegyületekhez való kötődéstől.

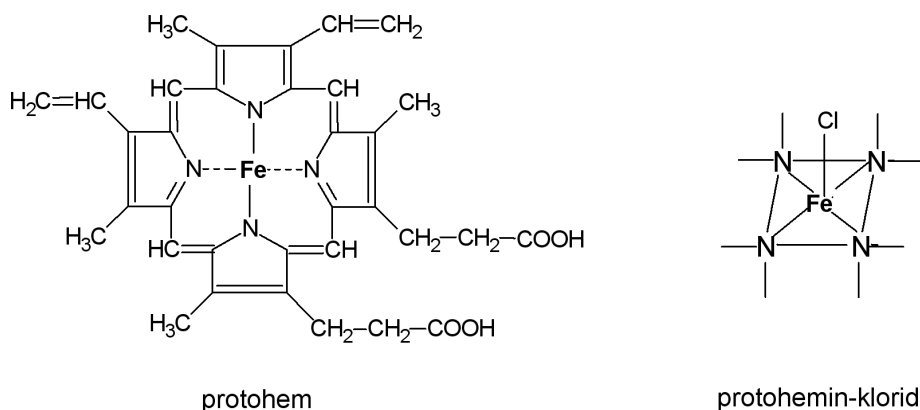


6.5. ábra. A porfirinváz



### 6.4.1. Gyűrűs tetrapirrolszármazékok

A gyűrűs tetrapirrolszármazékok fémtartalmúak és fémet nem tartalmazók lehetnek. A *fémmentes tetrapirrolszínezékek* alapváza a porfinváz, amely négy pirrolgyűrűből épül fel, metinhidakkal összekötve (6.5. ábra). A *porfirinvegyületek* a porfinvázból vezethetők le úgy, hogy a  $\beta, \beta'$ -helyeken az alábbi gyökökkel való helyettesítések mennek végbe:  $-\text{CH}_3$ ;  $-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ;  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ;  $-\text{CHO}$ ;  $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ;  $-\text{COOH}$ ;  $-\text{COOCH}_3$ . A fémmentes tetrapirrolszínezékek közül megemlíthetők a protoporfirinek, amelyek metil-, vinil- és propionsavgyök-helyettesítőket tartalmaznak. A fémtartalmú tetrapirrolvegyületek porfinváz és forbinváz vegyületek csoportjára oszthatók. A porfinváz vegyületek közül legnagyobb jelentősége a porfirinváz komplexeknek van. A vasion két- vagy háromértékű formában kapcsolódhat be a porfinvázba. A ferro-protoporfirin vagy protohem, illetve a ferri-protoporfirin vagy protohemin szerkezete a 6.6. ábrán látható.



6.6. ábra. A protohem és a protohemin-klorid szerkezete

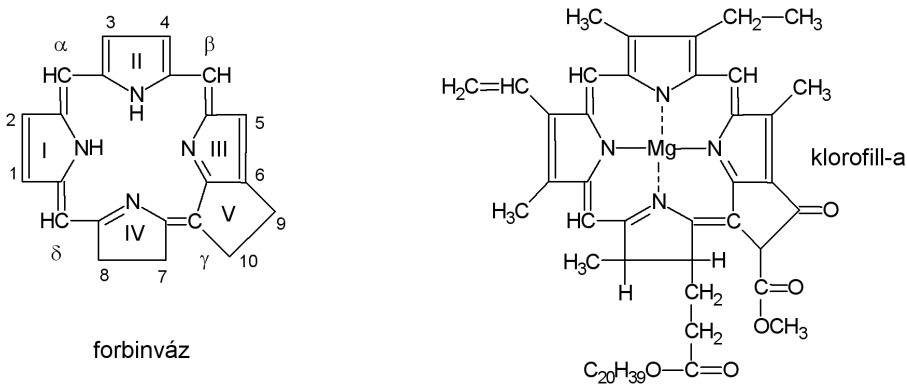
A fémmen beépülése a két pirrol-imin nitrogénatomjain lévő hidrogénatomok lehasadásával megy végbe. Ezáltal a vegyületek nitrogénatomjai elvesztik bázikus karakterüket, és csak savas karakterű, szerves oldószerekben oldódnak. A protohem két összetett fehérjének, a *hemoglobinnak* és a *mioglobinnak* a prosztetikus csoportja. A hemoglobin a vér, a mioglobin pedig jellegzetesen az izomszövet színezőanyaga. Az izomszínezékek között meg kell még említeni a *citokromokat*, amelyek vö-

rös hemszínezékek, vasat tartalmazó porfirin-fehérje komplexek, a *B<sub>12</sub>-vitamin*, amelyben a porfirinyűrűbe kobaltatom kapcsolódik, a *flavinkat* vagy más néven *sárga koenzimeket*, amelyek a citokrómokkal a sejtek elektrontranszportját végzik.

A *mioglobinn* molekulák működési mechanizmusa a hemoglobinéhoz hasonló; *reverzibilisen oxigént kötnek meg a hemcsoport segítségével*. A mioglobin és a molekuláris oxigén között kialakult kovalens kötés eredményeképpen létrejön az *oximioglobin*, amelyben a *vasion redukált*, kétértékű *formában van jelen*. A vasion oxidációjával a *metmioglobin* alakul ki, amely *ferriiont tartalmaz*. A mioglobin kialakulásakor kovalens kötések jönnek létre, amelyek szép, piros árnyalatú hússzínnek kialakításához vezetnek, mivel az *oximioglobin világospiros színű*. Ezzel ellentétben a *metmioglobin barna színű* vegyület, amely rontja a hús érzékszervi tulajdonságait. Összefoglalva tehát, a friss húsok színét három színezék, a mioglobin, az oximioglobin és a metmioglobin befolyásolja.

A *forbinváz* vegyületek képviselői a klorofilok, a növények zöld színanyagai. A *kloroplasztin összetett fehérje*, amelynek *prosztetikus csoportjai a klorofill-a és a klorofill-b* (6.7. ábra). A klorofill-a és klorofill-b csak a vegyület 3. helyzetben lévő helyettesítőjében tér el egymástól; a klorofill-a-ban metilcsoport, a klorofill-b-ben pedig formilgyök található. A forbinvázban a pirrolgyűrűk nitrogénatomjaihoz fő- és mellékvegyértékkel magnéziumatom kapcsolódik. Magasabb rendű növényekben a klorofill-a és -b aránya megközelítőleg 3 : 1. A klorofill fitilgyöke a lipidekkel, a hidrofób porfirinyűrű pedig a fehérjékkel tud kapcsolódni, ezért a lipidek és a fehérjék közé beágyazva helyezkedik el.

Savas közegben a magnéziumatom könnyen kilép a klorofillmolekulából, miközben feofitin keletkezik. A *feofitin-a és -b barnászöld színű*. Rézionokkal igen stabil, élénkzöld színű réz-feofitin komplexeket képeznek. A klorofill másik átalakulása során *klorofilláz* enzim hatására *klorofillid és fitol* keletkezik. A klorofillid savas közegben elveszíti magnéziumatomját, aminek során *feoforbiddá* alakul át. A fentiekén kívül ismerjük még a barnaalgákban előforduló *klorofill-c* és a vörösalgákban található *klorofill-d* származékokat. A klorofilloknak a zöld növények fotoszintézisében van jelentőségük, amikor a szén-dioxid redukálódik, a hidrogéndonor pedig oxidálódik, amihez az energiát a klorofill által elnyelt sugárzó energiából fedezi a növény.



6.7. ábra. A forbinváz és a klorofill-a szerkezete

### 6.4.2. Lineáris pirrolszínezékek

Az epeszínezékek négy pirrolgyűrűt tartalmaznak. Közülük a *biliverdin* megtalálható az ember és néhány állatfaj epéjében, egyes madarak tojáshéjában és az emlősök placentájában. A *bilirubin*, amely narancs-sárga színű hemoglobin-bomlástermék, előfordul az epében, a vesekőben, az emberi ürülékben és kis mennyiségben a normál vérszérumban.

## 6.5. Egyéb természetes színezékek

Az egyéb természetes színezékek közé tartoznak a *melaninok*, amelyek az állatok szőrének, tollának, a szemnek, a bőrnek barna vagy fekete színt adó vegyületek. Az enzimes barnulás során szintén barna színű *melaninok* keletkezhetnek. Az emberi szervezetben lejátszódó melanin-szintézis kiindulási vegyülete a tirozin.

A *betalainok* az antociánvegyületekkel mutatnak hasonló színező hatást. A mintegy 70 betalain alapvegyülete a diazo-heptametin, amelynek színe a szerkezet rezonanciájának tulajdonítható. Ennek megfelelően megkülönböztetünk sárga színű *betaxantin*- és vörös színű *betacianin*-vegyületeket.

A *tanninok* a tölgy barkájában található szintelen, sárga vagy barna színű vegyületek. A hidrolizálható tanninok a *galluszsav* és az *ellagsav polimerjei*, a nem hidrolizálható tanninok pedig a *katechinek éterkö-*

*tésű dimerjei.* A tanninok az egyes élelmiszereknek jellegzetes, fanyar ízhatást adnak. Szerepük van emellett még az enzimes barnulás folyamatában is.

## 6.6. A természetes színezékek analízise

A természetes színyanyagok kémiai természetük folytán igen sokfélék lehetnek, ezért kimutatásukra és meghatározásukra egységes módszert nem lehet találni. A karotin- és a xantofilltartalom meghatározását az 5.1.1. pontban, a provitaminok és a vitaminok meghatározása során ismertettük.

## 6.7. A természetes színezékek összefoglalása

A természetben előforduló növényi és állati szervezetek színét adó vegyületek a színezőanyagok. A karotinoid színezékek a magasabb rendű növények lipidjeiben oldva előforduló sárga, narancssárga, vörös és ibolyás színt adó vegyületek. Legtöbbjük izoprénből levezethető, 40 szénatomos vegyület, amelyekre jellemző a konjugált kettős kötés és a transz konfiguráció. A kinonszármazékok közül legelterjedtebbek a benzo-kinonok és a naftokinonok, amelyek narancs- és vörös színű anyagok.

A magasabb rendű növényekben megtalálható flavonoidok szintelen, sárga, narancssárga, piros, ibolya és kék színhatású vegyületek. A pirrolszínezékek közül a gyűrűs tetrapirrol-származékok a legjelentősebbek, amelyek a sárga, a vörös, a zöld és a kék szín kialakításához járulnak hozzá. A legismertebb e csoportba tartozó vegyületek a hemoglobin és a mioglobin, valamint a forbinvázás vegyületek csoportjába tartozó klorofill és származékai. Az egyéb természetes színezékek közül említést érdemelnek a melaninok, a betalainok, a betaxantin, a betacianin, valamint a tanninok.

## ÍZ- ÉS AROMAANYAGOK

Az *ízérzet* különböző anyagok oldatainak ingerkeltő hatására jön létre az agyközpontban, a nyelven, illetve a hátsó szájüregben elhelyezkedő idegvégződések, ízlelőbimbók közreműködésével. A szagérzet az orrban elhelyezkedő speciális idegvégződéseken egyes gáz állapotú anyagok hatására bekövetkező ingerek agyközpontban keletkező tudata. A szaglás és az ízlelés egymást befolyásolja; *az együttes észlelésből keletkezett érzetet zamatnak hívjuk*. A zamatérzetet is befolyásolják más olyan tényezők is, mint pl. a látás, továbbá olyan külső hatások, amelyek a fogyasztás során érvényesülnek.

### 7.1. A zamatanyagok általános jellemzése

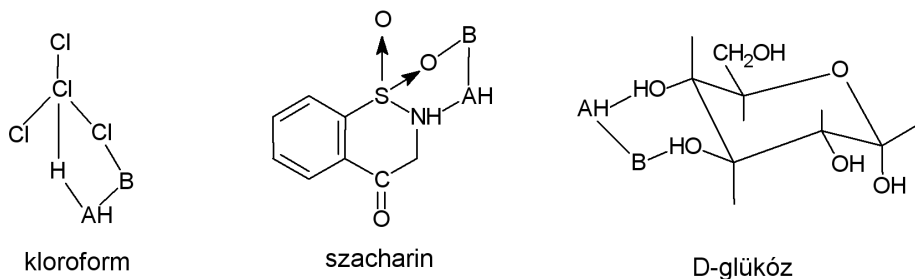
Az egyének íz- és illatérzékenysége különböző, ezért a még észlelhető legkisebb íz- vagy illatkoncentráció mértéke eltérő. Azt a legkisebb koncentrációt, amelyet még észlelni tudunk, *ingerküszöbnek* nevezzük.

#### 7.1.1. Ízanyagok

Négy *alapízt* különböztetünk meg: az *édes*, a *keseű*, a *savanyú* és a *sós* ízeket. Ezek közül az édes ízzel kapcsolatos kutatások a legjelentősebbek, amelyeknek célja olyan, édes ízhatást adó anyagok felfedezése, amelyek energiataartalma kicsi, és amelyekkel a jelenleg mesterséges édesítőanyagként használatos szacharint és ciklamátot pótolni lehet. A keseeű íz a molekulaszervezet-ízreceptor hasonló tulajdonságai révén szoros rokonságot mutat az édes ízzel. A sós ízzel kapcsolatos kutatások a nátriumtartalom csökkentését célozzák, mivel a nátrium túlzott mennyisége káros a szervezet számára.

Az *édes ízhatást* korábban a hidroxilcsoportok jelenlétével magyarázták, mivel a cukormolekulákban ezek vannak jelen kiemelkedő mennyiségben. Mivel azonban más kémiai szerkezetű anyagok is mutat-

nak édes ízhatást, olyan, közös jellemző tulajdonságokat kellett keresni, amelyek valamennyi édes ízű anyagban megtalálhatók. Ezért az édes ízt adó vegyületek ízadó egységére vagy íztényezőjére felállították az ún. *AH/B-elméletet*, amely szerint az ízadó egység egy hidrogénkötést létesítő proton és egy a protontól kb. 0,3 nm távolságban lévő elektronegatív, kovalensen kötődő atom. Az édes molekula aktív csoportjai és az ízreceptor közötti kapcsolódást úgy tételezik fel, hogy az AH/B komponens hidrogénkötéssel az ízreceptor hasonló szerkezetéhez kapcsolódik (7.1. ábra).



**7.1. ábra.** Az édes ízhatás kialakulása a kloroform, a szacharin és a D-glükóz esetében

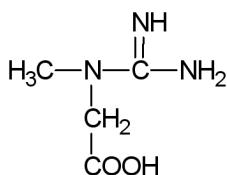
Újabban az AH/B-elméletet tovább fejlesztették, eszerint az édes molekulának a sztereokémiaailag megfelelő helyű lipofil része az ízreceptor hasonló lipofil részével fog kapcsolódni. Ezen elképzelés az alapja a jelenleg érvényben lévő „édesség-háromoldal szerkezet” elméletnek.

A *természetes édesítőanyagokat* kémiai összetételük alapján az alábbi csoportokba oszthatjuk: a *szénhidrátok* közé tartoznak a mono- és diszacharidok (szőlőcukor, répacukor, tejcukor, malátacukor, raffinóz, invertcukor, keményítősörp és méz), az édes ízű *cukoralkoholok* (pl. a D-szorbit és a D-mannit), de édes ízű még a glicerin is, amelyet azonban édesítőszerként nem használnak. A *triterpén* típusú édesítőanyagok enyhén csípős, édes ízhatást adnak. A természetes édesítőanyagokra általában az a jellemző, hogy *nagy az energiatartalmuk*, ezért bizonyos megbetegedések esetén előírt diéta tartása céljából *mesterséges édesítőszerket* is kifejlesztettek. Ezek az anyagok a szerkezet számára nem szolgáltatnak energiát, de igen nagyfokú édes ízhatást adnak. Ezek közül legrégebben ismert a *sacharin*, illetve ennek Na-sója, a kristályos *sacharid*.

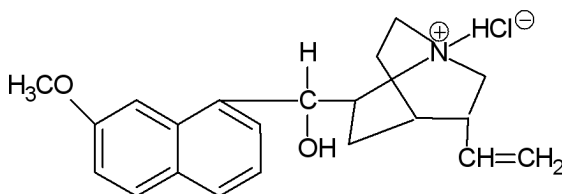
Az édes ízhatás számszerű kifejezésére a természetes édesítőanyagokkal való összehasonlítás céljából több fogalmat vezettek be. Ezek közül az *édességi fok* az az abszolút szám, amely megadja, hogy hány gramm szacharózt kell adott térfogatú vízben feloldani, hogy azonos ízhatást adjon, mint a vizsgált édesítőszer egy grammjának hasonló térfogatú oldata. A *molekuláris édességi fok* az az abszolút szám, amely megadja, hogy hány g-molekulatömeg szacharózt kell feloldani adott térfogatú vízben ahhoz, hogy ugyanolyan édes ízerzetet kapjunk, mint a vizsgált édesítőszer g-molekulatömegű mennyiségének azonos térfogatú oldata. Az *édességi egység* kifejezi az édesítőszer édesítőképességét 1 kg szacharózra vonatkoztatva. A szintetikus édesítőszer édesítőképessége lényegesen nagyobb, mint a természetes anyagoké; ha a szacharóz édesítőképessége 100, akkor a szachariné 55 ezer, a kristályos szachariné pedig 44 ezer.

A *keserű ízhatás* hasonlít az édeshez, ami az inert okozó molekulák sztereokémiai szerkezetével függ össze. Előfordul, hogy valamely molekula édes és keserű ízerzetet is kelt, jöllehet az édes molekulának két poláros csoportot kell tartalmaznia, amelyek egy apoláros csoporttal kiegészíthetők, a keserű molekulának viszont csak egy poláros és egy apoláros csoportra van szükségük. Van olyan elképzelés is, amely szerint a keserű molekulának az édesdel azonos AH/B funkciós helyekkel kell rendelkeznie, és a hidrofób csoportok is megegyeznek. Ezen elmélet szerint a keserű és édes íz közötti eltérést a *molekula térbeli elhelyezkedése* fogja eldönteni a receptorokban. Ha a molekula olyan helyzetbe illeszkedik, amely a keserű vegyületeket jellemzi, keserű, ha az orientáció az édesnek felel meg, édes ízerzet fog kialakulni. Ha a molekula térelrendeződése olyan, hogy mindegyik irányban el tud helyezkedni, keserű-édes ízerzet alakul ki. Ez az elmélet különösen érvényes az aminosavakra, amelyeknél a *D-izomerek édesek, az L-izomerek pedig keserűek*.

Az *élelmiszerekben előforduló keserű ízanyagok* közül az egyik legjellegzetesebb a  *kreatin*, amely egyes levesek keserű ízét adja. A *kinin alkaloid* a keserű ízerzékelés alapvegyülete. Az ízküszöb kininhidroklorid esetében 10 mg/kg. A keserű ízanyagok ízküszöbértéke alacsonyabb, mint az egyéb aromaanyagoké. A kakaó, a kávé és a tea keserű vegyületei, a *koffein* és a *teobromin*, purinvázis alkaloidok. A kávéban, a teában és a kóladióban előforduló koffein még 150–200 mg/kg koncentrációjú vizes oldatában is mérsékelten keserű. A teobromin kémiai szerkezete nagyon hasonlít a koffeinéhez. Elsősorban a kakaócserje termésében és a kakaóbabban fordul elő nagyobb mennyiségben.



kreatin



kinin-klorid

7.2. ábra. A kreatin és a kinin-klorid

A komló zamatanyagai, a *humulon* és a *lupulon*, a sör ízét kiemelkedően befolyásolják. A citrusféléknél (elsősorban egyes narancsfélékben és a grépfrútban) a *limonin*, egy keserű ízű triterpén-dilakton vegyület fordul elő. Másik jellegzetes keserű ízanyag a *naringin*, amely flavonon-glikozid. A naringin keserősége az 1→2' glikozidos kötés konfigurációjával függ össze, amely a ramnóz és a glükóz között alakul ki.

A fehérjehidrolizátumok, a pácolt és érett sajtok nemkívánatos *keserű ízét* elsősorban a *peptidekben lévő hidrofób oldalláncok idézik elő*. Minden peptid tartalmaz olyan csoportot, amely a poláros receptorhelyre tud illeszkedni, de igen nagy a variációja a hidrofób típusú oldalláncoknak is, amelyek kapcsolatba tudnak lépni a keserű receptorok megfelelő hidrofób helyeivel.

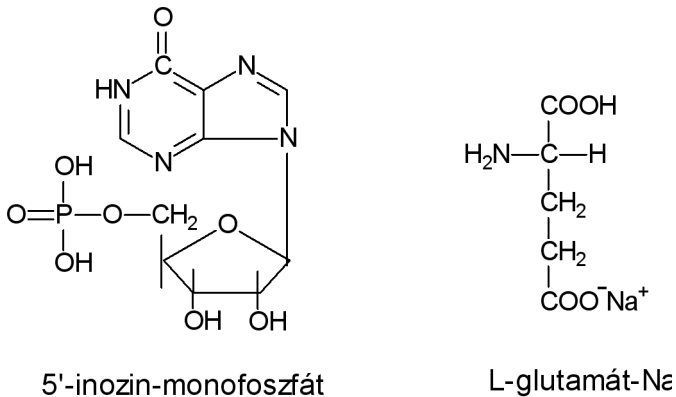
A *sók keserősége* nagy valószínűséggel a kationok és az anionok ionátmérője összességével mutat kapcsolatot. Ha a só ionátmérője 0,6 nm alatt van, tiszta sós ízt érzünk. A NaCl 0,556 nm-rel, valamint a LiCl 0,498 nm-rel sós ízű, a MgCl<sub>2</sub> viszont 0,85 nm átmérővel kimondottan keserű.

A tiszta sós ízt a NaCl adja, amelyhez nagyon hasonló ízhatást mutat a LiCl is. A túlzott Na-fogyasztás káros hatásainak kiszűrésére számos országban folynak kísérletek olyan, sós ízt adó anyagok előállítására, amelyek megközelítik a NaCl sós ízhatását. A többi só komplex ízű, mivel az édes, a keserű, a savanyú és a sós ízek keverékeit alakítják ki. Legújabban az a feltevés, hogy a kationok okozzák a sós ízhatást, az anionok viszont gátolják azt. Tiszta sós ízt a Na- és Li-ionok idéznek elő, a K-ion édes-keserű, a Mg-ion keserű, az Al-ion édes-fanyar sós ízhatást ad. Néhány bonyolultabb, nagyobb méretű anion nemcsak gátolja a kationok sós ízét, hanem a saját ízét emeli ki. Jó példa erre a nátrium-laurát jellegzetes szappanízével.



*Savanyú ízhatást* az élelmiszer-ipari gyakorlatban leginkább elterjedt különböző savak, a citromsav, az ecetsav és a tejsav okoznak. A savanyú íz ingerküszöbe igen alacsony, még az 1 : 100 ezer hígításban is érzékelhető. A savanyú ízhatás nemcsak a savkoncentrációtól, hanem a disszociáció fokától is függ. Lehetséges, hogy a molekulatömeg, a molekulaméret és a polaritás is nagy jelentőségű a savanyú ízérzet kialakításában.

*Ízfokozó anyagoknak* hívjuk azokat a vegyületeket, amelyek a kiutatási küszöb alatti koncentrációban valamely más ízanyag hatását a szájban fokozzák, és az élelmiszereknek kellemes vagy kellemetlen zamatot adnak. Legismertebb *ízfokozók a Na-L-glutamát és az 5'-inozin-monofoszfát* (7.3. ábra). Az 5'-ribonukleotidoknak számos szintetikus származéka szintén erős ízfokozó hatású. Ismert ízfokozó még a maltol és az etil-maltol, amelyeket édes élelmiszerekben és gyümölcsöknél használnak. A maltol nagy koncentrációban kellemes karamell aromájú, híg oldatokban édes ízű anyag.



7.3. ábra. A legismertebb ízfokozók

A *fanyar ízhatás* során száraz érzet alakul ki a szájban, a szájüreg szöveteinek erős összehúzódásával. A fanyar ízérzet általában akkor keletkezik, ha a *tanninok vagy polifenolok fehérjékkel kapcsolódva a nyálban csapadékot vagy aggregátumokat képeznek*. A tanninok sok olyan funkciós résszel rendelkeznek, amelyek a fehérjékkel hidrofób kapcsolatot tudnak létrehozni; a fenolos szerkezet könnyen átalakul kinoidális formává, amelynek során a fehérjékkel másfajta keresztkötéseket tud kialakítani. Ezek a keresztkötések is fontos tényezői lehetnek a fanyar

ízhatásnak. Bizonyos élelmiszerekben a fanyar ízhatás kellemes és kívánatos, mint pl. a tea és a vörösbor esetében. A *tanninok* (cserzőanyagok) igen elterjedtek a természetben. Jellegzetes kémiai szerkezetük alapján lehetnek *depszidok*, amelyek fenolkarbonsavaknak fenolkarbonsavakkal képzett észterei. A *klorogénsav* közülük a legjelentősebb, amely a pörkölt kávé íz kialakításában játszik szerepet. Ismert tanninok még a *gallotaninok*, az *ellagén cserzőanyagok* és a *katechinek*.

A *csípős ízhatást* bizonyos növényekben, fűszerekben előforduló olyan vegyületek okozzák, amelyek *éles, égető, szúrós érzetet*, összefoglalóan *csípős ízérzetet keltenek*. Részletesebben a vonatkozó fejezetben (10.3.5.) foglalkozunk velük.

*Hűsítő érzet* akkor keletkezik, amikor bizonyos vegyületek az orr vagy a száj szöveteivel érintkezve mentaszerű zamattal társuló hatást stimulálnak. Legjellegzetesebb ezek közül a *(-)-mentol* és a *kámfor*, amelyek *a hűsítő hatás mellett még jellegzetes illatot is adnak*.

Valamely élelmiszer ízét legtöbbször nem egy, hanem több ízanyag vagy más, *ízhatást befolyásoló anyagok* együttes fellépése és egyéb külső körülmények (pl. hőmérséklet) is befolyásolják. Az egyes ízkomponensek hatása egymásra rendkívül különböző lehet; a savanyú íz pl. az édeset teljesen el tudja fedni. A *NaCl-nak* pedig pl. a sós ízhatás mellett *fontos szerepe van a fehérjék kellemes, telt ízének kiemelésében*, ezzel szemben az édes vagy savanyú ízeket jelenléte keserűvé tudja változtatni. A külső tényezők közül legjelentősebb a hőmérséklet, ugyanis vannak olyan élelmiszerek, amelyek *csak melegen*, és vannak olyanok, amelyek inkább *csak hidegen adják a kívánt zamathatást*. Így a gyümölcslevek és a borok aromája pl. alacsony hőmérsékleten teljes, a fekete-kávé, a teát és a fűszeres készítményeket pedig melegen fogyasztják.

*Az ipari feldolgozás során is különféle zamatanyagok alakulhatnak ki*. A füstölés számos élelmiszer-nyersanyag régóta ismert tartósítási eljárása, amelynek egyúttal íz kialakító hatása is van. A *füstölés* során sok speciális vegyület adszorbeálódik az anyag felületén, majd onnan lassú diffúzióval bejut a termék belsejébe. *A füst fő komponense az ecetsav*, amely mellett *hangyasav, metil-alkohol, formaldehid, acetaldehid, acetone, fenolok és krezolok is találhatóak*. A pörkölés célja elsősorban a megfelelő zamatanyagok kialakítása. A pörkölés valójában *különböző hőmérsékleten végzett hőkezelést jelent*, amelynek során a termék kémiai összetételében, állagában és érzékszervi tulajdonságaiban számottevő változások mennek végbe. A hőkezelés alkalmával a szénhidrátok átalakulása karamellizációval történik meg, amely bonyolult pirolitikus folyamat.

A *szacharózból* többek között *diacetil*, *acetilmetil-karbinol*, *oximetil-furfurol* és *glioxál*, a *glükózból* pedig a diacetil kivételével ugyanezek az anyagok keletkeznek. A fehérjékből mélyreható átalakulások során a feketésbarna huminanyagok mellett acetilmetil-karbinol is keletkezik. A zsiradékok ugyan hőhatással szemben ellenállóak, azonban már kisebb hőmérsékleten is keletkeznek belőlük olyan, jellegzetes zamatanyagok, amelyek zsírban oldódnak, és színük a világossárgától a sötétbarnaig változik. *A fehérjék és szénhidrátok között* többirányú átalakulással *melanoidinek keletkeznek*, aminek során egyrészt a szénhidrátok oxidációjával keletkezett karboxilcsoportok a fehérjék aminocsoportjaival lépnek reakcióba, másrészt dekarboxileződéssel aminok is létrejönnek. Ilyen típusú reakció játszódik le a kenyér vagy sütőipari termék sütése alkalmával a felületen. A kakaóbab és a kávébab pörkölésekor *speciális komponensek alakulnak ki*, amelyek közül sok elillan, mások átalakulnak, és új, a pörkölés céljának megfelelő zamatanyagok keletkeznek.

## 7.2. Aromanyagok

Aromanyagoknak vagy illatanyagoknak nevezzük azokat a vegyületeket, amelyek az *élelmiszerek vagy élelmiszer-nyersanyagok szagérzetét keltik*. Az aromanyagok egy része nemcsak a szagérzet, hanem az ízérzet kialakításában is részt vesz. Az aromanyagok illékony vegyületek, amelyeknek azon koncentrációját, ami még elegendő a szagérzet felismerésére, *küszöbkoncentrációnak* nevezzük. A küszöbkoncentráció függ a hőmérséklettől és a közegtől, és minden aroma esetében más és más. Az aromanyagokat a kulcsvegyületek alapján osztjuk csoportokba.

### 7.2.1. A különböző illatanyagok

Az élelmiszerek illatának, illetve zamatának kialakításában igen nagyszámú vegyület vesz részt. Az *Allium-félék kéntartalmú illóanyag komponensei* közé tartozók erős, átható aromanyagok. Ide tartoznak a vöröshagyma, a fokhagyma, a póréhagyma és más hagymaféleségek illóanyagai. Az ép növényekben a jellegzetes aroma nem mutatkozik, mivel az illatprekursorok nem tudnak átalakulni aromanyagokká. A *hagymaillat prekursora az S-(1-propenil)-L-cisztein-szulfoxid*, amely a póréhagymában is megtalálható. A vegyületet az *alliináz* enzim gyorsan hidrolizálja, amelynek eredményeképpen szulfénsav és ammónia ke-



során keletkező aldehidek és ketonok a megfelelő alkohollá tudnak redukálódni, amelyek észlelési küszöbértékei magasabbak a kiindulási vegyületekéénél. A C<sup>6</sup> vegyületek általában a friss, vágott fű érzetét keltik, a C<sup>9</sup> vegyületek az uborka és a dinnye, a C<sup>8</sup> vegyületek pedig a gomba illatát adják. A C<sup>6</sup> és C<sup>9</sup> vegyületek primer alkoholok és aldehidek, a C<sup>8</sup>vegyületek pedig szekunder alkoholok és ketonok.

A *hosszú szénláncú zsírsavak β-oxidációjából* származó illó komponensek kellemes, gyümölcs jellegű aromák, amelyek az érés alkalmával fejlődnek ki. A reakció során közepes lánchosszúságú (C<sup>9</sup>–C<sup>12</sup>), illékony molekulák alakulnak ki, és karboxisavak is keletkeznek, amelyekből *gyűrűzáródással γ- és δ-laktonok jönnek létre*. Az *acilglicerinek hidrolízises bontásával* kellemetlen illatú szabad zsírsavak keletkeznek. Az avas szóval általában a zsiradék oxidációja során keletkezett anyagokat jellemezzük, amelyek jellege széles határok között változik a különböző élelmiszerekben (bővebben lásd a 4.2.2. fejezetben).

*Illatreverzió* a szójaolajban és más, linolsavat tartalmazó olajokban fordul elő. A kellemetlen zamatkomponens nyersbab- vagy fűízű, ami a linolsav autooxidációja révén kis peroxidszám-értékeknél fejlődik ki. *Keményített illat* a hidrogénezett szójaolajban, illetőleg a tengeri állatok olajaiban hosszabb tárolás után érezhető.

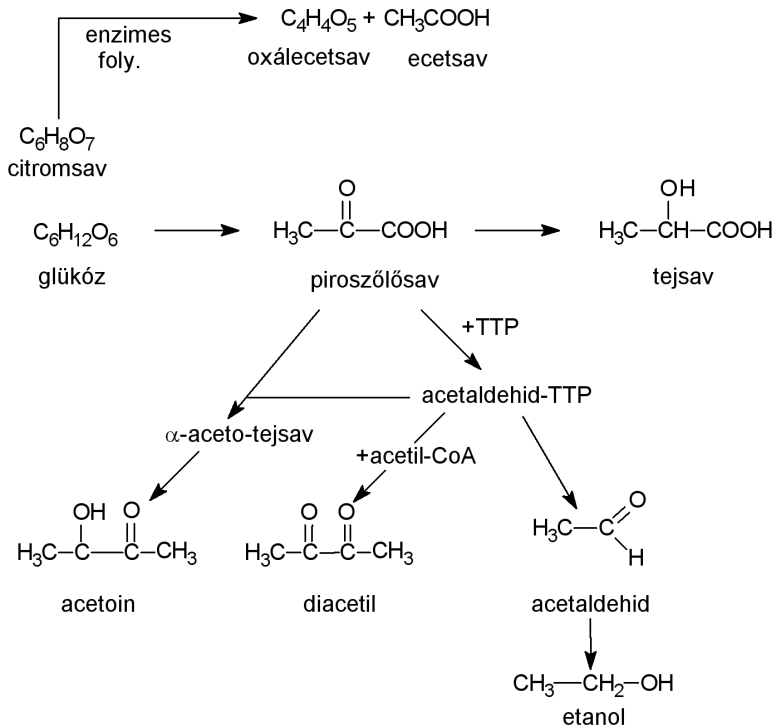
*Zsír bontó enzimek hatására* is keletkezhetnek illatanyagok, amikor a *lipáz* enzimek az acilglicerin molekulákat két lépésben hidrolizálják. Az endogén *lipázok* a zamatképződés szempontjából jelentősek, mivel a triacilglicerinek hidrolízisével kellemes vagy kellemetlen illatanyagok keletkezhetnek. Ebből a szempontból megemlíthető a tej *lipoprotein* enzimeje, amely hidrolízissel bontja a tejszír acilglicerin komponenseit, és kellemetlen szagú, kis molekulatömegű zsírsavakat hoz létre. A *foszfolipázok* szubsztrátjai a foszfolipid típusú vegyületek, amelyekből pl. a *foszfolipáz A<sub>2</sub>* sokszorosán telítetlen zsírsavakat szabadít fel. Ezeket a *lipoxigenáz* enzim tovább bontja kellemes, a friss zöldségfélék illatának megfelelő aromakomponensekké. A *lipoxigenázok* széles körben és nagymértékben befolyásolják a különböző élelmiszerek illatát és zamatát. A zöldségfélékben a linolsav és a linolénsav *lipoxigenáz* hatására peroxidokká alakul. A *lipoxigenázok* által létrehozott anyagok további másodlagos enzimes vagy nemenzimes átalakuláson mehetnek keresztül, és az így keletkező vegyületek erősen rontják a minőséget. A *peroxidázok* szintén fontosak a zamatkialakítás szempontjából, mert katalizálják a telítetlen zsírsavak peroxidatív lebontódását, és gazdag illatú karbonilvegyületeket hoznak létre.

Az *elágazó láncú aminosavakból* is keletkeznek illatanyagok, hisz ezek prekursorai a gyümölcséresi folyamat alkalmával lejátszódó aromaanyag-képződési reakcióknak. Az átalakulás alatt transzaminálás és dekarboxileződés is végbemegy, amelynek során pl. a leucinből több lépésben a banán jellegzetes illatanyaga, az *izoamil-acetát* keletkezik. Egy másik reakció folyamán az alma jellegzetes illatanyaga, az etil-3-metilbutirát jön létre. A különböző gyümölcsök és fűfélék jellegzetes aromáját adó *terpénvegyületek* kis koncentrációban ugyan, de elterjedten fordulnak elő a növényvilágban. Az oxigéntartalmú terpénvegyületek általában kellemes aromájúak; a zamat kialakításában elsősorban a viszonylag kis molekulatömegű, 10 szénatomos monoterpének vesznek részt. *Tejsavas-etanolos erjedéssel* jelentős mennyiségű illatkomponens keletkezik az erjedéssel készített termékekben. A heterofermentatív tejsavbaktériumok metabolizmusát, az annak során keletkezett illatkomponenseket a 7.5. ábra mutatja.

A homofermentatív tejsavbaktériumok csak tejsavat, aldehidet és alkoholt termelnek. Az így előállított joghurtban a meghatározó illatkomponens az *acetaldehid*. A *diacetil* a vaj jellemző aromaanyaga, amely a tejsavas erjedéskor keletkező *acetoin* oxidációjával jön létre. A tejsavbaktériumok kis mennyiségben *alkoholt* is termelnek. Az élesztők legfontosabb enzimesen katalizált reakcióterméke az etil-alkohol. A söriparban használatos élesztők részt vesznek egyes aminosavak transzaminálási és dekarboxileződési reakcióinak katalízisében, és különböző illó komponenseket állítanak elő, amely folyamat hasonló az *elágazó oldalláncú aminosavak* átalakulásához.

A zsírokban és olajokban *autooxidációs folyamatok hatására* kellemetlen illatanyagok keletkeznek. A folyamat *fő termékei az aldehiddek és a ketonok, amelyek fagyús, zsíros és fémes, kellemetlen ízeket okoznak*. A növényi és állati acilglicerinek hidrolízisével szappanízre emlékeztető zsírsavak keletkeznek; ha a hidrolízis során hidroxizsírsavak is létrejönnek, akkor lakton típusú vegyületek szintetizálódhatnak, amelyek a sütőipari termékeknek kellemes aromát kölcsönözhetnek.

Az élelmiszerekben jelentősek az *izomszövetek illóanyagai* is. A kérődzők fajspecifikus zamatanyagai a húsokban szoros kapcsolatban vannak a lipidfrakció egyes vegyületeivel. A *birka- és bárányhúsok illatanyagai*, az édeskés zamat kialakulásában közrejátszanak a *közepes lánc-hosszúságú zsírsavak*, amelyek közül legfontosabb az *elágazó láncú 4-metil-oktánsav*. A *sertéshúsban* nagy mennyiségben vannak jelen a  $\gamma$ -C<sup>5</sup>, -C<sup>9</sup> és -C<sup>12</sup> *laktonok*, amelyek nagy valószínűséggel a hús édeskés ízét

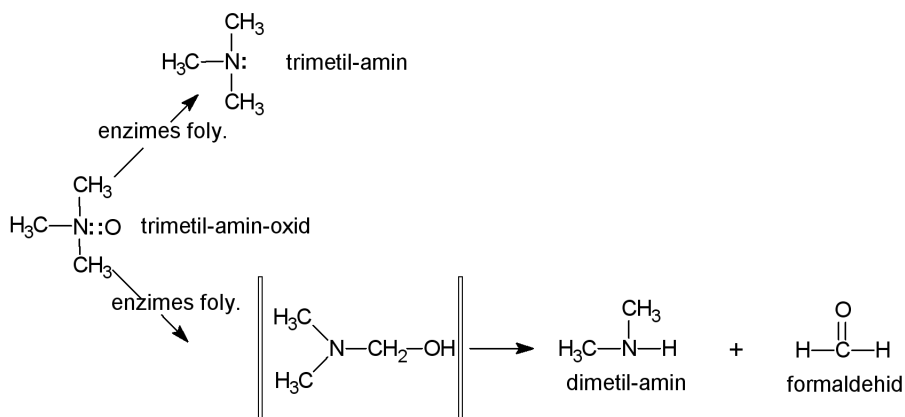


**7.5. ábra.** A tejsavbaktériumok heterofermentatív metabolizmusa során keletkezett illatkomponensek

okozzák. Párolt csirkében elsősorban a linolénsavból és arachidonsavból keletkező illatanyagok járulnak hozzá a jellegzetes zamat kialakításához.

A hal jellegű aroma alapvegyülete a trimetil-amin és a dimetil-amin, amelyek a tengeri halakban nagy mennyiségben található trimetil-amin-oxidból enzimes hasítással keletkeznek. A nagyon friss halakban egyáltalán nincs a halcsarnokok jellegzetes szagát adó trimetil-amin. A trimetil-amin-oxid enzimes lebontását a 7.6. ábra mutatja.

A hőkezelés hatására is jelentős mennyiségben keletkeznek illatanyagok, amelyek nagyon hasonlóak a redukáló cukrok és az aminosavak reakciói alkalmával keletkező barnulási reakciótermékekhez. Ezek a fontos illat- és zamatanyagok a gyártástechnológia során jönnek létre.



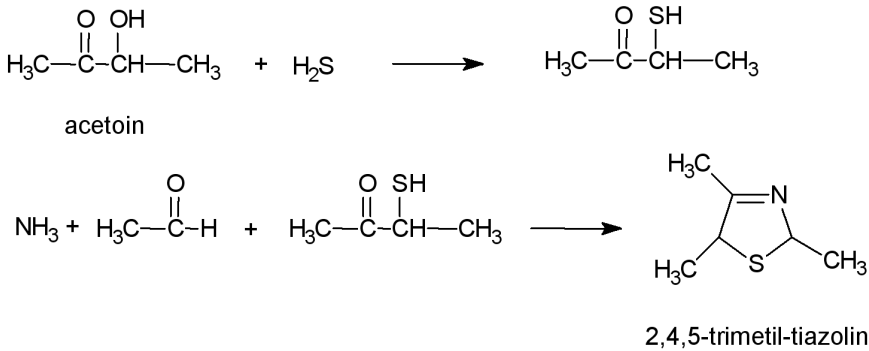
7.6. ábra. A friss tengeri halak fontosabb aminvegyületeinek szintézise mikrobiológiai úton

Lehetnek nyílt láncúak vagy gyűrűs vegyületek, nitrogén-, kén- vagy oxigénatomot tartalmazó heterociklusos vegyületek. Az ilyen anyagok jellemzően a sült és a főtt húsokban, a kávéban, a pörköltogyoróban, a kakaóban és a sütőipari termékekben fordulnak elő. Főzés hatására a cisztein lebontásakor kén-hidrogén, ammónia és acetaldehid keletkezik. Az acetaldehid reakcióba lép az acetoin merkaptó származékával, aminek eredménye a főtt marhahúsról jellemző tiazolin (7.7. ábra).

A kakaóbab leszedés utáni fermentációja, majd a pörkölési folyamat elsődlegesen megszabja a kakaóban az aromaanyagok mennyiségét és minőségét. A pörkölés alatt sok pirazin, más heterociklusos vegyület és a kakaó legfontosabb aromaanyagai, aldehidek keletkeznek.

*Karotinoid vegyületek oxidatív hasadásával* is jelentős mennyiségben termelődnek illóanyagok. Több ilyen illóanyag található meg a dohányban, ezek pácolási folyamat során jönnek létre. Az oxidatívhasadás keletkező termékek közül a  $\beta$ -damascenon a borok zamatanyagának kialakításában játszik szerepet. A  $\beta$ -jonon mint kellemes virágaromaanyag is ismert, a *teaspirán* pedig más rokonvegyületekkel együtt a tea kellemes aromájának kialakításában vesz részt.





7.7. ábra. A tiazolinképződés főtt marhahúsbán

### 7.3. Az íz- és aromaanyagok analízise

Az illat- és aromaanyagok analízisének lépései az élelmiszerminta előkészítése, az illat- és aromaanyagok kivonása, tisztítása, koncentrációja, majd következhet a komponensek szétválasztása és meghatározása valamilyen kromatográfiai módszerrel.

A illat- és aromaanyagok élelmiszerekből való kivonásakor az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

Az élelmiszerek (az illat- és aromaanyagoktól eltekintve is) rendkívül bonyolult biokémiai rendszerek, amelyek komponensei egymással reagálva új aromaanyagok keletkezését is előidézhetik, amelyek az eredeti élelmiszerekben jelen sem voltak.

Az aromaanyagok mellett az élelmiszerek nagy mennyiségben tartalmazhatnak illattal nem rendelkező illóanyagokat is.

A keresett íz- és aromaanyagok rendkívül kis koncentrációban fordulnak elő, ezért kivonásukra és a más anyagokkal való szennyeződés elkerülésére rendkívül nagy figyelmet kell fordítani.

Az illó és nem illó komponenseket a lehető legtökéletesebben el kell egymástól választani, és mivel az aromaanyagok a hőre és az oxigénre is rendkívül érzékenyek, lehetőleg alacsony hőmérsékleten, az oxigén teljes kizárásával célszerű dolgozni.

Az élelmiszerek aromaanyagainak kivonásakor figyelembe kell venni az illatanyagok illékonyságát és forráspontját, a komponensek polaritását, stabilitását, valamint koncentrációját, az analízis célját, az aroma-

anyagok megoszlását az élelmiszerekben, valamint a vizsgálandó élelmiszer összetételét és halmazállapotát.

A legtöbb élelmiszernél az aromaanyagok kinyerése során előkészítő műveletek az őrlés, a centrifugálás, a szűrés vagy a préselés. Célszerű a meghatározás alkalmával az élelmiszer enzimeit inaktiválni, mert az enzimműködés során keletkező vegyületek az eredeti aromát megváltoztathatják. Az illatanyagok *kivonásának legáltalánosabb módja a desztilláció*, amelynek rendkívüli előnye, hogy valamennyi illókomponens kinyerésére alkalmas. Az egyszerű desztilláció mellett a vízgőz- vagy a vákuumban végzett desztilláció is alkalmazható.

*Extrakciós eljárásokkal* a kivonást és a koncentrációt is el lehet végezni, ezen eljárás előnye, hogy a mintát nem éri hőhatás, hátránya viszont, hogy az extrakció viszonylag szelektív, és az extraktumban nem aroma komponensek is megjelenhetnek.

Az aromakomponensek *elválasztására a kromatográfiás eljárások a legalkalmasabbak*, ezen belül a *gázkromatográfia játssza a legfontosabb szerepet*. Az aromakutatásra speciálisan kifejlesztett, töltetes kolonnák segítségével szinte bármilyen vegyület analizálható gázkromatográfián, a kapilláris kolonnák segítségével pedig az elválasztás hatékonysága rendkívüli módon megnőtt. Mivel a kapilláris oszlopok a töltetes kolonnánál sokkal hatékonyabbak, ezért komplex aromaanyag keverékek vizsgálatára különösen alkalmasak.

Az aromakutatásban a gázkromatográfiás detektorok közül a lángionizációs detektort alkalmazzák legszélesebb körben, amely a hangyasav kivételével minden vegyületet detektál. A nitrogéntartalmú komponensek detektálására a lángionizációs detektornál ezerszer érzékenyebb a nitrogén-foszfor detektor, és újabban a nagy felbontású kapilláris oszlopok esetén a fotoionizációs detektort is alkalmazzák.

A *nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiás* módszerek elsősorban a nem illó aromakomponensek meghatározására használhatók. A *vékonyréteg-kromatográfiás* módszerek a magasabb forráspontú aromakomponensek gyors, egyszerű és olcsó vizsgálatára terjedtek el. A technika különösen alkalmas illóolajok és terpén-izomerek szétválasztására. A bonyolultabb keverékek analízisének gyakran alkalmaznak kétdimenziós futtatást, amelynek segítségével 40–45 aromakomponens is szétválasztható, illetve meghatározható.

## 7.4. Íz- és aromaanyagok összefoglalása

Az íz- és a szagérzet folyadék, illetve gáz állapotú anyagok által az idegvégződésekben kifejtett ingerek agyközpontban létrejött tudata, amelyek együttes észlelését zamatnak hívjuk. Az édes ízhatást olyan vegyületek idézik elő, amelyekben egy hidrogénkötést létesítő proton és egy attól 0,3 nm távolságban lévő elektronegatív, kovalensen kötődő atom található. A természetes édesítőanyagok közé tartoznak a mono- és diszacharidok, a cukoralkoholok, a triterpének és a mesterséges édesítőszer. Az édes ízhatást az édességi fokkal, a molekuláris édességi fokkal és az édességi egységgel lehet kifejezni.

Az élelmiszerekben előforduló keserű ízanyag a kreatin, a kinin alkaloidok, a koffein, a teobromin, a humulon, a lupulon, a limonin és a naringin. A sók keserűségét a molekula nagysága okozza, hisz a kisebb ionátmérőjű nátrium- és lítiumionok tiszta sóst ízt adnak. A savanyú ízhatás a citromsavnak, a tejsavnak és az ecetsavnak köszönhető. Fanyar ízűek a tanninokat, a depszideket, a klorogénsavat, gallotanninokat, az ellagén cserzőanyagokat és a katechineket tartalmazó élelmiszerek. Csípős ízhatást a fűszerek, hűsítő hatást pedig a (-)-mentol és a kámfor típusú anyagok okoznak. Az ízeket az ízfokozó és az ízhatást befolyásoló anyagok módosíthatják, és az ipari feldolgozás során is különféle zamatananyagok alakulhatnak ki.

Az aroma- vagy illatananyagok az élelmiszerek szagérzetét keltő vegyületek. Ilyen anyagok lehetnek az *Allium*-félék, a keresztes- és ernyősvirágzatúak kéntartalmú illóanyagai, valamint a zsírsavak enzimes bontása után, a hosszú szénláncú zsírsavak  $\beta$ -oxidációjánál és az acilglicerinek hidrolízisének keletkező anyagok. Keletkezhetnek ezentúl illatananyagok elágazó oldalláncú aminosavakból, homo- és heterofermentatív baktériumok segítségével, autooxidációs folyamatok, valamint hőkezelés hatására is, és speciális illóanyagokkal rendelkezhetnek a különböző állatfajok (birka, hal) testszövetei is.

Az illat- és aromaanyagok analízisének lépései az élelmiszerminta előkészítése, az illat- és aromaanyagok kivonása, tisztítása, koncentrációja desztillációval vagy extrakcióval, majd következik a komponensek szétválasztása és meghatározása gázkromatográfiával, nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával vagy vékonyréteg-kromatográfiával.

## EGYÉB SZERVES VEGYÜLETEK

Az élelmiszerek kis mennyiségben olyan vegyületeket is tartalmaznak, amelyek részt vesznek ízük és illatuk kialakításában, befolyásolják eltarthatóságukat, és köztük speciális élettani hatású komponensek is találhatóak.

### 8.1. Alkohokok

Az alkoholokat a szénhidrogénből úgy vezetjük le, hogy bennük egy vagy több hidrogénatomot hidroxilcsoporttal helyettesítünk. A hidroxilcsoportot tartalmazó szénhidrogén váz szerkezetétől függően az alkohol lehet alifás vagy ciklikus szerkezetű, telített vagy telítetlen. Ha a szénhidrogéncsoport aromás gyűrűhöz kapcsolódik, akkor a vegyület aromás alkohol. Vannak fenol-alkohokok is, amelyekben a hidroxilcsoport közvetlenül az aromás gyűrűhöz kapcsolódik. A hidroxilcsoportok száma szerint megkülönböztetünk *egy-, két- és többértékű alkoholokat*. Aszerint, hogy a hidroxilcsoportot tartalmazó szénatom hány másik szénatomhoz kapcsolódik, beszélünk *primer, szekunder és terciér alkoholokról*. Az alkoholok átalakulásait a hidroxilcsoport aktivitása alapján három csoportba oszthatjuk:

- A hidroxilcsoport hidrogénje mozgékony, ún. aktív hidrogén, amely alkoholátot és észtert képez; az alkoholok szerves savakkal képzett észterei több élelmiszer íz- és aromaanyagainak fontos komponensei.
- Az alkoholok dehidrogénező- és oxidálószerrek hatására a rendűségtől függően aldehidekké, ketonokká és karbonsavakká oxidálódnak.
- Az alkoholok rendűségüktől függően hidroxilanion-vesztésre képesek, ezért olefineket, étereket és halogénezett szénhidrogéneket lehet belőlük készíteni.

### 8.1.1. Egyértékű alifás alkoholok

Az egyértékű alifás alkoholok között vannak az élelmiszeripari szempontból legfontosabb alkoholok, amelyek homológ sort alkotnak. A sorozaton belül a szénatomszám növelésével, a molekulatömeg emelkedésével nő a forrás- és az olvadáspont, valamint a sűrűség. Az alkoholok forráspontja általában sokkal nagyobb, mint a megfelelő szénhidrogéneké, amelynek az az oka, hogy a hidroxilcsoportok hidrogénhidakon keresztül asszociátumokat hoznak létre. A kisebb szénatomszámú (1–3 szénatom) alkoholok vízben és szerves oldószerekben jól oldódó folyadékok, a 4–12 szénatomszámú egyértékű alkoholok olajszerűek, vízben nem oldódnak. A nagyobb szénatomszámú alkoholok szobahőmérsékleten szilárdak, viaszszerűek.

A *metil-alkohol* (CH<sub>3</sub>OH) a legegyszerűbb egyértékű alifás alkohol, amely nagyon mérgező; a megivott és a gőz alakban belélegzett metil-alkohol egyaránt életveszélyes. A mérgezés hatására szív- és izomgyengeség, görcsök, hidegrázás, a látóképesség csökkenése, majd megvakulás következik be. A természetben észterek és éterek alakjában fordul elő. A metil-észter *legnagyobb mennyiségben a pektinben található*. Éterkötésben tartalmazza a fa ligninje, sok növényi illóolaj és alkaloid. Előfordul a gyümölcspálinkákban is, amelyekben a gyümölcs erjesztése során a pektin-metilészterből képződik. A borban általában 38–200 mg/dm<sup>3</sup> mennyiségben található. A direkt termő szőlők sok pektint tartalmaznak; az erjedést kísérő enzimatis lebonthatás során a *pektin-metilészteráz* enzim hatására az ilyen szőlő bora már az egészségre ártalmas mennyiségben tartalmaz metil-alkoholt.

Az *etil-alkohol* (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) színtelen, víztiszta, kellemes szagú és égető ízű folyadék. Hidegen vagy melegen számos illóanyagot jól old, *minden élő szervezet számára erős méreg*. A 70%-os alkohol elpusztítja vagy fejlődésükben gátolja a mikroorganizmusokat. Az etil-alkohol-képződés legrégebben ismert módja a szeszes erjedés, amelynek során glükózból alkohol és szén-dioxid képződik.



Az alkoholgyártás legáltalánosabban ismert alapanyagai a cukortartalmú növényi nedvek, a cukorgyártásnál visszamaradó melasz, a keményítőtartalmú mezőgazdasági termékek és a cellulóztartalmú növényi hulladékok. Hazánkban főleg *melaszból és kukoricából gyártanak ipari méreteken alkohol*. Az erjesztéshez használt élesztősejtek 15–20%-nál

több alkoholt tartalmazó közegben elpusztulnak, ezért ennél töményebb alkohol csak desztillációval érhető el. Az így nyert legnagyobb töménység 96%, amelyből a vízmentes alkohol gyártásához a vizet azeotropos desztillációval el kell távolítani.

Élelmiszer-ipari szempontból jelentősek az alkoholtartalmú italok. A borok etil-alkohol-tartalma az évjárattól és a fajtától függően 5,5–13,0% lehet, a sörben 1,0–5,5% közötti az etil-alkohol mennyisége, míg a tömény szeszes italokban az etil-alkohol-tartalom 30–55% között van. Az emberi szervezet számára a kis mennyiségben fogyasztott alkoholtartalmú ital előnyös hatású, étvágygerjesztő, emésztést elősegítő és szorongást oldó lehet, nagy mennyiségben azonban rendkívül káros.

A *propil-alkohol* az élelmiszerekben 1-propanol és 2-propanol formában fordul elő. Közülük jelentősebb az 1-propanol, amely megtalálható az almában, és észterformában számos illóolaj összetevője. A *butil-alkohol* telített, egyértékű alkohol, amelynek négy izomer módosulata van. Az 1-butanol enyhe kozmaolaj szagú, gőze köhögésre ingerlő, kissé toxikus hatású. Erjedési folyamatokban képződik, ezért kimutatható a borban, a sörben, de megtalálható a szőlőben és az almaborokban is.

A *nagyobb tagszámú alifás alkoholok* ( $C_6$ – $C_9$ ) a nonanolig bezárólag szabad és észter formában, különböző gyümölcsökben és szeszes italokban fordulnak elő. A borban az erjedés során kis mennyiségben amid-, hexil-, heptil- és nonil-alkohol is képződik.

### 8.1.2. Többértékű alifás alkoholok

A többértékű alifás alkoholok közül a két- és háromértékűek között vannak az élelmiszer-kémiai szempontból legjelentősebbek. A kétértékű alkoholok az alkándiolok vagy diolok. A hidroxilcsoportok egymáshoz viszonyított helyzetétől függően három típusuk lehet: geminális, vicinális és diszjunkt diolok.

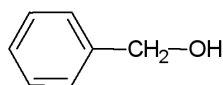
Az *etilenglikol* (1,2-etándiol) szirup sűrűségű, édes ízű, erősen higroszkópos, erősen mérgező folyadék, ezért élelmiszeripari célokra nem használható. Esetenként a bor hamisítására alkalmazzák. Az 1,2- és az 1,3-propándiol színtelen, szagtalan, édeskés ízű folyadék; vízzel és alkohollal elegyíthetők, és sok szerves oldószerben is oldhatók. A *propándiolokat* – mivel nem mérgezők – színezékek és aromák oldószereként, továbbá nedvességekötő adalékként használják. Élelmiszer-ipari jelentősége az 1,2-propándiolnak van. Az n-butánból 4 izomer glikol, az 1,2-, az 1,3-, az 1,4- és a 2,3-*butándiol* származtatható. A 2,3-butándiol 0,4-

0,7 g/dm<sup>3</sup> mennyiségben található meg a borban, ezenkívül kimutatható a kovászbán és a sörben is.

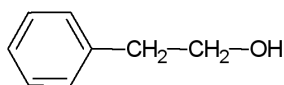
A *glicerín* a legegyszerűbb és legfontosabb háromértékű alkohol. A primer hidroxilcsoportok reakcióképesebbek a szekundernél, oxidációval, az oxidáció mértékétől függően, glicerinaldehid, dihidroxi-aceton, glicerinsav, oxálsav és glioxálsav képződhet belőle. Fontos vegyületek a zsírsavakkal alkotott észterei, amelyek a zsírok és olajok alkotói, valamint foszfátészterei, amelyek a biológiai oxidációban kulcsfontosságúak. Az élelmiszeriparban a glicerint édesítésre és nedvszívó hatása miatt lágyításra használják. Széles körben alkalmazza a kozmetikai ipar, a gyógyszeripar, és jelentős mennyiséget használnak fel belőle robbanószer gyártására.

### 8.1.3. Aromás alkoholok

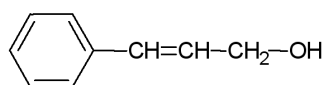
Az aromás alkoholokban (8.1. ábra) a hidroxilcsoport az aromás gyűrűhöz kapcsolódó telített vagy telítetlen oldalláncban található. A *benzil-alkohol* színtelen, enyhén aromás illatú, olajszerű folyadék, amelyet szabad állapotban a málna, a tea, a dohány, a szegfű és a jázmin tartalmazza. Észterei a balsamfákban fordulnak elő. A *β-fenil-etil-alkohol* [C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-OH] színtelen, rózsa- és enyhén mézillatú, égető ízű folyadék. Megtalálható a szegfű-, a rózsa-, a narancsvirág-, a neroli- és germániumolajban. A szintetikus fenil-etil-alkoholt illatszerként és aromaként is használják. A *fahéjalkohol* [C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-(CH)<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>OH] színtelen, édeskés-balzsamos, jácintillatú, kristályos vegyület, amelynek oxidációs termékei a fahéjaldehid, a fahéjsav és a benzaldehid. Szerves savakkal észtert képez, és a természetben is észterek alakjában fordul elő. Gyakoribb a fahéjlevélben, a nárcisz- és jácintolajban.



benzil-alkohol



β-fenil-etil-alkohol



fahéjalkohol

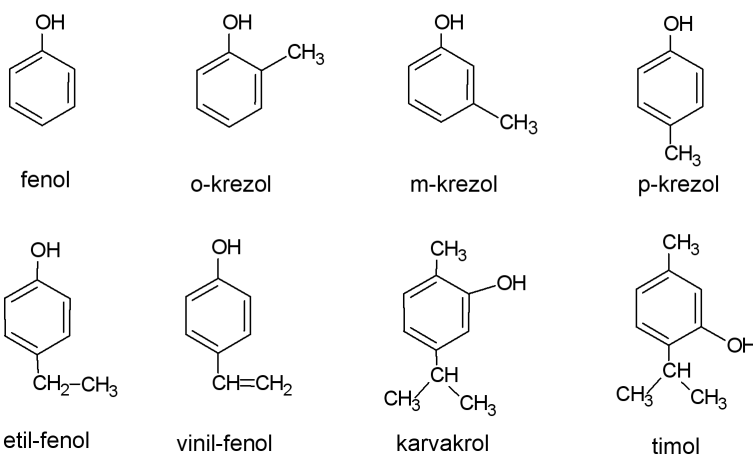
8.1. ábra. Aromás alkoholok

## 8.2. Fenolok, fenol-éterek, fenol-alkoholok

A fenolok olyan aromás hidroxiszármazékok, amelyekben az aromás gyűrű egy vagy több hidrogénjét hidroxilcsoporttal helyettesítjük. Savas jellegű vegyületek; lúgokkal sókat alkotnak, amelyeket fenolátoknak hívunk. Savakkal észtert, alkoholokkal étert képeznek, általában könnyen oxidálódnak, amit színváltozás kísér.

### 8.2.1. Az egyértékű fenolok és származékaik

A *fenol* ( $C_6H_5-OH$ ) átható szagú, füstre emlékeztető aromájú, erősen égető, maró ízű, színtelen, kristályos anyag, amely a levegőn megpirosodik. Előfordul a tea- és a dohánylevél olajában, a füstölt húsookban, az alkoholtartalmú italokban, a pörkölt kávéban, a pörkölt földimogyoróban és a paradicsomban. A *krezol* [ $C_6H_4(CH_3)OH$ ] 3 izomer módosulata közül a meta- és para-krezolt tartalmazzák az élelmiszerek. A meta-krezol megtalálható a kávéban, a tejben, a pörkölt földimogyoróban és a spárgában, míg a para-krezol a tea illóolajában és az ánizsolajban. Az *etil-fenol* a tejben, a szójamártásban, a paradicsomban és a pörkölt mogyoróban fordul elő. A *vinil-fenol* fanyar, füstös aromájú, a sörben, a tejben és a pörkölt földimogyoróban található vegyület. A *karvakrol* (2-metil-5-izopropil-



8.2. ábra. Egyértékű fenolok

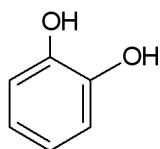


fenol) antiszeptikus hatású, a majorannában és a szurokfűben megtalálható, fertőtlenítésre és aromaanyagként szolgáló vegyület (8.2. ábra).

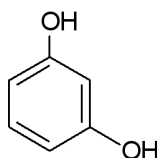
A *timol* (5-metil-2-izopropil-fenol) fűszeres, kakukkfűillatú, égető ízű, kristályos vegyület. Antiszeptikus hatású; jelen van az illóolajokban, és különösen nagy mennyiségben fordul elő a kakukkfűolajban. Az *anizol* ( $C_6H_5OCH_3$ ), fenil-metil-éter, különböző illatanyagok szintézisének közbülső termék. Az *anetol* (p-propilén-anizol) az ánizsolaj és az édeskömény illóolajának alkotórésze.

### 8.2.2. Kétértékű fenolok és származékaik

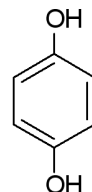
A kétértékű fenolok és származékaik (8.3. ábra) igen elterjedtek a növényekben; a zöldségek és gyümölcsök tárolásánál van fontos szerepük. Könnyen kinonokká oxidálódnak, majd a további enzimes reakció során a barnulást okozó színanyagok kialakulásában vesznek részt. A *pirokatechin* (1,2-dihidroxi-benzol) színtelen, kristályos vegyület, fény és levegő hatására oxidálódik és barnára színeződik. Erőteljes redukálószer, antioxidáns és fertőtlenítő hatású, a különféle gyantákban és a bükkfakátrányban fordul elő. Az 1,3-dihidroxi-benzol, a *rezorcin*. A rezorcin-dimetil-éter csípős ízű, mesterséges aroma-alapanyag. A *hidrokinon* erős redukálószer, redukció közben 1,4-benzokinonná oxidálódik. Az ánizsmagolaj, a szederlevél, az áfonya levele és virágja, a körtebimbó és a medveszőlő levele tartalmazza. A *gvajakol* (o-metoxi-fenol) erősen fűszeres illatú, a zellermagban, a szegfűszegben, a fahéjban, a dohánylevelekben, a kávéban és a tejben előforduló, vízben igen rosszul, apoláros oldószerekben viszont jól oldódó vegyület.



pirokatechin



rezorcin



hidrokinon

### 8.3. ábra. Kétértékű fenolok

Az *eugenol* (2-metoxi-4-vinil-fenol) a szegfűszeg illóolajának domináns komponense. Emellett nagy mennyiségben megtalálható még a szegfűborsban, a fahéjolajban, a babérlevélben, a szegfűben és a sze-

recsendióban. Alkoholos oldata kellemes aromájú és bakteriosztatikus hatású. Az *izoeugenol* (2-metoxi-4-propenil-fenol) illata az eugenoléhoz hasonló, de annál kellemesebb, kevésbé markáns. Jelen van az illóolajokban, a szerecsendióban, a sörben, a szegfűborsban és a szegfűszegben.

### 8.3. Oxovegyületek

Az oxovegyületek jellemzője a  $=C=O$  karbonilcsoport, amely attól függően, hogy az oxocsoport láncvégi vagy láncközi C-atomhoz kapcsolódik, lehet aldehid vagy keton.

#### 8.3.1. Az aldehidek

Az aldehidek általános szerkezete  $R-CHO$ . A legreakcióképesebb vegyületek közé tartoznak, amelyek primer alkoholokból keletkeznek enyhe oxidációval; tovább oxidálva őket, karbonsavakat kapunk. Az aldehidek jellemző reakciója az addíció, a polimerizáció és a kondenzáció. Az élelmiszerekben az aldehidek az aminosavak bioszintézise során, az aminosavak enzimes dezaminálásánál vagy transzaminálásánál, az aminosavak és a karbonilszármazékok közti reakció során, a telítetlen zsírsavak autooxidációjánál, a linol- és linolénsav enzimes lebontásánál és a karotinoidok átalakulása során képződhetnek. *Jellemző illatuk révén a különböző élelmiszerek aromaanyagainak összetevői*, és részt vesznek az élelmiszerek nem enzimes barnulási folyamataiban is.

Az *alifás telített aldehidek* (8.4. ábra) fizikai tulajdonságai összefüggnek a molekulatömeggel; növekvő szénatomszámmal pl. a vízben való oldhatóság csökken, és az aldehidek  $C_6$ -tól vízben már egyáltalán nem, csak alkoholban, éterben és apoláros oldószerekben oldódnak. A fentiek szerint a formaldehid gáz, az acetaldehid gyorsan párologó folyadék, a heptanal olajszerű,  $C_{12}$ -től pedig szilárd halmazállapotúak. *Az aldehidcsoport odorofor, azaz szagadó*. A  $C_1-C_7$  aldehidek szúrós, penetráns, avas szagúak, a  $C_8-C_{11}$  vegyületek kellemes illatúak, a  $C_{14}$ -nél nagyobb szénatomszámúak pedig szagtalanok.

A *formaldehid* (metanal) tömény oldatban erős mikrobaölő, mert könnyen reakcióba lép az amino-, az imino-, a hidroxil- és a szulfhidrilcsoportokkal, valamint a peptidkötéssel. A formilezett fehérjét a proteázok is nehezebben bontják le. Kis mennyiségben előfordul a tejben, a sajtban és a szeszes italokban. Az *acetaldehid* (etanal) kis koncentrációban

gyümölcsillatú, az alkoholos erjedés és az ecetsavgyártás fontos közti-terméke. Az etil-alkohol *alkohol dehidrogenáz* enzim hatására acetaldehiddé alakul. Képződhet ezen túl a szervezet szénhidrát-anyagcseréjében és az alanin lebomlása során is. A szénhidrát-anyagcsere zavara esetén kimutatható a vizeletben, de kis koncentrációban megtalálható számos élelmiszerben, magvakban, zöldségvényekben és illóolajokban.

|                                       |  |  |
|---------------------------------------|--|--|
| HCHO                                  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CHO | CH <sub>3</sub> -CH-CH <sub>2</sub> -CHO<br> <br>CH <sub>3</sub> |
| formaldehid<br>(metanal)              | n-butiraldehid<br>(butanal)                            | izovaleraldehid<br>(2-metil-butanal)                             |
| CH <sub>3</sub> -CHO                  | H <sub>3</sub> C<br>\  CH-CHO<br>/  H <sub>3</sub> C   | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -CHO            |
| acetaldehid<br>(etanal)               | izobutiraldehid<br>(2-metil-propanal)                  | kapronaldehid<br>(hexanal)                                       |
| CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CHO | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -CHO  | CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> -CHO            |
| propionaldehid<br>(propanal)          | n-valeraldehid<br>(pentanal)                           | önantaldehid<br>(heptanal)                                       |

#### 8.4. ábra. C<sub>1</sub>-C<sub>7</sub> nyílt szénláncú, telített aldehidek

A *propionaldehidet* (propanal) a zsír, a tej, az alkoholos italok, a kávéaromák, az alma és az illóolajok tartalmazzák. Az *n-butiraldehid* (butanal) az alkoholokban, a zsírokban és a sugárkezelt élelmiszerekben fordul elő, ahol a linolsav oxidációjával képződik. Ezenkívül jelen van a kávé aromájában, az almában és a cigarettafüstben is. Az *izobutiraldehid* (2-metil-propanal) a keserű mandulára emlékeztető szagú folyadék, amely az izoleucin lebontása során keletkezik. Aromakomponensként megtalálható a kenyérben, a sült burgonyában, az égetett szeszes italokban, a tejben, a kávéaromában és az illóolajokban. Az *n-valeraldehid* (pentanal) a linolsav autooxidációjának egyik bomlásterméke, zsírokban, alkoholos italokban és különböző növények illóolajaiban, míg a *2-metil-butanal* (izovaleraldehid) aromakomponensként a kenyérben, az égetett szeszes italokban, a kávéaromában, a tejben, a vajban, a sajttban, a halban és az illóolajokban fordul elő.

A *kapronaldehid* (hexanal) illata a faggyúra és a zöld levélre emlékeztető. Megtalálható a zsírokban, az avasodással arányosan növekvő koncentrációban. Kimutatható a sült burgonyában, a tejben, az égetett szeszes italokban, a szamócában, a paradicsomban, a málnában, az uborkában és az almában. Az *önantaldehid* (heptanal) a konyak zamatanyaga, a *kaprilaldehid* (oktanal) gyümölcsillatú, a zsírokban, a narancsban, a citromban és a zellerben előforduló zamatanyag. Ez utóbbi szerkezeti izomerje, a *2-etil-hexanal* a kenyér egyik aromakomponense. A *nonilaldehid* (nonanal) narancsillatú, a zsírok oxidációja során képződő vegyület, amely a mandarin- és a citromolaj aromakomponense, és megtalálható a tejben, valamint a különböző illóolajokban is. A *decilaldehid* (dekanal) kellemes illatú folyadék, amely a citromfűolajban, a mandarin- és a citromolajban van jelen. Felhasználják mesterséges ibolya-, írisz-, rózsa- és narancsolaj előállításra. Az *undecilaldehid* (undekanal) a citromolajban, a *dodecilaldehid* (dodekanal) a tejben fordul elő. Ez utóbbi hígítva a jegenyefenyőre emlékeztető illatú.

A *hidroxi-aldehidek* mind az alkoholok, mind az aldehidek kémiai tulajdonságait mutatják. A *glikolaldehid* az élő szervezetek biokémiai folyamatainak közbenső terméke, a *D-glicerinaldehidnek* a szénhidrát-anyagcserében van fontos szerepe, de részt vesz biológiailag jelentős vegyületek bioszintézisében is.

A *telítetlen aldehidek* egyszerre mutatják az aldehidek és a telítetlen vegyületek tulajdonságait, ezért nagyon reakcióképes vegyületek. A kettős kötés miatt hajlamosak a polimerizációra, amely hosszabb állás esetén spontán is végbemegy. Legjelentősebb képviselőjük az *akrilaldehid*, amely *glicerinből*, *dehidratálással képződik*. A folyamat zsírok és olajok hevítésekor is bekövetkezik, amikor is az égett zsír erősen csípős szagú lesz; kimutatható az avasodó zsírból és a cigarettafüstből is. A *krotonaldehid* (transz-2-butenal) a kenyérben, a halhúsban és a konyakban fordul elő. Az 5–10 szénatomszámú egy-két kettős kötést tartalmazó, telítetlen aldehidek közül több fontos aroma-összetevő ismert. Ezek a vöröshagymában, a levendulaolajban és a linolénsav oxidációs termékeként a különböző zsírokban vannak jelen. A  $C_9$ -vegyületek a tökfélék aromájára jellemzőek. A *2-nonenal* az uborkaillat fő hordozója, telítetlen zsírsavból képződik, ezért az oxidált zsírokban is megtalálható.

Az *aromás aldehidek* általában átható illatú vegyületek, amelyek többnyire illóolajokban fordulnak elő. A *benzaldehyd* a keserű mandulában az amigdalinnal nevezett ciántartalmú glikozid egyik komponense; keserűmandula-szagú folyadék. A benzaldehid számos illóolaj kom-

ponense, így kimutatható a dohányban és a málnában is. A *fahéjaldehid* (3-fenil-propenal) a fahéjlevél-olajban és a levendulaolajban előforduló folyadék, amelyeket fűszerekhez és aromákhoz használnak fel. A *kuminaldehid* (4-izopropil-benzaldehid) többek között az eukaliptuszolajban és a fahéjban mutatható ki. A *fenil-acetaldehid* a kenyér aromaanyagai között előforduló, jácintillatú vegyület. A *szalicilaldehid* (2-hidroxi-benzaldehid) keserűmandula-szagú, égető ízű folyadék, amely az illóolajokban és a dohányban fordul elő. Az *ánizsaldehid* (p-metoxi-benzaldehid) galagonyavirág-illatú, antihisztamin hatású vegyület, amelyet jelentős mennyiségben az ánizs- és csillagánizsolaj, valamint a dohány tartalmazza. A *vanillin* (4-hidroxi-3-metoxi-benzaldehid) a vanília hüvelytermésében, a szegfűolajban, a feketegyökér virágjában, a burgonyavirágban, a tejben és a borban fordul elő. Az *etilvanillin* (4-hidroxi-3-etoxi-benzaldehid) a vanillinnél 3–4-szer zamatosabb, a vanília fűszernövény terméséhez közel álló illatú vegyület.

Az *egyéb aldehidekhez* sorolható a *furfurol* (furfural), amely a szénhidráttartalmú, hőkezelt élelmiszerek alkotórésze. A *hidroxi-metil-furfurol* a kamillához hasonló illatú vegyület, szintén a szénhidráttartalmú, hőkezelt élelmiszerek aromakomponense. A *metional* (3-metil-merkaptopropanal) a tejben, metioninból képződik riboflavin jelenlétében, fény hatására. Nagyon intenzív aromájú vegyület, amely megtalálható a sajtban és a rozskenyérben is.

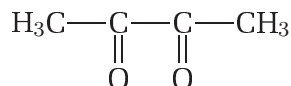
### 8.3.2. Ketonok

A ketonokban a karbonilcsoport mindkét vegyértékével szénatomokhoz kapcsolódik. Reakcióik hasonlítanak az aldehidekéhez, de azoknál nehezebben oxidálhatók, aminek során láncszakadás következik be. Többségük jellegzetes, de nem kellemetlen illatú vegyület.

Az *alifás ketonok* zsírsavakból képződnek oxidációval, ezért főként zsírtartalmú élelmiszerekben fordulnak elő. A folyamat egyik útja a mikroorganizmusok által katalizált oxidáció, amelynek végterméke az R-metil-keton. Ezen az úton 5–9 szénatomos ketonok képződnek, amelyek fontos aromaanyagok. Az *aceton* (2-propanon) az élő szervezetben az acetecetsav dekarboxileződésével képződik. Nyomokban jelen van a vérben és a vizeletben; cukorbetegség esetén a vizeletben megnő a koncentrációja. A nyolc és nagyobb szénatomszámú, telített alifás ketonokra általánosan jellemző, hogy folyékony halmazállapotúak, csak szerves ol-

dószorben és olajokban oldódnak. Főként a telítetlen zsírsavak oxidációs termékei, amelyek az élelmiszerekben aromahordozók.

Hidroxi-ke-ton az *aceto-in* (3-hidroxi-2-butanon), amely kellemes illatú, az állati és az emberi szervezet természetes alkotója. Számos mikro-organizmus is termel acetoint, ami a vajgyártás fő aromaanyaga. A vajon kívül előfordul a kenyérben, a sörben, a narancsban, a csirkehúsban és a friss zöldborsóban is. A melasz erjesztésének egyik mellékterméke. A *diacetyl* (2,3-butándion) az aceto-in vagy a 2-butanon oxidációjával képződik. A folyamat enzimikus hatásra is végbemegy, aminek a vajgyártásban van jelentősége. A diacetyl (8.5. ábra) a vaj legjellegzetesebb aromaanyaga. A vajon kívül még a sajtban, a babérolajban, több illóolajban, alkoholtartalmú italokban és a kávéaromában fordul elő.



**8.5. ábra.** *Diacetyl* (2,3-butándion)

Az *aromás ketonok* közül az *acetofenon* (metil-fenil-ke-ton) számos élelmiszer és illóolaj aromaanyaga. A 4-metil-acetofenon a borsban és a brazíliai rózsafaolajban van jelen, a *zingeron* (vanillil-aceton) a gyömbér csípős ízű komponense. A makrociklikus ketonok közül a *muszkon* (3-metil-ciklopentadekanon) mósuszillatanyag, a *cibeton* (cis-9-cikloheptadecén-1-on) undorító szagú vegyület, nagy hígításban azonban kellemes, mósuszra emlékeztető illatú. A cibetmacskafélék faggyúmirigyei termelik, az illatszerek fontos illatrögzítő vegyülete.

A *heterociklusos ketonok* közül jelentősebb a *maltol* (3-hidroxi-2-metil-4-piron), amely kellemesen karamell-, frissen sült kalácsra emlékeztető illatú anyag. A természetben a vörösfenyő kérgében és a faolajban, a csokoládéban, a sörben, a malátakávéban és a kétszersültben fordul elő.

## 8.4. Szerves savak és származékaik

Az élelmiszerek fontos összetevői a szerves savak és származékaik, amelyek közül a legjelentősebbek az észterek és a laktonok.

### 8.4.1. Szerves savak

A szerves savak karboxilcsoportot ( $-\text{COOH}$ ) tartalmazó, szerves szénvegyületek. Az ásványi savaknál gyengébbek, a dikarbonsavak a monokarbonsavaknál erősebbek. Legjellemzőbb tulajdonságuk, hogy az alkoholokkal észtert képeznek, fontos átalakulásuk a dekarboxileződés, és megfelelő körülmények között alkohollá redukálhatók. Mind a növényi, mind az állati szervezetekben az intermedier anyagcsere-folyamatok metabolitjaiként fordulnak elő. Az élelmiszerekben a szerves savak *részt vesznek az íz- és illatanyagok kialakításában*. A pH változtatásával szabályozzák egyes, technológiai szempontból fontos reakciók sebességét, és védelmet nyújtanak a mikrobiológiai romlás ellen.

A *telített monokarbonsavak* közül legjelentősebb az *ecetsav* ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), amely áthatóan savanyú ízű és szagú, vízgőzzel desztillálható illósav. Disszociációs állandója  $25^\circ\text{C}$ -on  $1,85 \cdot 10^{-5}$ . Szabadon és sói formáiban is egyaránt széles körben megtalálható a növényvilágban. Kimutatták az almában, a banánban, a szamócában, a málnában, az ananászban, a zöld és a pörkölt kávéban, és előfordul minden olyan élelmiszerben, amely alkoholos vagy savas erjesztéssel készül (savanyú tejkészítmények, kenyér, alkoholtartalmú italok). Az ecetsavat biológiai oxidációval alkoholból vagy szintézis útján acetaldehidből állítják elő. A 10–20% töménységben forgalomba hozott oldatát ételek savanyítására használják.

A *propionsav* ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ) gyenge sav, amelyet a propionsavtermelő baktériumok hexózokból állítanak elő. A propionsav ezért minden olyan élelmiszerben jelen van, ahol megvannak a propionsavas erjedés feltételei. Fontos szerepe van a sajt érésében, mert részt vesz az aromaanyagok kialakításában, előfordul ezenkívül a kenyérben, a kávéaromában, a sörben és a teában; a propionsav és sói pedig a kenyér nyúlósodása ellen hatnak. Az *n-vajsav* [ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ ] kellemetlen, átható szagú, az ecetsavnál gyengébb sav. A vajsavtermelő baktériumok szénhidrátokból és tejsavból állítják elő, anaerob körülmények között. Azokban az élelmiszerekben található, amelyek gyártása során erjedési folyamatok mennek végbe, így a kenyérben, a savanyú káposztában, a rokfort és parmezán sajtban, számos növényben, gombában és a húsnedvben.

Az *izovajsav* (2-metil-propionsav, [ $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{COOH}$ ]) a sörben, a teában és a zellergyökériben előforduló, a vajsavnál kevésbé kellemetlen szagú folyadék. Az *n-valeriánsav* [pentánsav,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$ ] a ká-

vékivonatban, a *2-metil-butánsav* ( $\alpha$ -metilvajsav) a dohány levelében, egyes sajtfeleségeekben és a macskagyökérben, az *izovaleriánsav* (3-metilvajsav) a szamócában és a búzakenyér tésztájában, a *kapronsav* (hexánsav) a tejben, a sajtban, a sörben, a teában és a málnában, az *izokapronsav* a tea és az ananász aromakomponensei között, az *önantsav* (n-heptánsav) a sörben, az almahéjban, a sajtban, a savanyú káposztában, a teában és a kávéban, a *kaprilsav* (n-oktánsav) metilésztere az ananász aromakomponensei között, a *pelargonsav* (n-nonansav) a tea, a spenót, a narancshéj és a bor komponensei között található meg. A kisebb szénatomszámú telítetlen monokarbonsavak közül a *krotonsavnak* (transz-2-buténsav) és az *izokrotonsavnak* (cisz-2-buténsav) van jelentősége, amelyeket a dohány leveléből mutattak ki.

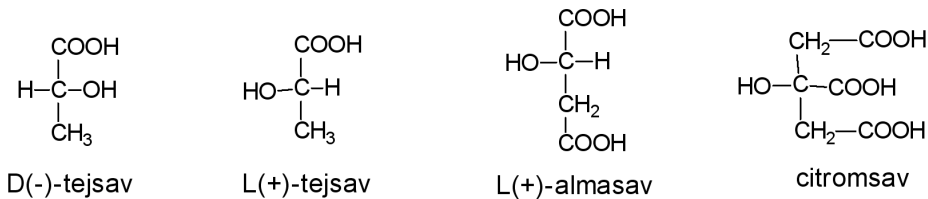
A *telített dikarbonsavak* molekulájában két karboxilcsoport található. Az *oxálsav*  $[(\text{COOH})_2]$  erősen savas kémhatású, számos alacsonyabb és magasabb rendű növényben szabad állapotban kalcium vagy savanyú kalciumsó alakjában előforduló vegyület, amely a sejtnedvekben alacsony pH-t idéz elő. Nagy mennyiségben van jelen a rebarbarában, a sóskában, egyes füvekben és a spenótban (500–900 mg/100 g), kisebb arányban a dohánylevélben és a burgonyában. 4–5 g szabad oxálsav az ember számára halálos mérég. A *malonsav* (propándisav) számos enzim aktivitását kompetitíve gátolja. Megtalálható a dohányban, a gombában, az árpában, a rozsban és a borban. A *borostyánkősav* (a citromsavciklus egyik köztiterméke) számos növényi és állati termékben megtalálható. A *glutársav* és az *adipinsav* az éretlen cukorrépában és a cigarettafüstben fordul elő. A *malonsav*, a *glutársav* és az *adipinsav* *diammóniumsói* a *konyhasóhoz hasonló ízűek*, ezért Na-szegény diétában ízesítőként felhasználhatók.

A *telítetlen dikarbonsavak* közül az etilén-dikarbonsavnak két sztereoizomer formája van: a cisz-etilén-dikarbonsav *maleinsav* néven ismert, a transz izomer pedig a *fumársav*. A maleinsav a dohányban és a gombában, a furmársav viszont, mivel részt vesz a citrátkörben, gyakorlatilag minden olyan sejtben jelen van, ahol a citrátkör lejátszódik. Az 1,2-propén-dikarbonsav öt szénatomos, telítetlen dikarbonsav, amelynek cisz módosulata, a *citrakonsav*, a szamócában fordul elő.

A *telítetlen trikarbonsavak* közül az *akonitsavnak* ugyancsak két sztereoizomer formája, a cisz- és a transz-akonitsav létezik. A transz-akonitsav a cukornádban, az árpában és a kölesfélékben fordul elő, a cisz-akonitsav pedig a citromsav ciklus közbülső terméke. A *glikolsav* vagy hidroxiecetsav telített *monohidroxi-monokarbonsav*, amely az oxálsav



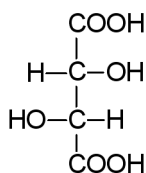
biológiai átalakulásának a terméke. Az éretlen szőlő erősen savanyú ízét idézi elő. A *tejsav* (2-hidroxi-propionsav) víztiszta, „tisztá” savanyú ízű vegyület. Három izomer módosulata létezik, amelyek közül a D(–)-tejsav a szénhidrátok tejsavas erjedése során képződik, az L(+)-tejsav pedig az állati szervezetben a glikogén lebontásának terméke (8.6. ábra). A tejsav kellemes, savanyú íze miatt különböző élelmiszerek ízesítésére alkalmas. Számos élelmiszer gyártásánál, pl. a savanyú tejkészítmények, a mikrobiológiai úton savanyított zöldségfélék, a kenyér gyártásánál, a friss húsok érésénél fontos szerepe van.



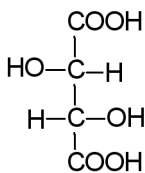
8.6. ábra. A tejsav, az almasav és a citromsav

A *glicerinsav* a szénhidrát-anyagcsere folyamán képződik a növényi és az állati szervezetben. Az *almasav* (8.6. ábra) három lehetséges módosulatából a természetben csak az L-módosulat található meg, amely köztes termék a citrátciklusban. Különösen sok van belőle az éretlen almában, az egresben és a szőlőben, és jelen van még a vérben, a mézben és a borbán is. A *borkósav* (8.7. ábra) a természetben csaknem kizárólag a D(+)-borkósav formában fordul elő. A természetben igen gyakori a különféle növényekben: a szőlőben, a galagonyában, a meggyben és a berkenyében. Az újborból jelentős mennyiségben válik ki savanyú káliumsója, a borkő. A borkósavat sütőporokba, gyümölcszselék, cukorkák, fagyalt ízesítésére és a limonádék savanyítására használják.

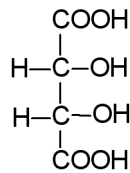
A *citromsav* [2-hidroxi-propán-trikarbonsav-(1,2,3)] kellemesen savanykás ízű, nagyon reakcióképes vegyület, amely minden élőlényben megtalálható, hisz a sejtlégzésben a citrátciklus előtagja. A citrom különösen sok citromsavat (8.6. ábra) tartalmaz, az ipar is ebből állítja elő. Kellemes savanykás íze miatt az élelmiszeripar széles körben alkalmazza cukorkák, fagyaltok, üdítőitalok, likőrök, italporok készítésére, fűszerek, mártások ízesítésére. A citromsavból kitűnő puffer készíthető, ezért különböző élelmiszerek, elsősorban tejtermékek gyártásakor előszeretettel alkalmazzák. Komplexképző hatású, ezért a Ca-ion lekötése



D(+)-borkősav



L(-)-borkősav



mezo-borkősav

8.7. ábra. A borkősav izomerjei

révén a véralvadás gátlására alkalmas. A Cu- és a Fe-ionok komplex alakban való megkötése miatt a zsírokhoz adagolt antioxidánsok mellett szinergetikus hatása van.

Az *oxo-karbonsavak* az élő szervezetben lejátszódó anyagcsere-folyamatok metabolitjai, emiatt kis mennyiségben minden élelmiszerben megtalálhatók. A többi savhoz hasonlóan részt vesznek a különféle termékek jellemző aromájának kialakításában.

Az *aliciklikus karbonsavak* közül a *sikimisav* ( $\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) a növényekben és a mikroorganizmusokban az aromás vegyületek képződésének kulcsanyaga. Kimutatták az almában, a körtében, a sárgarépában és a zellergyökérben. A *(-)-kínasav* ( $\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) szintén az aromás vegyületek bioszintézisében vesz részt.

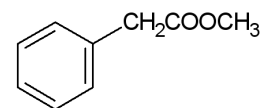
Az *aromás karbonsavak* közül a *benzoésav* és származékai, a *p-hidroxi-benzoésav* és a *p-hidroxi-benzoésav-észterek*, valamint a *szalicilsav* baktericid és fungicid hatásúak. Néhány aromás karbonsav a különböző élelmiszerekből is kimutatható; az íz- és aromaanyagok részei. A *protokatechusav* (3,4-dihidroxi-benzoésav) szabad vagy észterezett formában a levelekben, a virágokban és a növények fás részeiben található. A *vanillinsav* (4-hidroxi-3-metoxi-benzoésav) a lignin oxidatív lebontásakor képződik. A *gentizinsav* (2,5-dihidroxi-benzoésav) in vitro erős fungicid hatást fejt ki. A *galluszsav* (3,4,5-trihidroxi-benzoésav) a tannin és más cseranyagok alkotórésze. A *sziringasav* (3,5-dimetoxi-4-hidroxi-benzoésav) a növényvilágban gyakori; a cukornád nedvéből mutatták ki.

### 8.4.2. Észterek

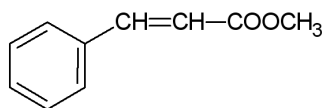
A szerves savak észterei rendkívül fontos aromaképző vegyületek, ugyanis a *szerves savak alifás alkohollal képzett észterekre* jellemző, hogy kis szénatomszámú képviselőik gyümölcsillatúak. A *hangyasav-etil-észter* (etil-formiát) gyümölcs- és éteres illatú folyadék, amely megtalálható számos gyümölcsben, ezenkívül a kávéaromában és a borban. Gyümölcsaromák előállítására használják. Az etil-formiát mellett mindig előfordul a *metil-formiát* is. A *metil-acetát* és az *etil-acetát* kellemes, friss gyümölcsillatú folyadék; az utóbbi a gyümölcsökben leggyakrabban előforduló észter.

Az *1-propil-acetát* körtére emlékeztető illatú, a *butil-acetát* pedig erőteljes gyümölcsillatú folyadék, ami az almaaromában is jelen van. Az *izobutil-acetát* egyes sörökben képződik, a *pentil-acetátok* pedig, különösen az 1-pentil-acetát, a sör bukéanyagainak összetevője, de előfordul ezenkívül a kakaóban és az almakivonat aromaanyagai-ban. A *3-metil-butil-acetát* számos gyümölcs aromájának kialakításában vesz részt, a banánaroma fő komponense, a banán érése során képződik. A *hexil-acetátot* és az *ecetsav-transz-2-hexenil-észtert* gyümölcsaromaként használják.

A *vajsav alkil-észterei* kellemes gyümölcsillatú vegyületek, az n- és izovajsav-észterek egy-egy gyümölcsre emlékeztető illataroma hordozói. A vajsavészterek előfordulnak a gyümölcsökben, a szeszes italokban, a sajtokban, felhasználják gyümölcs- és likőraromák, eszenciák készítéséhez, továbbá az illatszeriparban. A *kapronsav-etil-észter* ananászra emlékeztető illatú vegyület, amelyet szintetikus gyümölcsaromák készítésekor alkalmaznak. A *kaprilsav-etil-észter* számos gyümölcsben és szeszes italban megtalálható, és ugyancsak gyümölcsaromák előállítására használják.



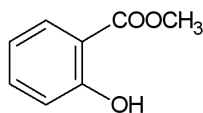
fenil-ecetsav-metil-észter



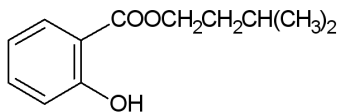
fahéjsav-metil-észter

8.8. ábra. Aromás savak alkilsavakkal képzett észterei

Az *alifás savak aromás alkohollal képzett észterei* vízben nem, de éterben és alkoholban jól oldódnak. Jellemzőes aromahordozók a következők: *benzil-acetát*, *2-fenil-etil-izobutirát*, *-izovalerianát* és a *fahéj-acetát*. Az *aromás savak alkil alkoholokkal képzett észterei* általában intenzív illatúak, közülük tartozik a *fenil-ecetsav-metil-észter* és *-etil-észter*, amelyek mézre emlékeztető illatú vegyületek, valamint a *fahéjsav-metil-észter*, a fahéjaroma összetevője, amely édeskés, balzsamos gyümölcsre hasonlító illatú (8.8. ábra). A *fenol-karbonsav-észterek* (8.9. ábra) közé tartoznak pl. a *szalicilsav észterei*, amelyek között több illatanyag is van, és amelyek néhány gyümölcs aromaanyagainak és illóolajainak összetevői. A *szalicilsav-metil-észter* édeskés, fenolos illatú vegyület, az illóolajokból és kis mennyiségben a gyümölcsökből is ki-mutatható. A *szalicilsav-izoamil-észter* orchideailatú folyadék, néhány gyümölcs aromaanyaga.



szalicilsav-metil-észter



szalicilsav-izoamil-észter

8.9. ábra. Fenol-karbonsav-észterek

### 8.4.3. Laktonok

A laktonok a *hidroxi-karbonsavak belső észterei*, amelyek  $\gamma$ - és  $\delta$ -hidroxisavakból spontán képződnek. A  $\gamma$ -lakton ötagú, a  $\delta$ -lakton hat-tagú, gyűrűs vegyület. A laktonok élelmiszerekben is előfordulnak, és mivel néhányuknak kicsi az ízküszöbértéke, ezért jelentős élelmiszer-aroma-komponensek. A  $\gamma$ -laktonok inkább a növényi, a  $\delta$ -laktonok pedig főként az állati eredetű élelmiszerekben találhatóak. A  $\gamma$ - és  $\delta$ -laktonokon kívül az élelmiszerekben még makrociklusos és biciklusos laktonok is előfordulnak.

## 8.5. Illóolajok

Az illóolajok általában kellemes illatú, olyan *olajszerű termékek*, amelyek *részben optikailag aktívak*, részben inaktívak, papírra csep-pentve *olajfolt visszahagyása nélkül elpárolognak, nem szappanosít-hatók el, és vízgőzzel desztillálhatók*. Az illóolajok a gyakorlatban kü-lönböző kémiai szerkezetű vegyületek keverékei. Eddig több mint 500 összetevőjük ismert, amelyekből egy-egy illóolajban legalább 50 fordul elő. Az alkotórészek 90%-a terpén és terpénszármazék, ezenkívül tartal-maznak aromás vegyületeket, főként fenolt és származékait, alifás szár-mazékokat (aldehidek, alkoholok, alkánok, alkének, észterek, ketonok, savak), és kimutathatók belőlük nitrogén- és kéntartalmú vegyületek is. Egyes növények az illóolaj-komponenst glikozid alakjában tartalmazzák, amelyből enzimés hidrolízissel szabadul fel.

Az illóolajok az élelmiszeriparban jelentős íz- és aromakomponen-sek, sok közülük gyógyító és baktericid hatású, de van közöttük mérgező is. Élelmiszerek ízesítésére, aromásítására illóolajat tartalmazó növényt, növényi részt és növényi kivonatot, valamint mesterségesen előállított illóolajat és illóolaj-komponenst egyaránt használnak. Az *illatszerek és kozmetikumok készítésénél is nélkülözhetetlenek*, és sok illóolajat dol-goznak fel gyógyászati célokra is. A *balzsamok* oldott természetes gyan-tát tartalmazó amorf, szilárd, vagy félszilárd keverékek. Élelmiszer-ipari jelentőségük nincs, a gyógyászatban, illetve az illatszeriparban nyernek alkalmazást.

### 8.5.1. Terpének

Az illóolaj-összetevők több mint 90%-a a terpének közé tartozik. Az izoprén ( $C_5H_8$ ) polimereinek tekinthető szerves vegyületek, amelyek két vagy több izoprén összekapcsolódásával építhetők fel. A moleku-lát alkotó izoprénrészek száma szerint lehetnek *monoterpének* ( $C_{10}H_{16}$ ), *szeszkviterpének* ( $C_{15}H_{24}$ ), *diterpének* ( $C_{20}H_{32}$ ), *triterpének* ( $C_{30}H_{48}$ ), *tet-raterpének* ( $C_{40}H_{64}$ ) és *politerpének* ( $C_nH_{2n}$ ), ahol  $n > 8$ . A terpének közé nemcsak szénhidrogének tartoznak, hanem az ezekből levezethető al-koholok, éterek, aldehidek, ketonok, savak, észterek, epoxi- és hidro-génezett származékok is. A terpének lehetnek alifások vagy alicikliku-sok. Az aliciklikus terpéneket a molekulában lévő gyűrűk száma szerint mono-, bi-, tri- stb. -ciklusos terpénekre lehet osztani. Az *illóolajokban főleg mono- és diterpének találhatók*, a tri-, a tetra- és a politerpének pe-

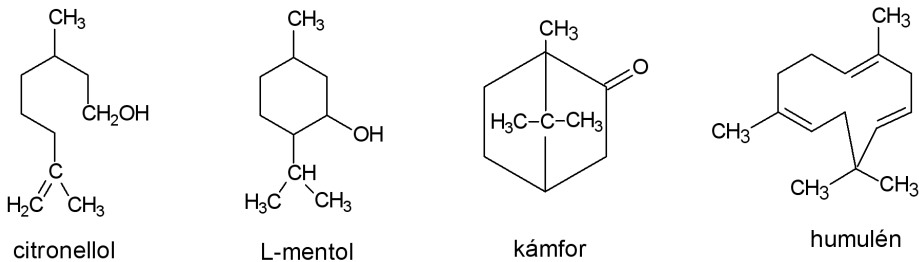
dig egyéb természetes vegyületként bírnak jelentőséggel. Legismertebb képviselőik a karotinoidok, amelyek tetraterpének, míg a politerpének legfontosabb képviselője a természetes kaucsuk.

A *monoterpének* könnyen illó és rendkívül intenzív illatú vegyületek; az *aciklikus monoterpénekre* jellemző a nagy reakciókészség, és hogy szobahőmérsékleten is hajlamosak polimerizációra. Az aciklikus monoterpének között vannak szénhidrogének, alkoholok és aldehidek is. Közéjük tartoznak az *ocimén* és a *mircén*, amelyek kellemes illatú folyadékok, a *citronellol* (8.10. ábra), amely kellemes, rózsához hasonló illatú, autooxidációra hajlamos folyadék. A természetben az L alak a rózsa- és gerániumolajban, a D-izomer a citronella-, a citrom- és a gerániumolajban fordul elő. Az aciklikus monoterpének közé tartoznak még a *geraniol*, a *nerol*, a *linalool*, a *geranial*, a *neral* és a *citronellal*.

A *monociklikus monoterpének* alapváza a mentán (1-izopropil-4-metil-ciklohexán); e csoportba tartozik a *limonén*, az  $\alpha$ - és  $\beta$ -*fellandrén*, a *terpinének* és a *terpineol*. Az ugyancsak ide tartozó *mentolnak* négy izomer módosulata van, amelyek optikailag aktív vegyületek. Az L-mentol kellemes, hűsítő illatú, a D-izomer viszont csak enyhén hűsítő, dohos pince- és káposztaszagú vegyület. A terpének között gyakran előfordul, hogy az egyes izomerek eltérő illat és aroma hordozói. A mentol megtalálható a borsosmenta- és a japánmenta-olajban. A mentol alkoholos oldatban fertőtlenítő, enyhe görcsoldó és felületi érzéstelenítő hatású, amit a likőr-, az édes- és a dohányiparban is felhasználnak. E csoport képviselője még a *karvon*, a *menton*, a *pulegon*, az *eukaliptol* és az *aszkoridol*. A *biciklikus monoterpének* gyűrűs szénhidrogének származékai; közéjük tartozik az  $\alpha$ - és  $\beta$ -*pinén*, az  $\alpha$ -*tuján* és a *szabinén*. A *biciklikus monoterpén ketonok* nagyon jellegzetes aromahordozók. Ilyenek a *tujon*, a *kámfor* (8.10. ábra) és a *fenchon*. A kámfor lágy, jellegzetes szagú, illékony, vízben kevésbé, alkoholban, éterben, acetonban, kloroformban és olajokban jól oldódó vegyület. A természetben ugyan mind a két optikai izomer változata előfordul, a D-kámfor azonban gyakoribb.

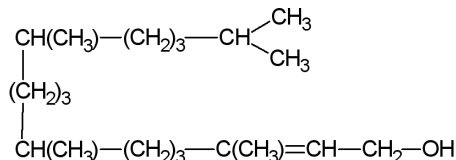
A *szeszkviterpének* három izoprén egységből álló,  $C_{15}H_{24}$  összegképletű vegyületek. Közéjük tartozik a *farnezen*, amelynek több izomer módosulata is van. Mindegyikre jellemző, hogy színtelen, gyümölcsillatú folyadék, amely hajlamos az autooxidációra, kimutathatók az alma és citrusfélék aromaanyagai között, és számos illóolaj összetevői. Aciklikus szeszkviterpén alkohol a *farnezol*, a gyöngyvirágra emlékeztető illatú, olajszerű folyadék. *Monociklikus szeszkviterpén szénhidrogén*

a *zingiberén* és a *humulén* (8.10. ábra). A *zingiberén* a gyömbérolajban és kurkumaolajban, a *humulén* pedig a komló és a szegfű éteres kivonataiban található meg. A *biciklikus szeszkviterpének* közül a *kadinén* kellemes illatú, a növényvilágban a legelterjedtebb, a *szelinén* a zellerolajban, az *eudezmol* az eukaliptuszolajban előforduló szeszkviterpén. A *(+)**nutkaton* biciklikus szeszkviterpén keton, amely a grépfrút héjában és a gyümölcs levében fordul elő. Az e csoportba tartozó *kariofillén* szegfű- vagy terpentínillatú folyadék.



**8.10. ábra.** Aciklikus, monociklikus, biciklikus monoterpének és egy monociklikus szeszkviterpén

A *diterpének* négy izoprént tartalmazó,  $C_{20}H_{32}$  összegképletű vegyületek, amelyek legjellegzetesebb képviselője a *fitol* (8.11. ábra), amely mint a klorofill lipofilalkotója, minden zöld növényben előfordul. A fitilcsoport megtalálható még az E- és K<sub>1</sub>-vitaminokban is. Kellemes, virágra emlékeztető illatú, színtelen, olajos folyadék.



**8.11. ábra.** A *fitol*

A *triterpének*  $C_{30}H_{48}$  összetételű vegyületek, amelyek közül a *szkvalén* cápamájolajból izolálható, növényi olajokban és zsírokban is előforduló vegyület, amely kimutatható az emberi bőr felületén lévő zsírban is.

### 8.5.2. Az illóolajok egyéb komponensei

Az *aromás vegyületeknek* szerepük van az illóolajok jellemző aromájának létrehozásában. A legfontosabb fenolszármazék illóolaj-komponensek az alábbiak: *anetol, ánizssav, eugenol, vanillin, timol, karvakrol, benzil-alkohol, benzaldehid, fahéj-alkohol* és *fahéjaldehid*. *Alifás illóolaj-komponensek* a  $C_6$ – $C_{35}$  alkánok és néhány alkén és alkin. Előfordulnak köztük karbonsavak, főként észter formában,  $C_7$ – $C_{11}$  ketonok és  $C_5$ – $C_{14}$  aldehidek. A *heterociklusos vegyületek* is gyakran részt vesznek az illóolajok jellegzetes illatának kialakításában. Legfontosabb képviselőik a *kumarin* és kumarinszármazékok, mint pl. a *bergaptol*, a *bergapten*, az *indol* és a *szkopoletin*. A kumarint eddig mintegy 150 növényből sikerült előállítani. Régebben élelmiszerekben is használták aromaanyagként, jelenleg azonban májkárosító hatása miatt élelmiszeripari alkalmazását betiltották.

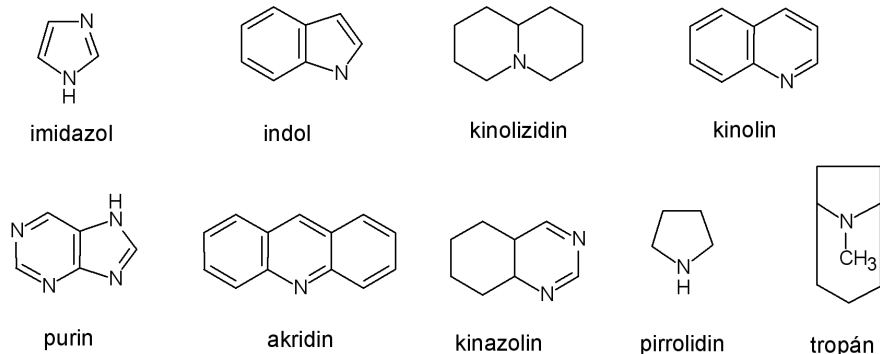
## 8.6. Alkaloidok

Az alkaloidok a növényekben található erős élettani hatású, nitrogéntartalmú, bázikus tulajdonságú, többnyire heterociklikus vegyületek, ezért *rendszerezésük alapja a vegyületben előforduló heterociklikus alapváz* (8.12. ábra). (Vannak azonban olyan alkaloidok is, amelyek nem tartalmaznak heterociklikus gyűrűt, mint pl. a meszkalin és az efedrin.) Általában színtelenek, szabad állapotban vízben rosszul oldódnak, savakkal azonban jól oldódó, könnyen kristályosodó sókat alkotnak. A természetben is sóik formáiban található meg. A növény minden részében keletkezhetnek, de vándorlás útján fel is dúsulhatnak. Gyakran ugyanabban a növényben több alkaloida is található, amelyek rendszerint rokon szerkezetűek. A legnagyobb mennyiségben előforduló alkaloidot főalkaloidnak, a többieket mellékalkaloidoknak hívjuk.

*Az alkaloidok az agy különböző központjainak működését befolyásoló, jelentős élettani hatásuk miatt gyógyszerként is használatos vegyületek.* Egy részük *élénkítő, serkentő hatású*, más részük *fájdalomcsillapító*, de egyben *bódító, a kedélyállapotot befolyásoló vegyület*. Ez utóbbiak gyakran eufóriát (megokolatlan jókedv, kellemes közérzet), víziót és hallucinációt is előidézhettek, megváltoztatva az egyén közérzetét, hangulatát és magatartását. Egyes alkaloidokat tartalmazó növényi részek és készítmények a mindennapi életben élvezeti cikké váltak, rendsze-



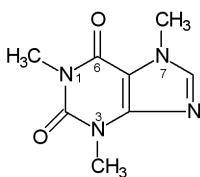
res fogyasztásuk gyakran függőséget idéz elő, és *kábítószer-szenvedély alakulhat ki*, számos káros hatásával együtt. A mindennapi életben elterjedt az alkaloidokat tartalmazó növények (kávé, tea) vizes kivonatának fogyasztása, amely italokban mindig többféle alkaloida található.



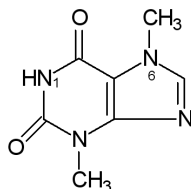
8.12. ábra. Az alkaloidok alapváza

### 8.6.1. Purinvázás alkaloidok

A purinvázás alkaloidok közé tartozik a *xantin* és annak n-metilezett származékai, a *koffein*, a *teobromin* és a *teofillin* (8.13. ábra). A *koffein* (az egyik legszélesebb körben fogyasztott alkaloida) purinvázás vegyület; 1,3,7-trimetil-2,6-dioxi-purin vagy más néven metil-teobromin. A kávécserje magjában, a teacserje leveleiben és a kólafa termésében található. A kávéban 1–1,5%, a szárított feketeteában 5% koffein van. A koffein élettani hatása függ a szervezetbe juttatott adagtól. A *mérsékelt mennyiségű kávé* (kb. 250 mg koffeinnel) *serkenti a szív működését, az anyagcserét és a légzést, javítja az agy vérellátását*, aminek következtében *gyorsítja az agyműködést, csökkenti a fáradtságot, fokozza a munkateljesítményt*, viszont *kedvezőtlenül befolyásolja a gyomor vérellátását*, ezért közvetlenül az étkezés után előnytelen a kávéfogyasztás. Nagyobb adag koffein (300 mg fölött) kézreszetést, szétszórtságot, erős álmatlanságot, szívtáji nyomást, a fejben pedig vértódulást idéz elő. Halálos adagja 5 g fölött van. A koffein főleg a pörkölt kávéból készített forró vizes kivonattal, a feketekávéval és a tealevél vizes kivonatával jut a szervezetbe. Készítenek és fogyasztanak koffeintartalmú gyógyszereket és koffeintartalmú ún. energitalokat is.



koffein



teobromin

8.13. ábra. A koffein és a teobromin

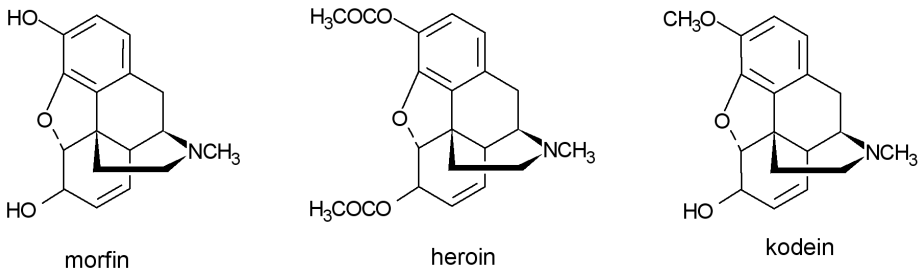
A *teobromin*, 3,7-dimetil-xantin, a koffeintől csak egy metil-csoportban különbözik (8.13. ábra). Élettani hatása a koffeinéhez hasonló, de annál lényegesen enyhébb. A *teobromin* is fokozza a központi idegrendszer működését és a harántcsíkolt izmok teljesítőképességét, de *erősebb szívhatásokat nem vált ki*. Az artériákat tágítja, ezért jó a fejfájás ellen, és értágító hatása következtében *jó vízhajtó*, ezért elősegíti az ödémák megszűnését. A kakaóbab fő alkaloidja, amely mintegy 1,8%-ot tartalmaz belőle. A tejszokoládé 0,15–0,20%, a keserűcsokoládé pedig 0,9% teobromint tartalmaz. A *teofilin* (1,3-dimetil-xantin) a központi idegrendszerre gyakorolt élénkítő hatása szerint a koffein és a teobromin közé tehető, bár a három vegyület közül a *legerőteljesebb vízhajtó*. Legnagyobb mennyiségben a teacserje leveleiben fordul elő. A *xantin* (2,6-dioxi-purin) központi idegrendszert izgató hatása lényegesen kisebb az előzőekben tárgyalt purinvázis alkaloidokénál, de a *szívizmot károsítja*, és így *bénulást okoz*.

### 8.6.2. Kondenzált piridingyűrűs alkaloidok

A *morfin* fenantrénvázis, szagtalan, keserű ízű, vízben rosszul oldódó vegyület, amelynek vizes oldata lúgos kémhatású. Jobban oldódik etil-alkoholban, metil-alkoholban és éterben, jól oldódik kálium- és nátrium-hidroxidban, továbbá savakban, amelyekkel sót képez. Élettani

hatását tekintve először a *nagyagykérget*, majd az *agyalapi központokat*, a *nyúltagyat* és a *gerincvelőt* bénítja meg. Emberben az agykéreg fájdalomérző területét bódítja, a kellemetlen testi és szellemi érzések megszüntetésével jó közérzetet, a gondolatok csapongását, álmodozást, majd elalvást okoz. *Euforizáló* hatása is van, amiért *kábítószerként alkalmazzák*. A gyógyászatban az erős fájdalom enyhítésére, a súlyos sérülések okozta sokk és a halálfélelem enyhítésére, műtétknél a beteg megnyugtatására használják.

Az *ópium* a mák levegőn megszáradt tejnedve, amelyben mintegy 25-féle alkaloida van, közülük legnagyobb mennyiségben a morfin (8.14. ábra). A morfiomot rendszeresen fogyasztók szellemi képessége kezdetben nem változik, a test fizikai állapota azonban fokozatosan leromlik, és később bekövetkezik a szellemi leépülés is. Halálos adagja emberre 5 mg/testtömeg-kg. A morfin a mákgubóban található; régebben az ópiumból, ezt követően az üres mákgubóból állították elő.



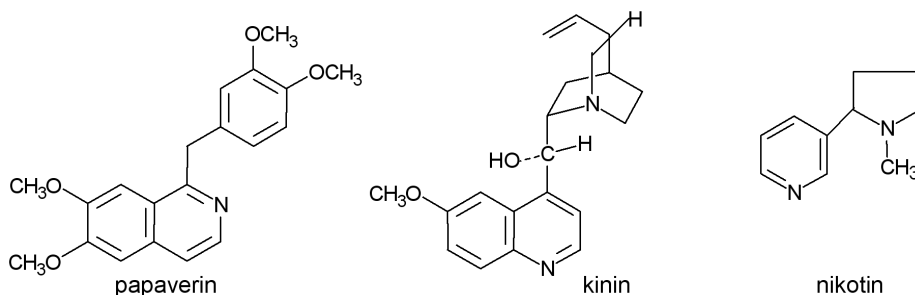
8.14. ábra. A morfin és származékai

A *heroin* (8.14. ábra), a morfin félszintetikus származéka (diacetil-morfin), keserű ízű, vízben jól oldódó vegyület, amely erősen hat a légzőközpontokra, és jól csillapítja a fulladást, a köhögést. A *szervezetben gyorsan morfinná alakul*, ezért az utóbbi évtizedekben *kábítószerként rendkívül elterjedt*, többek között azért is, mert a kívánt hatás eléréséhez jóval kevesebb kell belőle, mint az ópiumból.

A *kodein* (8.14. ábra) a morfin metilszármazéka (metil-morfin), amely a morfingyűrű ellenére a szervezetre lényegesen ártalmatlanabb, mint a morfiom, ugyanis kisebb a veszélye annak, hogy szedése szenvedéllyé válik. A *köhögési központot narkotizálja*, ezért számarköhögés és görcsös köhögés enyhítésére, valamint fejfájás, influenza és neuralgiák gyógyítására alkalmazzák. A szervezetben morfinná alakulhat. Régebben az ópiumból, ma a morfin metilezésével állítják elő. Az ópiumban egy

(-)- $\alpha$ -*narkotin* is található, amely az izokinolinvázas alkaloidok egyik képviselője. A morfin hatását fokozza, önmagában enyhe altató, a légzést izgatja, a szív működését gyengíti, és a bél simaizmaait elernyeszti.

A *papaverin* (8.15. ábra) ugyancsak az ópiumban található, izokinolinvázas alkaloida. Élettani hatása különbözik a morfinétól és az ópium más alkaloidjainak hatásától, ugyanis *alig van központi fájdalomcsillapító és altató hatása*, és nem okoz eufóriát, valamint hozzászokást.



8.15. ábra. A *papaverin*, a *kinin* és a *nikotin*

A *kinin* (kinolinvázas alkaloid; 8.15. ábra) és sói több mikroorganizmust már kis töménységben is elpusztítanak, ezért alkalmazzák pl. a *malária gyógyítására*. Az agy hőszabályozó központjára gyakorolt hatása révén *lázcsillapító*. Nagyobb kininadag szédülést, fejfájást, fülzúgást, süketséget és átmeneti vakságot, valamint szívbénulást idézhet elő. Az ember halálos adagja 8–10 g. A kinin Dél-Amerikában és Jávában honos kinafafélékben keletkezik. A gyógyszeripari alkalmazáson túl felhasználják limonádék és frissítő üdítőitalok ízesítésére, amelyek kinintartalma 30–60 mg/dm<sup>3</sup>. Ízanalíziseknél a *keserű íz etalonjaként alkalmazzák*.

### 8.6.3. Piridinvázás alkaloidok

A *nikotin* (8.15. ábra), a dohány fő alkaloidja, kémiai szerkezetét tekintve 1-metil-2-( $\alpha$ -piridil)-pirrolidin. Tiszta állapotban színtelen, kábító szagú folyadék, savakkal jól kristályosodó sókat alkot; főként szerves savakhoz, elsősorban citromsavhoz kötött állapotban fordul elő. A pirrolidin gyűrű második szénatomja aszimmetrikus, ezért a *nikotin optikailag aktív*; a természetes nikotin a poláros fény síkját balra forgatja. A *perifé-*

riás és a központi idegrendszerre egyaránt hat. A nikotin a vérnyomást kezdetben emeli, majd egy idő után csökkenti, emeli a pulzusszámot, szűkíti az ereket, és a szív koszorúereinek szűkítő hatása miatt *hozzájárul a szívinfarktus kialakulásához*. A tiszta nikotin igen erősen mérgező, mérgező hatása megközelíti a cian-hidrogénét. A szájon át vagy a vérbe kerülve már *25–30 mg nikotin halálos lehet az emberre*. A kisebb dózis hatására jelentkező nikotinmérgezés főbb tünetei a fejfájás, a szédülés, a csökkent látás és hallás. A nikotinmérgezés ellenszereként erős teát, kávét vagy atropint alkalmaznak.

A nikotin elsősorban a dohányban fordul elő, a közönséges dohánylevelek 0,6–8% nikotint tartalmaznak, de vannak 15%-os nikotintartalmú és nikotinmentes dohánylevelek is. A hazai cigaretták nikotintartalma szálanként mintegy 0,7–1,3 mg. A dohányban a nikotin kísérői a *nornikotin*, az *anabazin*, a *nikotirin* és a *nikotellin*.

#### 8.6.4. Indolvázias alkaloidák

Az anyarozsban található fő alkaloidok, a lizergsavszármazékok tartoznak ebbe a csoportba. Közülük a *D-(+)-lizergsav-dietilamid* az LSD néven ismert *kábítószer*, amely *hallucinogén hatású*. Kis mennyiségben is erősen mérgező vegyület, emberben már 0,05–0,2 mg *reverzibilis elmezavart okoz, amelyet hallucináció kísér*. Az agykéregben megbontja a mozgató- és az érzékelőfunkciók közötti egyensúlyt, pupillatágulást, a normálisnál magasabb vércukorszintet és szapora szívverést válthat ki. Kellemes közérzetet, gondtalan álmvilágot nyújtó hatása miatt kábítószerként egyre jobban terjed. Az LSD alapvegyülete, a lizergsav, indolvázias alkaloid, az anyarozs fő alkaloidja.

### 8.7. Néhány szerves vegyület meghatározása

A fejezetben szereplő vegyületek közül az illózsírsavak analízisével a korábbi fejezetekben már foglalkoztunk. Ebben a részben a bor etilalkohol-tartalmának, a pálinka metilalkohol-tartalmának, élelmiszerek L-tejsav-tartalmának, a kávé koffeintartalmának, a tea csersavtartalmának és a dohány nikotintartalmának meghatározásával foglalkozunk.

### 8.7.1. A bor alkoholtartalmának meghatározása

A bor alkoholtartalmát desztillációs módszerrel, illetve *Malligand*-készülékkel is meghatározhatjuk. A desztillációs módszer a döntő vizsgálatokban használatos eljárás, amely szerint a bor alkoholtartalmát ledesztilláljuk, a desztillátumot vízzel eredeti térfogatára kiegészítjük, és piknométerrel meghatározzuk a sűrűséget, amelynek alapján táblázatból megkapjuk az alkoholtartalmat. Ha a vizsgált bor literenként 1,2 g-nál több illósavat tartalmaz, akkor a sűrűségmérés után a párlatot fenolftalein-indikátor jelenlétében 0,1M nátrium-hidroxid-oldattal megtitráljuk, és a titráláshoz fogyott lúg térfogatával a sűrűséget korrigáljuk, majd a korrigált sűrűség alapján keressük ki a táblázatból az alkoholtartalmat.

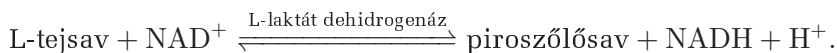
A *Malligand*-készülékkel való alkoholtartalom-meghatározás alapja az, hogy a bor forráspontja függ az alkoholtartalomtól, ugyanis minél nagyobb az alkoholtartalom, annál alacsonyabb a forráspont. A forráspontot azonban az alkoholban oldhatatlan anyagok, pl. a cukrok csökkentik, az alkoholban oldhatók pedig (glicerin, butándiol) növelik, amit a módszer alkalmazása során figyelembe kell venni. A bor forráspontját speciális készülékben – amely hűtőből, hőmérős közép részből és forralótartályból áll – meghatározzuk, a forráspont segítségével pedig az alkoholtartalmat állapítjuk meg.

### 8.7.2. A pálinka metil-alkohol-tartalmának meghatározása

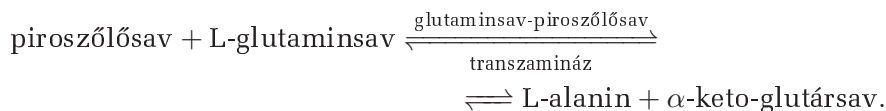
A vizsgálat során a mintában levő metil-alkoholt kálium-permanganáttal foszforsavas közegben formaldehiddé oxidáljuk, majd a permanganát feleslegét oxálsavval, kénsav jelenlétében elbontjuk. A képződött formaldehidet kénsavas fuxinnal reagáltatjuk, majd az oldat színintenzitását az ismert mennyiségű metil-alkoholt tartalmazó oldatok színintenzitásával hasonlítjuk össze. E módszer mellett a metil-alkohol-tartalom meghatározására az egyre elterjedtebb gázkromatográfiás eljárást alkalmazzák.

### 8.7.3. Az L-tejsav meghatározása enzimes analízissel

A tejsavat a  $\text{NAD}^+$  *L*-laktát dehidrogenáz jelenlétében piruváttá oxidálja az alábbi reakció szerint:



Mivel a reakció egyensúlya a tejsav felé tolódik el, ezért egy kapcsolt reakcióval a piroszőlősavat alaninná alakítjuk át, a *glutaminsav-piroszőlősav transzamináz* enzim segítségével az alábbiak szerint:



Az első reakcióban képződő NADH + H<sup>+</sup> mennyisége egyenértékű a tejsav mennyiségével. A NADH + H<sup>+</sup> mennyisége a 340 nm-en mért abszorbanciából határozható meg. A módszer alkalmas a bor, a sör, a káposztalé, a joghurt és a sajt L-tejsav-tartalmának meghatározására is.

Az L- és a D-tejsav királis futtatószer alkalmazásával nem királis oszlopon, nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával is szétválasztható, és az L-tejsav mennyisége meghatározható.

#### 8.7.4. A kávé koffeintartalmának meghatározása

A megfelelően megőrölt nyerskávéból kloroformos extrakcióval kivonjuk a koffeint, és mennyiségét spektrofotométeren, 275 nm-es hullámhosszon, kloroform ellenében mérjük.

Az eljárás során 1 g őrölt nyerskávéhoz csiszolt dugós *Erlenmeyer*-lombikban hozzáadunk 2 g kvarchomokot és 5 cm<sup>3</sup> 25%-os ammónium-hidroxid-oldatot. Öt percre többször összerázzuk, majd 50 cm<sup>3</sup> kloroformot adunk hozzá, és 15 percre extraháljuk visszafolyó hűtővel. Extrahálás után a lehűlt kloroformos oldatot 100 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikba szűrjük, majd a szűrőpapír kloroformmal való átöblítése után a lombikot jelig töltjük. Az így kapott törzsoldatot kloroformmal hússzorosára hígítjuk, és a hígított oldat abszorbanciáját 275 nm-en, kloroform ellenében spektrométeren mérjük.

A koffeintartalmat a tiszta koffein kalibrációs diagrammjából leolvashatjuk. A kalibrációs görbét különböző koncentrációjú koffeinoldatok segítségével készítjük.

A koffeintartalmat hagyományos módszer szerint, tömegméréssel is meghatározhatjuk. Ennek során a nyerskávét őrleményt ammónium-hidroxiddal kezeljük, kvarchomokkal elkeverjük, majd a koffeintartalmat *Soxhlet*-készülékben nyolc órán át kloroformmal extraháljuk. Ezt követően az oldószert visszadesztilláljuk, a maradékot desztillált vízzel felforraljuk, az így kapott oldatot szűrjük, majd 1%-os kálium-perman-

ganát-oldattal forró vízfürdőn kezeljük. A keletkezett csapadékos oldatot forrón szűrjük, lehűlés után a szűrletet rázótolcsérben kloroformmal kirázzuk, a kloroformos oldatot nátrium-szulfáttal víztelenítjük, majd az oldószert *Soxhlet*-berendezésben visszadesztilláljuk. A lombik alján maradt koffein fehér vagy enyhén sárgás kristályokból áll, amelynek mennyiségét tömegméréssel állapítjuk meg.

#### 8.7.5. A tea csersavtartalmának meghatározása

2 g teát 500 cm<sup>3</sup>-es, csiszolatos gömblombikba helyezünk, és 300 cm<sup>3</sup> desztillált vízzel, visszafolyós hűtővel, három órán keresztül forraljuk. Az oldatot forrón 500 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer*-lombikba szűrjük, forrásig melegítjük, majd a csersavtartalmat réz-acetát segítségével kicsapjuk. A csapadékot hamumentes szűrőpapíron szűrjük, és forró vízzel addig mossuk, amíg a szűrlet híg ammóniaoldattal ellenőrizve rézmentesnek nem bizonyul. Ezt követően a csapadékot kvarctégelyben elhamvasztjuk, salétromsavval nedvesítjük, izzítókemencében kiizzítjuk, exsikkátorban hűtjük és mérjük. A csersavtartalmat a kapott réz-oxid tömegéből számoljuk és tömeg%-ban fejezzük ki.

#### 8.7.6. A dohány nikotintartalmának meghatározása

A dohány legfontosabb alkaloidja a nikotin, amelyből 20–30 mg már halálos adag az emberi szervezet számára. A nikotintartalom meghatározása során a megőrölt dohánymintából erősen lúgos közegben vízgőz-desztillációval eltávolítjuk a nikotint, a desztillátum összalkaloid-tartalmát UV-spektrométerrel, 259 nm hullámhosszon mérjük, és az eredményt mint nikotint adjuk meg.

### 8.8. Az egyéb szerves vegyületek összefoglalása

Az élelmiszerek kis mennyiségben olyan vegyületeket is tartalmaznak, amelyek részt vesznek az íz- és illatanyagok kialakításában, befolyásolják az eltarthatóságot, és speciális élettani hatással is rendelkezhetnek. Ilyen vegyületek az alkoholok, a fenolok, a fenol-éterek, a fenol-alkoholok, az oxovegyületek, a szerves savak és származékaik, az illóolajok és az alkaloidok. Az egyértékű alifás alkoholok közül legnagyobb jelentőségű az etil-alkohol, amely alkoholtartalmú italaink legfontosabb



komponense. A metil-alkohol rendkívül mérgező, a propil-, a butil- és a nagyobb tagszámú alifás alkoholok szabad és észter formában is előfordulhatnak az élelmiszerekben. A többértékű alifás alkoholok közül az etilén-glikol mérgező, a glicerint viszont széles körben alkalmazzák. Az aromás alkoholok közül ismertebb a benzil-alkohol,  $\beta$ -fenil-etil-alkohol és a fahéjalkohol. A fenolok, a fenol-éterek és a fenol-alkoholok közül a fenol, a krezol, az etil-fenol, a vinil-fenol, a karvakrol, a timol, az anizol és az anetol jelentős aroma-, illat- és antiszeptikus hatású. A kétértékű fenolok és származékaik (pirokatechin, rezorcin, hidrokinon, gvajakol, eugenol, izoeugenol) színyanyagok képzésében vesznek részt, és emellett illatanyag-komponensek, antioxidáns és fertőtlenítő hatásúak is.

Az aldehidek jellemző illatuk révén a különböző élelmiszerek aromaanyagainak összetevői, és résztvevői a nem enzimés barnulási folyamatoknak is. Az alifás, telített aldehidek ismertebb képviselője a formaldehid, az acetaldehid, a propionaldehid, a butiraldehid, és számos nagyobb szénatomszámú aldehid is közrejátszik az íz- és aromaanyagok kialakításában. Az előzőeken kívül jelentősek még a hidroxil-, a telítetlen- és az aromás aldehidek is. A ketonok (aceton, acetoin, diacetil, acetofenon, maltol stb.) jellegzetes, de nem kellemetlen illatú vegyületek. A szerves savak az íz- és illatanyagok kialakításában, a pH-szabályozásában és a mikrobák elleni védelemben játszanak szerepet. Legfontosabb képviselőik az ecetsav, a propionsav, vajsav, a tejsav, a borkősav és a citromsav. Az észterek fontos aromakomponensek, hisz kis szénatomszámú képviselőik (etil-formiát, metil-formiát, etil-, propil-, butil-, pentil-, hexil-acetát) gyümölcsillatúak. A laktonok is jelentős élelmiszeraroma-komponensek.

Az illóolajok különböző kémiai szerkezetű vegyületek elegyei, amelyek íz- és aromakomponensek, gyógyító és baktericid hatásúak, de lehetnek köztük mérgezőek is. Az illóolaj-összetevők több mint 90%-a a terpének közé tartozik. Az egyéb komponensek fenol- és kumarinszármazékok, alifás és heterociklusos vegyületek lehetnek.

Az alkaloidok a növényekben található, erős élettani hatású, nitrógentartalmú, bázikus tulajdonságú, többnyire heterociklusos vegyületek, amelyek jelentős mértékben befolyásolják az agy különböző központjainak működését. A purinvázis alkaloidok közül legismertebb a xantin és a koffein, a teobromin és a teofillin, a kondenzált piridingyűrűs alkaloidok közül a morfin, a heroin, a kodein, a papaverin és a kinin. A piridinvázis alkaloidok közül a nikotin, a nornikotin, az anabazin,

a nikotinin és a nikotellin, az indolvázias alkaloidok közül pedig az LSD néven ismert lizergsav-dietilamid a legismertebb.

A fejezetben szereplő vegyületek közül az illózsírsavak analízisével a korábbi fejezetekben már foglalkoztunk. Ebben a részben a bor etil-alkohol-tartalmának, a pálinka metil-alkohol-tartalmának, az élelmiszerek L-tejsav-tartalmának, a kávé koffeintartalmának, a tea csersavtartalmának és a dohány nikotintartalmának meghatározásával foglalkoztunk.

# ENZIMEK

Az enzimek az élő sejtekben keletkeznek, és meghatározott kémiai reakciókat katalizálnak. Minden növényi és állati szervben megtalálható, ahol az anyagcsere-folyamatokat irányítják; a szervezet biokatalizátorai. Nagymolekulájú, szerves vegyületek, amelyek az élő szervezeten kívül is megtartják katalizáló hatásukat. Az élelmiszer-technológiában fontos szerepet töltenek be, mert egyrészt felhasználhatjuk őket sok élelmiszer előállításához, másrészt meg kell akadályoznunk a működésük következtében fellépő romlási folyamatokat. Az alapanyagok nagy része enzimtartalmú növényi, illetve állati termék, amelyek feldolgozásához további enzimdús segéd- és járulékos anyagot használnak. A legtöbb élelmiszer-technológiai művelet megértése és irányítása ezért enzimológiai tudás nélkül lehetetlen.

### 9.1. A kémiai reakciók lejátszódásának feltételei

A termodinamika törvényei az élő és az élettelen természetre egyaránt érvényesek. A termodinamika II. törvénye szerint a folyamatok iránya a rendezetlenség, az entrópia növekedése, a statisztikus állapot. Az élő szervezet ennek a tendenciának azért tud ellenállni, mert képes a környezet energiaforrásait felhasználni. Az élő szervezetek – a fényenergia kivételével – nem képesek energiát termelni vagy a környezetből energiát abszorbeálni, arra azonban képesek, hogy a fényt vagy a környezetből felvett kémiai energiát a maguk számára felhasználhatóvá alakítsák, és a fel nem használtat a környezetnek visszaadják.

Termodinamikai megfontolások alapján környezetünket önkényesen két részre bonthatjuk: a rendszer az a kiszakított rész, amit vizsgálunk, ami ezen kívül van, az a környezet. A rendszerben állandó nyomáson, térfogaton és hőmérsékleten az entrópia vagy nő, vagy állandó, vagy csökken, de a szabadenergia mindig a minimum felé tart. A környezetben az entrópia vagy nő, vagy állandó, vagy csökken, a világegye-

temben azonban (rendszer + környezet) az entrópia mindig a maximum irányába növekszik. A rendszer + környezet entrópiája vagy a rendszer szabadenergiája önmagában lehetővé teszi, hogy adott körülmények között megadjuk valamilyen kémiai reakció irányát.

A biológiai folyamatok energiaigényének kielégítésére csak a *szabadenergia* alkalmas. Ez teszi lehetővé, hogy a sejt állandó nyomáson, hőmérsékleten és térfogaton munkát végezhesen. A munkavégzés feltétele a környezettel fennálló kapcsolat, ahonnan az élő az energiát nyeri és ahová a salakanyagokat eltávolítja. Az *élő szervezet termodinamikai szempontból nyílt rendszernek* számít, aminek rendezettsége csak a szüntelen anyag- és energiaki- és -beáramlás közepette maradhat fenn. Az élő szervezet környezettel fennálló egyensúlya, az ún. *steady state* állapot, az egyensúlyt befolyásoló bármilyen hatásra rendkívül érzékeny módon reagál.

*Az élő szervezetekben, a sejtekben a nyomás és a hőmérséklet állandó, ezért nem képesek a hőenergia közvetlen hasznosítására.* Fő energiaforrásuk – a fotoszintézistől eltekintve – a *kémiai energia*, ami a sejtek számára szükséges egyéb energiákká alakulhat át. A szabadenergia az az energia, ami munkavégzésre fordítható. A termodinamika I. főtétele szerint a rendszer és a környezet összes energiája állandó, ez tulajdonképpen az energiamegmaradás törvénye.

$$\Delta E = E_B - E_A = Q - W,$$

ahol:  $E_A$  és  $E_B$  = a rendszer energiája, a folyamat kezdetén, illetve a folyamat végén,

$Q$  = a rendszer által elnyelt hő,

$W$  = a rendszer által végzett munka.

Az egyenlet segítségével egy folyamatról megállapítható, hogy *spontán végbemegy-e, a spontán reakciók ugyanis az energiacsökkenés irányába haladnak.* Bizonyos esetekben a reakciók akkor is lejátszódnak, ha  $\Delta E$  pozitív érték, ebben az esetben ugyanis a rendszer a környezetéből abszorbeál energiát úgy, hogy a rendszer + környezet energiája állandó marad.

A termodinamika II. főtétele szerint minden folyamat olyan irányba tart, amelyben a rendszer + környezet *entrópiája* nő, amíg be nem áll az egyensúly, ahol az entrópia helyileg maximálissá válik. Ebben az állapotban a rendszer munkavégző kapacitása kimerült, külső energia befektetése nélkül nem képes visszatérni a kiindulási állapotba. *A nagy*

entrópiánövekedéssel járó folyamatok nem megfordíthatók, irreverzibilisek, míg reverzibilis folyamatoknál nincs jelentős entrópiánövekedés. A rendszerre jellemző  $\Delta E$  csak egy része alkalmas munkavégzésre, ezért a gyakorlatban a kémiai reakciók jellemzésére a  $\Delta G$  szabadenergia-változást vizsgáljuk. Híg, vizes oldatokban, állandó hőmérsékleten és nyomáson érvényes az alábbi egyenlet:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

ahol:  $T$  = az abszolút hőmérséklet,

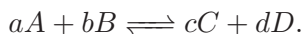
$\Delta S$  = az entrópiaváltozás,

$\Delta H$  = az entalpiaváltozás.

Mivel biológiai rendszerekben a nyomás és a térfogat állandó, ezért a rendszer entalpiaváltozása megegyezik a  $\Delta E$  összes energiaváltozással, vagyis

$$\Delta G = \Delta E - T\Delta S.$$

A  $\Delta G$  szabadenergia-változás az egyensúly felé tartó rendszerek  $\Delta E$  összes energiaváltozásának az a része, amely állandó nyomáson és hőmérsékleten munkavégzésre alkalmas, azaz az a maximális energiamentiség, ami kémiai folyamatokban kémiai munkára használható fel, a  $T\Delta S$  viszont hasznos munka végzésére alkalmatlan. Egy egyensúlyra vezető reakciót tekintve



A folyamat szabadenergia-változása:

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b},$$

ahol:  $[A]$ ;  $[B]$ ;  $[C]$ ;  $[D]$  = a résztvevő anyagok moláris koncentrációja,

$a$ ;  $b$ ;  $c$ ;  $d$  = a reakcióban résztvevő molekulák száma,

$R$  = az egyetemes gázállandó ( $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),

$\Delta G^{\circ}$  = a standard szabadenergia-változás (standard körülmények: egységnyi koncentráció,  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0,1 \text{ MPa}$ ).

Ha a folyamat eléri az egyensúlyt, akkor a standard szabadenergia-változás az alábbi képlettel fejezhető ki:

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b},$$

ahol:  $[A]^a$ ,  $[B]^b$ ,  $[C]^c$ ,  $[D]^d$  az egyensúlyi koncentrációk.

A reakció  $K$  egyensúlyi állandója:

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}.$$

Fentiek alapján most már megállapíthatjuk, hogy a standard szabadenergia-változás hogyan függ a reakció egyensúlyi állandójától:

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K.$$

A standard szabadenergia-változás a reagensek és a termékek szabadenergiája közötti különbség:

$$\Delta G^{\circ} = \sum G^{\circ}_{\text{termékek}} - \sum G^{\circ}_{\text{reagensek}},$$

ahol:  $G^{\circ}$  = a vegyületek elemekből történő képződésének energiáját jelenti.

Mivel a  $K$  egyensúlyi állandó könnyen mérhető, az ismertetett összefüggések alapján a  $\Delta G^{\circ}$  standard szabadenergia-változás kiszámítható.

A  $\Delta G$  arányos azzal a maximális munkával, amit a szabadenergia-csökkenéssel járó folyamat végezhet akkor, ha van megfelelő munkavégző rendszer. A *standard szabadenergia-változás additív*, ezért mennyisége a kapcsolódó reakciók szabadenergia-változásának összegzése útján számítható.

A standard szabadenergia-változás (definíció szerint) standard körülményekre érvényes, ahol a résztvevő anyagok koncentrációja is egységnyi (pl.  $H^+$ -ion-koncentráció = 1, pH = 0). Ha a folyamatban a víz is részt vesz, akkor annak koncentrációja 55,5M. Vizes közegben a biokémiai folyamatok többsége neutrális pH-n zajlik, ahol a  $H^+$ -ion koncentrációja közelítőleg  $10^{-7}M$  (pH = 7); a biokémiában ezeket a viszonyokat *standardnak* tekintjük, és az ezekre a folyamatokra mért szabadenergia-változást  $\Delta G^{\circ'}$ -vel jelöljük, amely értékek más pH-ra természetesen nem érvényesek.

A sejtek steady state nyílt rendszerek, távol az egyensúlyi állapottól, ezért munka végzésére alkalmasak és jól kontrollálhatók. A sejtekre

jellemző folyamatok nagymértékben rendezettek, az *entrópiánövekedés minimális szinten tartásával* működnek. A biológiai munka energiaigé-nyeinek kielégítését az biztosítja, hogy

- a sejtek képesek a biomolekulák átalakítása útján azok energiatar-  
talmát felszabadítani, másrészt
- az energiát energiátároló molekulákban konzerválják, mint ami-  
lyen pl. a minden élőlényben megtalálható energiavaluta, az ade-  
nozin-trifoszfát (ATP); az ATP két anhidridkötéssel kapcsolódó  
foszfátjának hidrolízisét jelentékeny energiafelszabadulás kíséri,  
míg a harmadik észterkötésű foszfátcsoport energiataralma ki-  
sebb.

|  | $\Delta G^{o'}$ , kJ mol <sup>-1</sup> |
|--|--|
| ATP $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ ADP + P <sub>i</sub>      | – 30,5                                 |
| ADP $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ AMP + P <sub>i</sub>      | – 30,5                                 |
| AMP $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ adenozin + P <sub>i</sub> | – 14,2                                 |

A nagy szabadenergia-változással járó reakciókban átalakuló vegyü-  
leteket nagyenergiájúaknak nevezzük, a nagyenergiájú kötést ~ jellel je-  
löljük. A nagy- és a kisenergiájú kötések megkülönböztetésénél az ATP-t  
tekintjük viszonyítási alapnak: *nagyenergiájúak* azok a vegyületek, ame-  
lyek átalakulásakor a szabadenergia-változás megegyezik vagy nagyobb,  
mint az ATP β- és γ-helyzetű foszfátcsoportjának hidrolízisekor felsza-  
baduló energia (A–R–Pα ~ Pβ ~ Pγ, A: adenin, R: ribóz). *Kisenergiájú*  
kötések átalakulásakor 30,5 kJ·mol<sup>-1</sup>-nél kisebb energia szabadul fel.

Az ATP viszonyítási alapként azért indokolt, mert az ATP  $\rightleftharpoons$  ADP  
rendszer központi funkciója folytán az energiaátviteli reakciók többsé-  
gében közreműködik. Nagyenergiájú foszfátvegyületek a makromoleku-  
lák lebontásának közti termékeiként is keletkezhetnek (pl. 1,3-difoszfó-  
glicerát, foszfo-enolpiruvát), de ilyenek pl. a foszfo-kreatin és a foszfo-  
arginin is.

Az ATP + ADP + AMP együttes mennyisége a sejtekben állandó, 2–  
15 mM, bár az ATP mennyisége többszörösen felülmúlja a másik kettő  
összegét: ATP » ADP + AMP. Az ATP + ADP mennyisége adja a sejt  
rendelkezésére álló tárolt energiamennyiséget. Ez az energia a biológiai  
munkához szükséges, amelynek főbb típusai az alábbiak:

- *Kémiai munka* szükséges a szervezet felépítésében résztvevő spe-  
cifikus biomolekulák szintézisére a makromolekulák szintézise  
során.

- Az *ozmotikus munka* biztosítja a membránokon keresztüli anyagáramlást. Az anyagáramlás dinamikus fenntartása az alábbi folyamatokhoz szükséges:
  - Anyagok felvétele a sejtek igényeinek megfelelően, amely koncentrációgradienssel szemben történik: az anyagok a kisebb koncentrációjú helyről a nagyobb koncentrációjú intracelluláris térbe jutnak, a munka az ozmózis okozta ellenállás leküzdéséhez szükséges.
  - Salakanyagok kiküszöbölése azok bekonzentrálásával, ami szintén ozmózis munkavégzést igényel.
  - Az elektromos aktivitás biztosítása, mivel a potenciálgradiens kialakításához ionkoncentráció-különbség szükséges, szintén ozmózis munkát igényel.
- *Mechanikai munkavégzés* és a különféle mozgásokkal kapcsolatos energiák szükségesek
  - a hely- és helyzetváltoztató mozgásokat biztosító szervek munkájához,
  - a sejt működésével kapcsolatos intracelluláris mozgásokhoz, mint pl. mitokondriumok összehúzódása és duzzadása.

Az élő szervezetek energiaigényük kielégítésére csak kémiai energiát képesek felhasználni; a fényenergiát hasznosító zöld növények előbb a fényt kémiai energiává alakítják, majd ezt a kémiai energiát használják fel életfolyamataikban.

## 9.2. A reakciósebesség és a biokatalizátorok

A sejtekben zajló kémiai átalakulásokra jellemző, hogy nagy részük rendkívül gyors, és a folyamatok kiegyenlített közegben állandó nyomás, hőmérséklet és pH mellett mennek végbe. A hőmérséklet növelése, a pH és az egyéb tényezők változása fokozza a reakció sebességét, a sebesség azonban az élő szervezetben biokatalizátorokkal, enzimekkel növelhető. Az élő szervezetben szinte minden folyamatban enzimek vesznek részt.

Az enzimek specifikus katalizátorok, csak adott anyag vagy meghatározott anyagcsoport átalakulását segítik, aminek következtében rendkívül sok enzim van az élő szervezetben. Az enzimek nagy részének működése szabályozott. Az enzimfehérjék szerkezete lehetővé teszi, hogy a katalizátor működése leálljon vagy meginduljon. Ez a szabályozás az enzim



szerkezetének (konformációjának) változásától függ, és nem mond ellen a termodinamika törvényeinek.

A *biokatalízis* nélkülözhetetlen a sejt számára, de nélkülözhetetlen az energiaátalakításban is. Az enzimek a fotoszintézis során a fényenergiát magas hatásfokkal alakítják át kémiai kötési energiává. Az oxidációs folyamatokban a különféle tápanyagok energiájának nagy részét ATP-be építik be, a sejt így olyan energiatároló vegyülethez jut, amelyből minden energiaigényét kielégítheti. Ezen túl az enzimek még az optimális energiagazdálkodást is lehetővé teszik, mivel az energiatárolással és -felszabadítással kapcsolatos komplex folyamatok nagymértékben szervezett enzimrendszerek közreműködésével zajlanak le.

### 9.2.1. A reakciók kinetikája és a katalízis

A különféle reakciók sebességét és mechanizmusát a reakciókinetika írja le. Az enzimek által katalizált reakciók nagyobb része összetett, több elemi lépésből áll. A kémiai átalakulásokat a reakciósebességgel jellemezhetjük, ami a kiindulási anyagok vagy a termékek időegység alatt bekövetkező koncentrációváltozását jelenti.

A legegyszerűbb esetben  $A$  molekula monomolekuláris reakcióban alakul át terméké,  $P$ -vé (product). A reakció sebessége csak  $A$  koncentrációjától függ (*elsőrendű reakció*). Az enzimek katalizátorok, ezért az  $A \rightleftharpoons P$  kémiai átalakulás egyensúlyát nem befolyásolják, a koncentrációviszonyoknak megfelelő sebességgel katalizálják az oda ( $o$ ) vagy vissza ( $v$ ) irányban való átalakulást. Ha a reakció sebessége két anyag koncentrációjának szorzatával vagy egy anyag koncentrációjának négyzetével arányos, akkor *másodrendű* reakcióról van szó.

Bimolekuláris reakciókban, ha az egyik kiindulási anyag koncentrációja sokkal nagyobb, mint a másiké, pl.  $B \rightarrow A$ , a folyamat a nagyobb koncentrációjú anyag mennyiségétől függetlenné válik, a reakció *elsőrendűnek* tekinthető. Ha a reakcióban részt vevő valamennyi anyag koncentrációja igen nagy, a reakció egyiktől sem függ, a sebességet leíró egyenlet nem tartalmazza az anyagok koncentrációit, a folyamat *nulladrendű* lesz. A reakciók rendűségét tehát kizárólag az határozza meg, hogy a sebességet leíró egyenletben az anyagok koncentrációi hányadik hatványon szerepelnek. Ha az elemi lépés összetett reakció része, az összetett reakció sebessége az elemi reakció sebességének kombinációjaként jelentkezik. Az összetett reakcióknak az anyagcserében gyakori esete az, ha az elemi lépések egymást követik:



*Konzekutív* reakciósorban az egyes lépések sebességi állandóinak megállapítása megoldható. A  $P$  végtermék keletkezésének sebességét a reakciósor leglassabb folyamata határozza meg, amelyet sebességmeghatározó lépésnek hívunk. Az egyidejűleg egymással párhuzamosan, azonos vagy ellentétes irányban lezajló átalakulásokat *koncentrált* folyamatoknak nevezzük. Eredőjük szabja meg a sejt anyagcsere-állapotát.

### 9.2.2. Aktivált állapot

A kémiai reakciók létrejöttének feltétele az egyensúlyi értéktől eltérő koncentrációviszony. Egyensúly esetén a rendszerben nincs nettó változás; kémiai reakció folyik ugyan, de mindkét irányban azonos sebességgel. A reakció feltétele továbbá olyan molekulák jelenléte, amelyek energiatartalma bizonyos szintet meghalad, vagyis *aktivált állapotban* van. Ezeket „forró” molekuláknak hívjuk. Az  $A \rightarrow B$  átalakulás esetén az aktivált állapot úgy alakul ki, hogy az  $A$  anyag nagyobb energiatartalmú  $A'$  átmeneti állapoton keresztül alakul át  $B$  terméké.



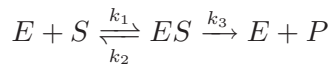
Egy bizonyos hőmérsékleten csupán a molekulák kis része van „forró”, reakcióképes állapotban. A reakció sebességét a hőmérséklet, valamint az átmeneti állapot és a kiindulási állapot közötti szabadentalpia-különbség ( $\Delta G^\circ$ ) szabja meg, amit aktiválási szabadentalpiának nevezünk, amelynek dimenziója  $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

$$\Delta G^\circ = G_{\text{átmeneti állapot}}^\circ - G_{\text{kiindulási állapot}}^\circ$$

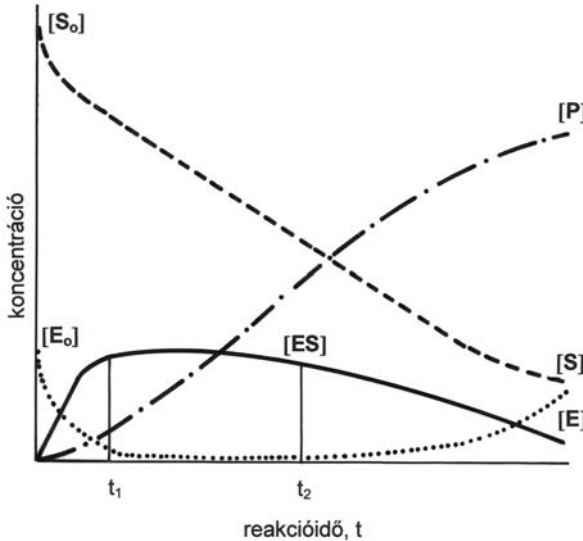
Az  $A$  molekulának  $B$ -vé való átalakulásához energiaakadályt kell leküzdeni. Enzimek jelenlétében csökken az átmeneti állapot szabadentalpia-szintje, így több molekula válik „forró”-vá, a reakció sebessége tehát megnő. Az enzimek a szubsztráttal kapcsolódva olyan átmeneti terméket alakítanak ki, aminek aktiválási energiaigénye kisebb, mint az enzim nélkül lejátszódó reakcióban. Az enzimhez való kapcsolódás a szubsztrát szerkezetét megváltoztatja, alkalmassá teszi azt az átalakulásra. Ez az aktiválási szabadentalpia-csökkenés részben magyarázatul szolgál az enzimek rendkívüli sebességnövelő hatására, de nem ad kielégítő magyarázatot arra, hogy az enzimek hogyan tudják olykor akár sok nagyságrenddel növelni a reakció sebességét.

### 9.2.3. Enzimek–biokatalizátorok

Az enzimek által katalizált reakciók sebessége nem írható le az előzőekben ismertetett módon. Az enzimreakciók nem tekinthetők sem elsőrendű, sem másodrendű reakciónak, mert nem lehet az enzim aktív részvételétől eltekinteni. A század elején *Michaelis* és *Menten* feltételezte, hogy az enzimreakciók első lépésében az *E* enzim először az *S* szubsztráttal reagál, és ebből *ES* enzim-szubsztrát komplex, átmeneti állapot keletkezik. Ezt követően a komplexben megtörténik az átalakulás, és az *ES*-ből *EP* enzim–termék komplex, illetve *E + P* enzim és termék keletkezik. Az *E* enzim a reakció végén eredeti formájában felszabadulva alkalmassá válik arra, hogy újabb *S* szubsztráttal reagáljon.



Az enzim által katalizált reakcióban a különféle résztvevők mennyiségének időbeli változását vizsgálva (9.1. ábra) megállapítható, hogy



**9.1. ábra.** Az enzimreakciók résztvevőinek koncentrációváltozása. A  $t_1 - t_2$  időintervallumban az *ES* komplex koncentrációja gyakorlatilag állandó, a szubsztrát-, illetve termék koncentráció változása az idő függvényében lineáris

az első pillanatban az  $S$  koncentrációja gyorsan csökken, a  $P$  koncentrációja pedig csak igen lassan nő. Ez az idő szükséges az  $ES$  komplex kialakulásához. A  $t_1 - t_2$  időintervallumban az  $ES$  koncentrációja közelítőleg állandó, a rendszer látszólagos egyensúlyban van. Az egyensúly feltétele az, hogy a rendszerben állandóan és az idővel lineárisan csökkenjen az  $S$  és növekedjék a  $P$  koncentrációja. A  $t_1 - t_2$  időpont között jellemző az  $S$  és  $P$  mennyiségének állandó változása; az  $ES$  rendszer ún. *stacionárius egyensúlyban* van a rendszer többi komponensével. Ez, az ún. steady state állapot, az élő szervezet létezésének alapfeltétele. Az élő viszonylagos állandósága csak abban az esetben zavartalan, ha állandó anyagfelvétel és -leadás biztosítja a környezettel való kapcsolatot.

### 9.2.3.1. Az enzimreakciók sebessége

In vitro vizsgálatokban a steady state sebességet határozzuk meg, tehát abban az időintervallumban dolgozunk, ahol a termékkoncentráció növekedése is és a szubsztrátkoncentráció csökkenése is lineáris. Ilyen körülmények között az  $E + S \rightleftharpoons ES$  egyensúly gyorsan beáll, ezt követően egy ideig annyi  $ES$  komplex keletkezik, mint amennyi elbomlik. A komplex keletkezése a szabad enzim ( $E$ ) és a szubsztrát koncentrációjával, elbomlása viszont az  $ES$  komplex koncentrációjával arányos. Rendszerint olyan viszonyokat választunk, ahol a szubsztrát kezdeti koncentrációjához ( $S_o$ ) képest az elbomlás mértéke elhanyagolható ( $S_o \approx S$ ). Az enzim és a szubsztrát közötti reakcióegyenletnek megfelelően az  $ES$  keletkezése és elbomlása az alábbi egyenlettel írható le:

$$k_1([E]_o - [ES])[S] = k_2[ES] + k_3[ES].$$

Az egyenletet átrendezve:

$$\frac{([E]_o - [ES])[S]}{[ES]} = \frac{k_2 + k_3}{k_1} = K_m,$$

ahol:  $E_o$  = az enzim kezdeti koncentrációja,

$K_m$  = a *Michaelis–Menten*-állandó.

A  $K_m$  állandó jelentését illetően figyelembe kell venni, hogy az  $ES$  komplex keletkezése nem egyszerű disszociációs egyensúly útján megy végbe. A  $K_m$  az  $ES$  komplex stabilitására jellemző állandó, amelynek mértékegysége  $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Minél kisebb ez az érték, annál stabilabb a komplex. Az enzim működését befolyásoló hatások (hőmérséklet, pH)

a  $K_m$  értékére is befolyással vannak. Az előző egyenletből számítható az  $[ES]$  komplex koncentrációja. Minthogy ez az érték a sebességmeghatározó, számítható a steady state sebessége is. A steady state  $[ES]$  koncentráció:

$$[ES] = \frac{[E_o][S]}{K_m + [S]},$$

míg a reakció steady state sebessége:

$$v = \frac{d[P]}{dt} = k_3[ES] = k_3 \frac{[E_o][S]}{K_m + [S]}.$$

Az enzimműködésre jellemző paraméterek megállapításakor állandó enzimkoncentráció mellett változtatjuk a szubsztrátkoncentrációt, és mérjük a reakció steady state sebességét. A szubsztrátkoncentráció függvényében grafikusán ábrázolva a sebességet, olyan görbét kapunk, ahol kis szubsztrátkoncentráció esetén a koncentráció növelésével a sebesség gyorsan növekszik, majd a növekedés mértéke csökken, és nagy szubsztrátkoncentráció jelenlétében az enzim telítődik, a sebesség a  $V_{max}$  maximális értéket közelíti. A telítés esetén az enzim teljes mennyisége  $ES$  komplexszé alakul; ilyen körülmények között a maximális sebesség csak az enzim mennyiségétől függ:

$$V_{max} = k_3 \cdot [ES]_{max} = k_3 \cdot [E_o].$$

Behelyettesítve az előző egyenletbe, a telítési görbét leíró *Michaelis–Menten*-egyenletet kapjuk:

$$v = V_{max} \frac{[S]}{K_m + [S]}.$$

Az előző egyenletek alapján az enzimreakciók néhány alapvető sajátossága az alábbi:

A  $K_m$  fizikai jelentése az a szubsztrátkoncentráció, amelynél az enzimreakció sebessége a *maximális érték fele*, azaz  $V_{max}/2$ . Ez független az enzim koncentrációjától.

Ha a szubsztrátkoncentráció kicsi, vagyis  $[S] \ll K_m$ , a reakció a szubsztrátra nézve elsőrendű, a sebesség a szubsztrátkoncentrációtól közel lineárisan függ; ez a telítési görbe kezdeti, gyakorlatilag egyenes szakasza.

Ha a szubsztrátkoncentráció igen nagy ( $[S] \gg K_m$ ), a reakció sebessége független a szubsztrát koncentrációjától, a reakció sebessége a szubsztrátra nézve nulladrendű, vagyis a katalízis sebessége  $k_3$ -nak felel meg.

### 9.2.3.2. Az enzimek elnevezése

Az enzimek elnevezésére és csoportosítására három különböző módszer használatos:

- Az enzim nevét *szubsztrátjának nevéből* „-áz” képzővel alakítják ki, ilyen a maltózt bontó *maltáz*, a keményítőt hidrolizáló *amiláz*, vagy a lipideket bontó *lipáz*.
- A másik elv szerint az enzim által *katalizált folyamat nevéhez* az „-áz” képzőt teszik, így nevezték el a hidrolízist katalizáló enzimeket *hidrolázoknak*, a foszfátgyököt az egyik szubsztrátumról a másikra átvivőket *transzfoszforilázoknak*, a szubsztrátot karboxilcsoportjától megfosztókat *dekarboxilázoknak*, vagy az oxidációs folyamatokat katalizálókat *oxidázoknak*.
- A harmadik csoportba azok a *triviális nevek* tartoznak, amelyek annyira ismertté váltak az idők folyamán, hogy megváltoztatásuk nem lenne célszerű. Ilyen pl. a növényekben található fehérjebontó enzim, a *papain*, a gyomorban a fehérjét hidrolizáló *pepszin*, vagy a borjak gyomrában található, a tej kazeinjét bontó *kimozin*.

A Nemzetközi Biokémiai Unió Enzimológiai Albizottsága (EC) 1964-ben javaslatot tett az egységes enzimológiai nómenklatúra elfogadására. Ezek szerint az enzim elnevezésekor figyelembe kell venni a folyamatot, amelyet az enzim katalizál, és a szubsztrátot, amelyre az enzim hat. Például a tirozin oxidációját katalizáló enzimet nem elegendő *tirozináznak* nevezni, hanem az oxidációra is kell utalni; tehát a helyes elnevezés *tirozinoxidáz*. Az eddig felfedezett enzimeket a Nemzetközi Biokémiai Unió javaslata szerint a következő 6 főcsoportra oszthatjuk:

- EC-1 *oxido-reduktázok*,
- EC-2 *transzferázok*,
- EC-3 *hidrolázok*,
- EC-4 *liázok*,
- EC-5 *izomerázok*,
- EC-6 *ligázok*.

A főcsoportokon belül több alcsoport van, amelyek az enzim által megtámadott kötés kémiai természetében különböznek egymástól. A de-

cimális kódrendszer minden enzim kódjele az EC betűkkel kezdődik, az első szám a felsorolt főcsoportok sorszámával azonos, a második és harmadik szám az alcsoportokat jelöli, a negyedik pedig az enzim egyedi száma. Az újonnan felfedezett enzimeket az alcsoporton belül mindig a következő számmal látják el. Bizonyos esetekben az enzimek elnevezésekor a kódszámon kívül megjelölik az *enzim származási helyét* is, amire azért van szükség, mert többféle élő szervezet vagy szerv is gyakran előállít azonos hatású enzimet. Az ilyen, azonos katalízist előidéző, de különböző származású enzimeket *izodinámiás enzimeknek* hívjuk.

### 9.2.3.3. Az enzimek fajlagossága

Az *enzimek fajlagosak*, azaz csak egy reakciótípus, sőt a legtöbb enzim csak egyetlen szubsztrátum meghatározott reakciójának katalizálására alkalmas. Az enzimeknek ezt a jellemző tulajdonságát fajlagosságának nevezzük. Megkülönböztetünk *reakciófajlagosságot*, amely az enzim által katalizált reakció típusára vonatkozik, és *szubsztrátfajlagosságot*, amely az enzimeknek a szubsztráthoz való viszonyával foglalkozik. A reakciófajlagosság azt jelenti, hogy egy enzim csak egy típusú kémiai reakció katalízisére képes. Az enzimek reakciófajlagossága az aktív centrumuk és ezen belül elsősorban kofaktoruk szerkezetével kapcsolatos. A reakciófajlagosság minden enzimre vonatkozik, ezért ez az enzimek csoportosításának és korszerű elnevezésének az alapja.

A szubsztrátfajlagosság azt jelenti, hogy egy bizonyos enzim a reakció fajlagossága által megszabott katalízises hatását csak meghatározott szerkezetű és összetételű szubsztrát reakciójára tudja kifejteni. Egyes enzimek szubsztrátfajlagossága a sztereoizomerekre is kiterjed. Az enzimek optikai fajlagossága magyarázza azt a tényt, hogy az élő szervezetek nagy része az L-aminosavakat és ezek peptidjeit teljes mértékben hasznosítani tudja, a D-aminosavakat és vegyületeiket viszont nem. Az élesztősejtek viszont csak a D-sorbelt hexózokat képesek alkohollá és szén-dioxiddá erjeszteni. A tejsavbaktériumok viszont enzimrendszerükkel az egyszerű cukrokból mindig azonos téralkatú D-, vagy L-, illetve racém tejsavat termelnek. Vannak olyan enzimek is, amelyek szubsztrátfajlagossága csak a szubsztrát kémiai jellegének és főbb szerkezeti elemeinek azonosságára tart igényt. Ilyenek pl. az állati és növényi eredetű *lipázok*, amelyek a különböző szénláncú és telítettségű zsírsavak glicerínésztereit egyaránt le tudják bontani.

#### 9.2.3.4. Az enzimműködés feltételei

Az enzimreakciók sebességét több mértékegységgel szokás jellemezni; ezek közül legismertebb a *katal*, ahol egy kat =  $1\text{ mol}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $10^{-6}$  kat = mikrokatal,  $10^{-9}$  kat = nanokatal,  $10^{-12}$  kat = pikokatal. Használatos még a molekuláris aktivitás; MA =  $\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mol fehérje}^{-1}$ , ami az *egy molekula enzim által időegység alatt átalakított szubsztrát-molekulák számát jelenti*. Néhány enzim maximális molekuláris aktivitása a következő: *szénsavanhidráz*: 600 ezer, *acetyl-kolin-észteráz*: 25 ezer, *laktát-dehidrogenáz*: 1000, *kimotripszin*: 100, *triptofán szintetáz*: 2, *lizozim*: 0,5. Az enzimek katalitikus aktivitása a  $V_{max}$  és a  $K_m$ , a pH, a hőmérséklet, az ionerősség és az ionok fajtájának függvénye, de ezek mellett speciális közeghatások is hathatnak.

Ha az enzimreakciók sebességét a hőmérséklet függvényében ábrázoljuk, rendszerint maximumgörbét kapunk, amelynek fel- és leszálló ága két, különböző jelenséget tükröz. A hőmérséklet növelésének hatására a reakciósebesség a maximális sebesség eléréséig nő; ez a *hőmérsékleti optimum*. A hőmérséklet növelése e ponton túl *fokozza az enzimmolekula szerkezetén belül a polipeptidlánc és az oldalláncok mozgékonyosságát*, ezért a szerkezetet fenntartó erőket legyőzve a molekula rendezett szerkezete részben vagy teljesen felbomlik.

A hőmérséklet okozta változás lehet *reverzibilis* vagy *irreverzibilis*. A magas hőmérséklet az enzim irreverzibilis kicsapódását, denaturációját okozhatja. Az *in vitro* meghatározott hőmérsékleti optimumok eltérhetnek az *in vivo* hőmérséklettől; rendszerint nagyobbak, mint az élőlény hőmérséklete. A termofil szervezetek enzimjeinek hőmérsékleti maximuma a 60–80 °C-ot is elérheti, ahol a közönséges hőmérsékletű élőlények homológ enzimjei már inaktíválódnak.

A gabonában lévő *amilázoknál* az optimális hőmérséklet 63 °C, amely fölött, pl. 68 °C-on, jelentős kezdő enzimaktivitás után, az enzim 35–40 perc múlva inaktíválódik. Az enzimtartalmú rendszerek hőfokának az enzim hőmérsékleti optimuma fölé emelése hosszabb-rövidebb idő alatt az enzimfehérjék denaturálódásához, vagyis az enzimműködés irreverzibilis megszűnéséhez vezet. Ez az inaktíválódási hőmérséklet enzimenként különböző, sőt azonos enzimmé is vannak különbségek attól függően, hogy milyen tiszta az enzim, és hogy van-e jelen szubsztrát. Vannak olyan, kifejezetten hőtűrő enzimek is, mint pl. az  $\alpha$ -*amiláz*, amely még 70 °C-on is jelentős ideig megőrzi aktivitását. Néhány perces forralás hatására azonban minden enzim elbomlik.



A szárított, vízmentes enzimes készítmények sokkal hőtürobbeek a vi- zes oldatoknál, és rövid ideig tartó, 100–120 °C-os hőkezelés után is megtartják aktivitásukat. Alacsony hőmérsékleten csökken az enzimek aktivitása, fagyáspont alatt pedig általában megszűnik katalizáló hatá- suk. Kivételt a nyers húsban található enzimek képeznek, ezért nem lehet a hűtött húst korlátlan ideig tárolni. A hűtés hatására bekövetkező inaktiválódás reverzibilis, vagyis az enzimet tartalmazó rendszer felme- legítése után az újra visszanyeri eredeti aktivitását.

A reakciósebesség *pH-függése* a legtöbb esetben szintén maximum- görbét követ; az enzimek többségének működése egy adott pH-n optimá- lis. A reakciósebesség pH-függése az alábbi tényezőkből adódhat:

Az enzimműködésben közvetlenül résztvevő oldalláncok között disszociábilis csoportok vannak, amelyek állapota a pH-tól függ.

A pH az enzim molekula többi disszociábilis csoportját is befo- lyásolja, ami a funkcióképes konformáció fennmaradására van hatás- sal. A fehérjék biológiailag működőképes konformációja csak szűk pH- tartományon belül állandó.

A pH változása befolyásolhatja a szubsztrátok és az enzimekhez kap- csolódo koenzim disszociábilis csoportjait.

Az enzimek által katalizált reakciók sebességének pH-függése külön- böző; némelyek aktivitása széles pH-tartományon belül állandó (*papain*, *kolinészteráz*), másoké pedig szűk határok közt változik (*pepszin*, *tripszin*). Az enzimek *in vitro* pH-optimuma több pH-egységgel is eltérhet a sejtek közel semleges pH-jától.

A relatív szubsztrátfajlagosságú enzimeknél, amelyek több, hasonló szerkezetű anyag reakcióját képesek katalizálni, az egyes enzimek pH- optimuma a szubsztráttól is függ. *Az enzimek aktivitásának pH-függése a szubsztrátkoncentrációval is kapcsolatban van*, vagyis a pH-optimum megváltozhat a koncentráció csökkenése vagy növekedése esetén. Az en- zimek pH-optimumát a rendszer hőmérséklete is befolyásolja, bár a kü- lönböző hőfokon mért pH-optimumok közötti eltérés nem nagy. *A pH- optimum függhet a rendszerben jelenlevő ionoktól is*, vagyis változhat aszerint, hogy a mérést milyen összetételű pufferben végezzük. Az en- zimek aktivitása az optimálistól eltérő pH-értéken kisebb, mint a pH- optimumon. Minden enzimhez tartozik egy alsó és egy felső pH-érték, amelyen megszűnik az enzim tevékenysége, majd irreverzibilisen de- naturálódik. Az enzimek többségében ez a változás pH 2 alatt és pH 9 felett következik be. Kivételt képez többek között a *pepszin*, amely még pH 1,5-en is kiválóan katalizál, vagy a *tripszin*, amely pH 13-ig képes

működni. Az enzimek általában pH-optimumukon őrzik meg leginkább aktivitásukat, vagyis ezen a pH-értéken a legtartósabbak.

Az enzimesen katalizált reakciók sebességét a rendszer *vízaktivitása* is befolyásolja. Az élelmiszerekben lévő víz kötöttsége, illetve mozgékonysága összefügg a szubsztrátmolekulák diffúziójával, az enzim-szubsztrát komplex kialakulásával, ezért az élelmiszerek szárítása a bennük lejátszódó enzimes folyamatok sebességét csökkenti. A közvetlen *napsugárzás*, különösen oxigén jelenlétében, károsan befolyásolja az enzimaktivitást, ami főként az ibolyántúli sugaraknak tulajdonítható. Elsősorban a 240–270 nm hullámhosszhatárok között lévő sugarak fejtenek ki erős inaktiválást, ami szorosan összefügg az enzimfehérjék ultraibolya sugárzás okozta denaturálódásával. A *radioaktív  $\gamma$ -sugárzás* és a *röntgensugarak* ugyancsak bomlasztják az enzimeket.

Az enzimműködés egyéb feltételeire vonatkozóan általános szabály nincs. Egyes enzimek az optimális működéshez bizonyos ionokat vagy egyéb anyagokat igényelnek, mások működéséhez ilyen anyagok nem kellenek.

## 9.3. Enzimreakciók gátlása

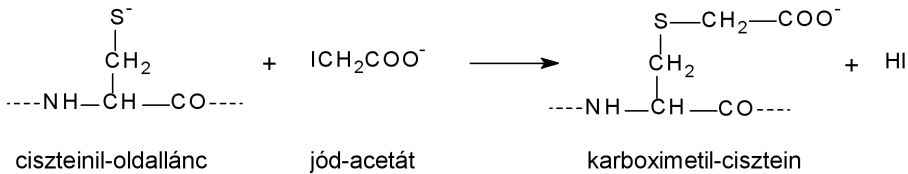
### 9.3.1. Enzimek irreverzibilis gátlása

Az enzimek működése különféle anyagokkal, különböző módon gátlható. Fiziológiás körülmények között a gátlás főleg az enzimek működésének szabályozásában játszik szerepet. Tanulmányozása segítségünkre lehet az enzimműködés molekuláris mechanizmusának megismerésében. Eredményei a gyakorlati munka számos területén felhasználhatók.

Irreverzibilis gátlást olyan anyagok váltanak ki, amelyek az enzim oldalláncával vagy oldalláncaival kovalens kötést hoznak létre. Két fő típusa fordul elő:

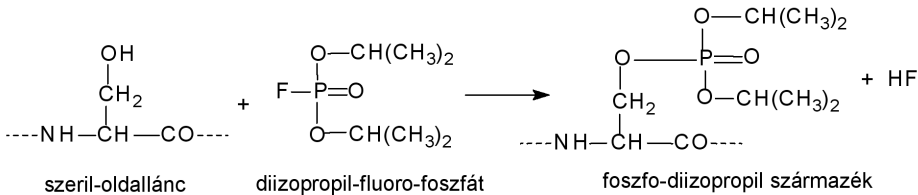
- A reagens egy vagy több azonos kémiai felépítésű oldallánccal kapcsolódva megváltoztatja az enzim konformációját, aminek során az inaktiválódik.
- A reagens katalitikus működésében résztvevő speciális oldallánccal reagál, úgy változtatva meg annak kémiai szerkezetét, hogy az enzim inaktívvá válik.

Sok enzim működéséhez szükséges szabad szulfhidrilcsoport (*papain, gliceraldehid-3-foszfát-dehidrogenáz*). Ha a szulfhidrilcsoportot kémiai úton úgy módosítjuk, hogy jód-acetáttal karboximetiláljuk, az enzim irreverzibilisen inaktívódik (9.2. ábra).



**9.2. ábra.** A ciszteinil-oldallánc módosítása jód-acetáttal

*Proteinázok és észterázok* működéséhez szükséges, hogy a szeril-oldallánc OH-csoportja szabad legyen, mert enélkül az enzim nem működőképes. Ha az enzim szeril-OH-ja diizopropil-fluoro-foszfáttal reagál, a kovalens kötés kialakulása miatt az enzim katalitikusan inaktívvá válik (9.3. ábra).

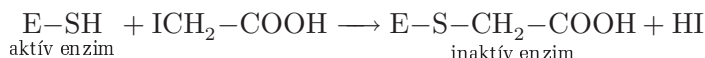


**9.3. ábra.** A szeril-oldallánc módosítása diizopropil-fluoro-foszfáttal

A cisztein szulfhidril- és a szerin hidroxilcsoportjához hasonlóan minden más poláros oldallánc specifikusan módosítható. Ha a reagens (inhibitor) a működéshez szükséges oldallánccal reagál, mód van arra, hogy az enzim működéséhez nélkülözhetetlen oldallánccokat feltérképezzük és megállapítsuk, hogy az enzim működéséhez nélkülözhetetlen oldallánc az aminosav-szekvenciában hol helyezkedik el.

*Destruktoroknak* hívjuk azokat az anyagokat, amelyek véglegesen hatástalanná teszik az enzimeket, vagyis *irreverzibilis denaturációt* idéznek elő. A destruktorkok lehetnek fajlagosak vagy általánosan inaktíváló hatásúak. A tiolenzimeknek például fajlagos destruktora a klór- vagy jódecetsav, amelyek nemcsak a tiolenzimekkel, hanem az ezeket védő

glutation szulfhidrilcsoportjaival is irreverzibilisen tiolétereket hoznak létre:



A fajlagos destruktorok száma viszonylag csekély, általánosan ható viszont annál több van. *Destruktoroknak tekinthető ugyanis minden olyan anyag, amely denaturáló hatást fejt ki a fehérjékre*, mint például az erős savak és lúgok, a nehézfémek sói, a jód, az ózon, a kálium-permanganát és a triklór-ecetsav. Megfordíthatatlan inaktiválásnak tekinthetjük azt az esetet is, amikor az egyik enzim elbontja a másikat, vagyis amikor az egyik enzim a másik enzimnek a destruktora. A növényi eredetű *papainnal* és a *pepszinnel* kapcsolatban megállapították, hogy más enzimeket irreverzibilisen hidrolizálnak, megszüntetve ezzel katalizáló hatásukat.

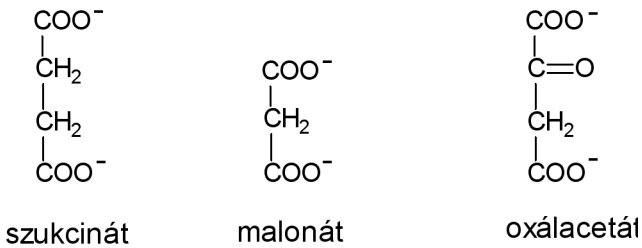
### 9.3.2. Enzimek reverzibilis gátlása

Az enzimek specifikus, reverzibilis gátlása *in vivo* és *in vitro* is sokféle lehet. Az *I* inhibitor reverzibilisen kötődik az enzimhez, vagy az enzim működéséhez szükséges kofaktorhoz, pl. a fehérjéhez kötött fémionhoz. Az enzim és az inhibitor kapcsolódásakor *EI* komplex alakul ki, amelynek stabilitása a  $K_I$  inhibitor állandóval jellemezhető:

$$K_I = \frac{[E][I]}{[EI]}$$

Az enzim–inhibitor kapcsolat minősége szerint a reverzibilis gátlás sokféle lehet. A *kompetitív gátlás* akkor valósul meg, ha az enzimhez disszociábilisan kötődő *I* inhibitor gátló hatását a szubsztrát koncentrációjának növelésével csökkenteni lehet, azaz *az inhibitor és a szubsztrát egymással verseng az enzimhez való kötődésben*. E versengéstől függ, hogy milyen arányban keletkezik *ES* vagy *EI* komplex. A kompetitív inhibitorok a szubsztráthoz hasonló szerkezetű vegyületek vagy annak analógjai (9.4. ábra). A *szukcinát-dehidrogenázt* pl. a malonát *in vitro* kompetitíve gátolja. A szubsztrát is és az inhibitor is hasonló felépítésű vegyület, mindkettő ugyanabba a homológ sorba tartozó dikarbonsav. A *szukcinát dehidrogenáz* *in vivo* kompetitív inhibitora az oxál-acetát.

A kompetitív inhibitor hatását úgy képzelhetjük el, hogy az az enzimhez kapcsolódva akadályozza a szubsztrátmolekulák kötődését, ezért csökken az enzim aktivitása a szubsztráthoz, csökken a *v* reakciósebesség



9.4. ábra. A szubsztrát és a kompetitív inhibitor szerkezete

is, de a  $V_{max}$  nem változik. Kompetitív gátlás esetén a  $K_m$  értékének változása függ a  $K_I$  inhibitorállandótól és az inhibitor koncentrációjától. A reakciósebesség csökkenése a szubsztrát és az inhibitor relatív koncentrációjától függ. Ha állandó inhibitor koncentráció mellett a szubsztrát mennyiségét megnöveljük, a gátlás teljesen felfüggeszthető, az inhibitor teljesen kiszorulhat az enzimről.

Speciális esetben az enzim működését a reakció valamelyik résztvevőjének nagy koncentrációja gátolja. A szívizom *laktát-dehidrogenáza* a piruvát koncentrációjának növelésével eléri a  $V_{max}$  maximális sebességet, a szubsztrátkoncentráció további növelésére a reakciósebesség csökken, jelezve, hogy a szubsztrát nagy feleslege a folyamatot gátolja. A *difoszfo-glicerát mutáz* a vörösvértestekben működik, és az 1,3-difoszfo-glicerátot alakítja át 2,3-difoszfo-gliceráttá. A keletkező 2,3-difoszfo-glicerát kompetitíve gátolja az 1,3-foszfoszarmazék kötődését, ezért ún. termék gátlás jön létre.

A reverzibilis, *nem kompetitív inhibitorok* a szubsztrát kötődését nem közvetlenül akadályozzák, hanem valamilyen más mechanizmus szerint gátolják az enzim katalitikus működését. A szubsztrátkoncentráció növelésével hatásuk nem függeszthető fel, az inhibitor jelenlétében mért  $K_m$  érték változatlan, vagyis a  $K_I$  inhibitorállandótól és a koncentrációtól függetlenül csökken a reakció  $V_{max}$  maximális sebessége. A reverzibilis, nem kompetitív gátlás esetén a *gátlóanyag eltávolítása után az eredeti aktivitás helyreáll.*

A nem kompetitív gátlásnak sokféle esete ismert.

Ha az enzim működéséhez vagy a biológiailag aktív konformáció kialakításához szulfhidrilcsoportra van szükség, *nehézfémionok* ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ) hatására az enzimműködés rendszerint lecsökken vagy meg-

áll. Ez az oka annak, hogy a nehézfémionok mérgek az élőlények számára.

Bizonyos esetekben az enzim működéséhez *fémionra* ( $Zn^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) van szükség. Ezek a fémionok rendszerint szorosan kötődnek az enzimhez. Ha az ionokat kelát- (komplex-)képzőkkel (pl. EDTA) megkötjük, az enzim működése gátlódik. Kellő mennyiségű fémion hatására azonban a gátlás megszüntethető, az eredeti működés helyreáll.

### 9.3.3. Aktivátorok

Az *aktivátorok* olyan anyagok, amelyek az *enzimeket fokozottabb katalizálóképességűvé teszik*. Az enzimek nagy része híg sóoldatban hatékonyabban működik, mint desztillált vízben, mert az enzimfehérje jobban oldódik, nagyobb lesz a fajlagos felülete, a nagyobb felület megnöveli az enzim–szubsztrát komplex képzésének lehetőségét, aminek következtében a reakciósebesség nő. Az oldott és elektrolitosan disszociált sók kationjai vagy anionjai is gyakorolhatnak serkentő hatást az enzimre. A kationok közül a kalcium-, a magnézium-, a mangán-, a vas-, a nikkel-, a kobalt- és a cinkionok jelenlétekor figyeltek meg egyes enzimeknél aktiváló hatást. Nagy valószínűséggel ezek a fémek beépülnek az enzimek molekulájába, mert egészen tiszta enzimkészítményekben is kimutathatók. Példának felhozható a *karboxiláz* enzim, amelyet magnéziumionok, és a  $\beta$ -*amiláz* enzim, amelyet kalciumionok aktiválnak.

## 9.4. A szerkezet és a működés kapcsolata a biokatalízisben

A sejtekben folyó átalakulási folyamatok kiindulási és végtermékeinek sokfélesége folytán a katalizáló enzimek is igen sokfajta feladatot látnak el, s így szükségszerűen az enzimek igen változatos felépítésű fehérjék. Az enzimek kis része egyszerű fehérje (*ribonukleáz A*, *lizozim*, *proteolitikus enzimek* egy része), sok esetben azonban az enzim működéséhez *kofaktor* szükséges. A kofaktor az enzim szerkezetéhez szorosan kapcsolódó ion, amely közvetlenül részt vehet a katalitikus folyamatban ( $Zn^{2+}$  a *karboxipeptidáznál* vagy az *alkalikus foszfatáznál*), más esetben csupán a működőképes enzim szerkezetének kialakításához szükséges ( $Ca^{2+}$  a *proteinázoknál*,  $Cl^-$  az *amiláznál*). Az en-

zimek jelentékeny részének működéséhez *koenzimek* (szerves kofaktorok) szükségesek, amik *szorosan vagy lazán kapcsolódhatnak a fehérjéhez*. Közvetlenül részt vesznek a katalitikus folyamatban, és megszabják annak jellegét. Bizonyos esetekben a *koenzim szorosan, kovalens kötéssel kapcsolódik a fehérjéhez; a koenzimet ekkor prosztetikus csoportnak hívjuk*. A koenzimet tartalmazó fehérjerész az apoenzim, amit a koenzimmel együtt holoenzimeknek nevezünk. Az alábbi felsorolás olyan koenzimeket tartalmaz, amelyek valamelyik származéka a vitaminok közé tartozik. A nikotinsavamid-adenin-dinukleotid ( $\text{NAD}^+$ ) és a nikotinsavamid-adenin-dinukleotid-foszfát ( $\text{NADP}^+$ ) vitamin alakja a nikotinsavamid, a flavin-mononukleotid (FMN) vitamin alakja a riboflavin. Ezek az enzimek a hidrogénatom-átvitelben vesznek részt. Az aldehidcsoport-átvitelben résztvevő tiamin-pirofoszfát vitamin alakja a tiamin, az acilcsoport-átvitelben közreműködő koenzim-A-é a pantoténsav, az alkilcsoport-átvitelben résztvevő kobalamin-koenzimké a kobalamin, a  $\text{C}_1$ -csoportok ( $-\text{CH}_2\text{OH}$ ,  $-\text{CH}_3$ ,  $>\text{CH}_2$ ,  $-\text{CH}=\text{NH}$ ) átvitelében résztvevő tetrahidrofolát-koenzimé a folsav, a hidroxilcsoport-átvitelben résztvevő aszkorbinsavé a C-vitamin, a  $\text{CO}_2$ -csoport átvitelében résztvevő biotin, fillokinon és menakinon koenzimké pedig a  $\text{K}_1$ - és  $\text{K}_2$ -vitamin.

#### 9.4.1. Az aktív centrum szerepe a biokatalízisben

A katalitikus működésben az enzim molekulája egészének aránylag kis része, a polipeptidláncot felépítő aminosav részek csekély százaléka vesz részt. Az enzim molekulája szerkezetében van egy, esetleg néhány, a katalitikus funkció szempontjából kiemelt fontosságú rész. Azt a részt, ahol a katalitikus átalakulás lépései lejátszódnak, *aktív centrumnak* hívjuk. Ha van, ide kapcsolódik a működéshez szükséges *koenzim* is. Az aktív centrum részei a *kötőhely*, ami magához kapcsolja a szubsztrátokat és a kofaktor(oka)t, amelyek a kémiai átalakításban vesznek részt, a *katalitikus hely* pedig lehetővé teszi az enzimhez kapcsolt anyagok átalakulását. A katalitikus hely szabja meg, hogy milyen típusú reakciót katalizál az enzim, míg a kötőhely határozza meg, hogy az enzim milyen kémiai felépítésű szubsztráttal reagál. Néhány általános érvényű megállapítás az aktív centrummal kapcsolatban:

Az aktív centrum az enzim molekulájának csak kis részét foglalja el, a száz, olykor több ezer aminosav rész többsége nem létesít kapcsolatot a szubsztráttal.

Az aktív helynek sajátos, az adott határokon belül korlátozott, háromdimenziós szerkezete van, amely nem statikus, merev képződmény, mivel az aktív centrumot alkotó oldalláncok is a natív molekulaszervezet határain belül állandó mozgásban vannak. Az aktív centrum kialakulása során a peptidlánc lineáris szekvenciájában egymástól távol helyezkedő oldalláncok a lánc gombolyodása folytán egymáshoz közel kerülve különféle kölcsönhatásokat alakítanak ki. A kapcsolatok megváltoztathatják az egyes oldalláncok kémiai tulajdonságait, amelynek során ezek olyan tulajdonságokra tesznek szert, amelyek előnyösek a katalitikus reakció számára. A proteinázok aktív centrumában lévő szeril-oldallánc a kölcsönhatások következtében reakcióképesé, nukleofillé válik, holott a többi szeril-oldallánc kevésbé reaktív. A *lizozim* aktív centrumában lévő Glu-52 karboxilcsoportjának pK-ja a környezet hatására közel neutrálissá válik, szemben az egyéb karboxilcsoportok savas pK-jával.

A szubsztrátok megkötésének specificitása a kötőhelyet felépítő aminosavak *térbeli elhelyezkedésének* következménye. *Straub* és *Szabolcsi* szerint a fehérjemolekulák a termodinamikai viszonyok által megszabott határok között állandó mozgásban vannak, adott konformációs határok között *fluktuálnak*. A szubsztrát megkötésére a sokféle lehetséges konformációjú molekula közül csak egy bizonyos molekula képes; ha egy ilyen enzim-molekula a szubsztráttal találkozik, megtörténik a kapcsolódás. Az enzim-szubsztrát komplex létrejöttének alapja tehát a fluktuáció során kialakuló, a szubsztráttal kapcsolódásra képes konformáció állandó keletkezése, azaz a fluktuációs illeszkedés. A kötés hatására a szabad enzim eredeti R (relaxed = laza) konformációja T-vé (tense = feszült) válik.

Az esetek egy részében a szubsztrátkapcsolódás az enzimhez *nem nagyenergiájú kötésekkel* történik, ennek ellenére az enzim szerkezete „feszítetté” válhat, ami hozzájárul az átalakítás aktiválási energiájának csökkentéséhez. A különféle ES komplexek  $10^{-2}$ – $10^{-8}$  M közötti disszociációs állandójából következik, hogy a kölcsönhatás energiája  $-12$  és  $-50$  kJ·mol<sup>-1</sup> közötti érték, ami a kovalens kötések energiájához ( $-200$ – $-450$  kJ·mol<sup>-1</sup>) képest csekély. Néha azonban az enzim vagy koenzim és a szubsztrát között átmenetileg kovalens kapcsolat alakul ki, ami lehetővé teszi az ES komplex izolálását, létének kísérletes bizonyítását.

Az *aktív centrum* nem a fehérjemolekula felszínén, hanem a felszín által kialakított *mélyedésben*, árokban vagy zsebben helyezkedik el. A szubsztrátmolekulák tehát a vizes közegtől részlegesen elzárt környezetben kapcsolódnak a fehérjéhez. Az aktív centrum poláros oldalláncai



közelében apoláros oldalláncok helyezkednek el, növelve a szubsztrát-kötő terület hidrofób jellegét. Az aktív centrum apoláros környezete elősegíti a szubsztrát kötődését, mert csökkenti a reakcióban részt vevő molekulák hidratációját. Ezzel a kémiai átalakulás lehetősége megnő.

Az inhibitorok az aktív centrumhoz kapcsolódhatnak, vagy az enzim más területeihez kötődve úgy változtatják meg annak konformációját, hogy nem lesz képes funkciója betöltésére.

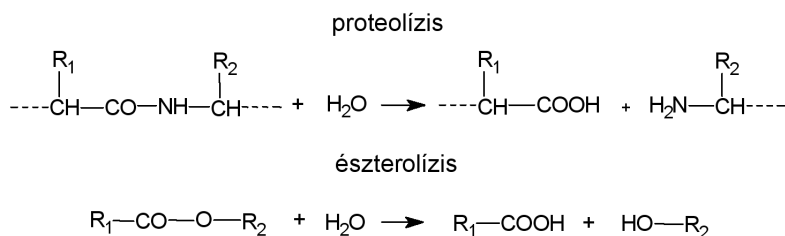
### 9.4.2. A katalízis mechanizmusa

Az enzimek aktív centrumát felépítő aminosav-oldalláncok kémiai természetéről, térbeli orientációjáról és a szubsztrát különféle csoportjaival való kapcsolódás háromdimenziós viszonyairól a kristályos enzimek struktúranalízise ad a valósághoz közelálló képet. E módszerrel egyértelműen bizonyítani lehetett, hogy a *Michaelis* és *Menten* által feltételezett átmeneti kapcsolat az *E* és *S* között – az ún. *ES* komplex – valóban létezik. Ma már nyilvánvaló, hogy a katalízis lényege az enzimben és a szubsztrátban lejátszódó intramolekuláris mozgás.

#### 9.4.2.1. A szerin-proteinázok működése

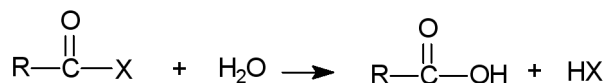
Az elmúlt években részletesen vizsgálták a peptidkötések hidrolízisét katalizáló *proteinázok* kémiai és háromdimenziós szerkezetét. A különböző *szerin-proteinázok* (amelyek működéséhez szerin-oldallánc feltétlenül szükséges) szerkezete eredetüktől és specificitásuktól függetlenül nagyon hasonló.

A *proteinázok* által katalizált reakciók egyensúlya erősen a hidrolízis irányában van eltolva, mivel a peptidkötések vizes közegben termodinamikailag instabilak. A *proteinázok* hidrolitikus reakciókat katalizálnak, peptid- és észterkötéseket hasítanak a 9.5. ábra szerint:



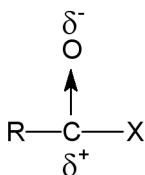
9.5. ábra. Proteolízis és észterolízis

A két reakciót általános alakban a 9.6. ábra szerint írhatjuk.



**9.6. ábra.** A proteolízis és észterolízis általános egyenlete

Ha  $\text{X} = -\text{NH}-\text{R}_2$ , akkor peptidkötés, ha  $\text{X} = -\text{O}-\text{R}_2$ , akkor észter hidrolízise történik.



A kétfajta szubsztrátban közös, hogy  $>\text{C}=\text{O}$  csoportot tartalmaznak. Az oxigén nagyobb elektronegativitása következtében a szén elektronjait maga felé vonzza, ezáltal a szén elektronsűrűsége csökken, elektrofillé válva viszonylagos pozitív töltésre tesz szert; az oxigén ezzel szemben negatív töltésű lesz, aminek következtében a szénatom érzékennyé válik a nukleofil támadásra.

Megállapították, hogy a *kimotripszin* 27 szeril-oldallánca közül csupán a Ser-195 reagál diizopropil-fluoro-foszfáttal, amelynek hatására a *kimotripszin* katalitikus aktivitása megszűnik. Feltételezhető tehát, hogy a Ser-195 közvetlen kapcsolatban áll a katalitikus funkcióval. A Ser-195 a többi szerinnél reakcióképesebb voltát a más oldalláncokkal kialakított kölcsönhatásnak köszönheti. A szelektív kémiai módosítás útján kapott adatok szerint a Ser-195 mellett a His-57 is aktívan részt vesz az enzim katalitikus funkciójának kialakításában. A további vizsgálatokból kiderült, hogy az aktív centrumban hidrogénkötés-hálózat alakul ki, amiben a Ser-195 és a His-57 oldalláncokon kívül még az Asp-102 oldallánc is részt vesz. Ez utóbbi negatív töltésű, pK-ja a hidrofób környezet következtében nagyobb, mint más karboxilcsoportoké. A három térközeleli oldallánc kölcsönhatása következtében töltésvándorlás jön létre: a negatív töltésű Asp-102 a His-57 imidazol gyűrűjének közvetítésével a Ser-195-ből protont von el, s így a szerin hidroxil-oxigénje nukleofillé válik.

Ezek a kölcsönhatások teszik lehetővé, hogy az egyébként kémiaiag inert oldallánc alkalmassá váljék a katalitikus funkcióra, és nukleofil tulajdonsága révén hatékonyan tudja támadni a peptid- vagy észterkötések C=O-csoportját. A töltésvándorlás hatékonyságát a Ser-195 másik oldalán az Asp-194 és az Ile-16 szabad NH<sub>2</sub>-csoportja is biztosítja. Az Ile-16 a *kimotripszinogénben* peptidkötésben van jelen, csak akkor szabadul fel, amikor a *kimotripszinogénről* egy kevés aminosavat tartalmazó peptid hasad le, és így a *kimotripszinogén* aktívvá válik. A peptidkötés hasítását követően az Ile-16 nagymértékben elmozdul, térközelbe kerül az Asp-194 oldallánccal, és bekapcsolódik a töltésvándorlási rendszerbe.

A katalízis mechanizmusának azonosságát biztosítja, hogy a *szerin-proteinázok* mindegyike tartalmazza a töltésvándorlási rendszer felépítésében résztvevő oldallánccokat, sőt a legtöbb proteolitikus enzimben az aktív szeril-oldallánc környezetének szekvenciája (Gly-Asp-Ser-Gly-Pro) azonos. Olyan enzimekben, amelyekben az aktív szeril-oldallánc helyett ciszteinilcsoport van, a szerkezet és a katalízis folyamata a *szerin-proteinázoknál* megismertekhez rendkívül hasonló; a különbség csak az, hogy a nukleofil atom oxigén helyett kén.

A különféle *szerin-proteinázok* különböznek a tekintetben, hogy milyen aminosav-oldallánccok melletti peptidkötéseket hasítanak legnagyobb sebességgel. Mivel a katalízis hatékonysága attól függ, hogy a szubsztrát képes-e megfelelő orientációban kötődni, a szubsztrátspecifitás a katalitikus hely közelében levő oldallánccok térbeli helyzetétől és a kötőhely háromdimenziós szerkezetétől függ. A *kimotripszin* az aromás oldallánccok karboxilcsoportja által létesített peptidkötést hasítja legnagyobb sebességgel. A *pepszin* szintén az aromás oldallánccokat részesíti előnyben, de az aminocsoport felőli kötéseket hasítja. A *tripszin* a bázikus oldallánccok, az *elasztáz* pedig csak a kisméretű aminosav-oldallánccok karboxilcsoportja mellett hasít. A kötőhely és a szubsztrátzseb szerkezete szabja meg a proteinázok specificitását. Az *elasztáz* szubsztrátzsebében nagyméretű oldallánccok helyezkednek el, ezért ide a szubsztrátnak csak kisméretű oldallánca fér be. A *kimotripszin* szubsztrátzsebe alkalmas a nagyméretű aromás szubsztrát oldallánccainak befogására. A *tripszin* ugyancsak képes a nagyméretű szubsztrát befogására, de szubsztrátzsebe egy negatív töltésű aszparaginsavat is tartalmaz, ezért a tripszin a pozitív töltésű aminosav-oldallánccok karboxilcsoportjai mellett lévő peptidkötéseket hasítja a legnagyobb sebességgel.

#### 9.4.2.2. A karboxipeptidáz működése

A karboxipeptidázok az endopeptidázokkal szemben a C-terminális aminosavakat hasítják, ezért exopeptidázoknak hívjuk őket. A karboxipeptidáz *A* a nagyméretű aromás, a *B* a bázikus terminális aminosavak alkotta peptidkötéseket hasítja legnagyobb sebességgel.

A karboxipeptidáz *A* enzim aktív alakja 307 aminosavból épül fel. A polipeptidlánc több mint fele rendezett  $\alpha$ -hélix vagy  $\beta$ -redős szerkezetű. Aktív centrumában a fehérjerészhez molekulánként egy cinkatom kötődik, ami részt vesz a katalitikus működésben. A cink a felülethez közeli mélyedésben tetraéderesen két hisztidil-, egy glutamil-oldallánccal és egy vízmolekulával van koordinációs kötésben (His-69, His-196, Glu-72). A cink közelében nagy, zsebszerű mélyedés van, aminek méretei lehetővé teszik, hogy benne a polipeptid terminális része megfelelően elhelyezkedjék és a cinkkel kapcsolatot létesítsen.

A karboxipeptidáz *A* csak olyan peptidek hidrolízisét katalizálja, amelyeknek C-terminális karboxilcsoportja szabad. Ez szükséges ahhoz, hogy az enzim Arg-145 csoportjával a konformációs változásokat megindító elektrosztatikus kölcsönhatás kialakuljon.

#### 9.4.2.3. A lizozim működése

A lizozim glikozidbontó katalitikus hatású, a baktériumok sejtfalát felépítő poliszacharidot, a mureint hidrolizálja, ami N-acetil-glükózamin (NAG) és N-acetil-muraminsav (NAM)  $\beta$ -glikozid-kötésekkel való kapcsolódása útján jön létre. Az enzim viszonylag kicsi, 129 aminosav részből áll, molekulatömege 14 600, a polipeptidláncban négy diszulfidhíd van. A fehérjemolekula tömör ellipszoid, aránylag kevés  $\alpha$ -hélixet tartalmaz. Több helyen található benne hajtúszerűen meghajlott  $\beta$ -szerkezet, több lánchrészletből antiparallel redős lemezt kialakítva. A molekula belseje csaknem teljesen apoláros.

A szubsztrát hidrolízisét akkor katalizálja kellő hatékonysággal, ha az több mint hat monoszacharidrészből áll. A hexaszacharid úgy illeszkedik az aktív centrumárokba, hogy – a cukorrészeket ABC betűkkel jelölve – a negyedik, D cukorrész csak úgy fér el az árokban, ha szék konfigurációjú szerkezete torzul, ezért és más megfontolásból a lánc hidrolízise csak a D–E cukorrész között lehetséges.

### 9.4.3. Enzimműködés és molekulaméret

Az enzimek egy része egy polipeptidláncból épül fel, nagyobb csoportjuk azonban több polipeptidláncból áll. A polipeptidláncok kapcsolódásának többféle szerkezeti és funkcionális kombinációja ismert.

A legegyszerűbb esetben azonos szerkezetű (azonos aminosav-szekvenciájú) és azonos funkciójú láncok kapcsolódhatnak egymással (homooligomerek).

Azonos funkciójú, de eltérő szerkezetű polipeptidláncokból épülnek fel az izoenzimek (heterooligomerek).

A szervezetben genetikusan determináltan többféle polipeptidlánc szintetizálódhat valamilyen funkcióra. Az eltérő molekuláris formák rendszerint különféle szervekre jellemzők. Az emlősökben pl. a májban és az izomban található *foszforiláz* szerkezetében eltér egymástól.

Enzimeknek nem fehérjével alkotott molekuláris komplexei alakulnak ki az ún. struktúrához kötött enzimek esetében. Ilyenek rendszerint a különféle membránokban fordulnak elő, ahol a fehérjék lipidekhez kapcsolódnak. Ezek az enzimek pl. a membrán iontranszportjában vagy a mitokondrium energiatranszformációjában résztvevő *ATP-ázok* vagy a *citokromok*.

Az eltérő funkciójú polipeptidláncok is alkothatnak funkcionális egységet. A *proteinkinázok* pl. katalitikus és regulációs alegységekből épülnek fel. Ha a kétfajta alegység asszociál, az enzim inaktív, ha a kétfajta alegység disszociál, a katalitikus alegység aktívvá válik.

A *laktóz-szintetáz* A és B fehérjerészből áll. A kettő együtt a laktóz szintézisét teszi lehetővé az alábbi egyenlet szerint:



A B-rész katalitikusan inaktív,  $\alpha$ -laktalbuminként ismert, az A-rész a májban és a vékonybélben fordul elő, a következő reakciókat katalizálva:



A reakciónak a különféle szövetekben előforduló glikoproteinek szénhidrát részének kialakításában van szerepe. Az enzim a fehérjéhez kötött cukorrészhez az előbbi reakció segítségével kapcsol további monoszacharidegységeket.

Bonyolultabb rendszerek az enzimkomplexek, amelyekben többféle funkciójú enzim kapcsolódik egymással, rendszerint valamilyen folyamatsor egymást követő lépéseinek katalízisére. Segítségükkel a sejtekben a katalízis nem az oldatok statisztikus törvényszerűségeinek megfelelően, hanem térbeli szervezettség folytán eredményesebben valósul meg. A nagyfokú molekuláris szervezettség következményeként az enzimek átadják egymásnak a szubsztrátot, amely úgy halad végig a rendszeren, mintha csatornán menne, amelyben csak meghatározott irányban haladhat. Ez a jelenség a channeling, aminek az anyagcsere-folyamatok szervezettségében van rendkívül fontos szerepe. Az igen bonyolult felépítésű, kb. 4 millió molekulatömegű *piruvát dehidrogenáz* komplex, amely 24 molekula *piruvát dehidrogenázt*, egy molekula 24 alegységből álló *dihidrolipoil transzacetilázt* és 12 molekula *dihidrolipoil dehidrogenázt* tartalmaz, a megfelelő koenzimokkal a piruvátot alakítja át acetil-koenzim A-vá.

A multienzimkomplexek a biológiai szupramolekuláris szervezettség első szintjét képezik. Az individuális enzimek asszociációja multienzimkomplexekké (a szervezettség folytán) nagymértékben megnöveli az egyes folyamatok hatékonyságát.

A multifunkcionális fehérjéknél (enzimek) a polipeptidlánc szakaszokra hasítása nem károsítja számottevő mértékben az enzimaktivitást; az elkülönült láncszakasz is funkcióképes, és önálló enzimként működik.

#### 9.4.4. Enzimpreparátumok

Az enzimkészítményeket mind gyakrabban használják ipari, gyógyászati és tudományos kutatási célokra. Az enzimek nagy része, az ún. lioenzimek, keletkezési helyükről vízzel viszonylag könnyen kioldhatók. Vannak azonban olyan enzimek, amelyek csak a sejtek mechanikai szétrombolása révén tehetők szabaddá, más részük viszont olyan mélyen be van ágyazva kémiai kötésekkel a sejt protoplazmájába, hogy a sejt elpusztítása során az enzimek szétbomlanak, vagyis inaktíválódnak. Az enzimek kivonható csoportját endoenzimeknek, a kivonhatatlanokat pedig dezmoenzimeknek nevezzük.

Az enzimek kioldását vízzel, híg sóoldatokkal, glicerinnel, vizes alkoholokkal vagy más oldószerekkel lehet végezni. E műveletek közben gondosan ügyelni kell az előírt hőmérsékletre és a pH-ra. Az enzimkivonatok tisztítása és töményítése vákuumban való bepárlással, vala-

mint szűréssel és centrifugálással végezhető el. Az így nyerhető, sűrített enzimkivonatokból különböző módszerekkel az enzimek reverzibilisen kicsaphatók, majd különböző kémiai tisztítási folyamatok után rendelkezésre áll a tiszta enzimkészítmény, amelyből az enzimek kristályosítása elvégezhető.

*Az enzimtartalmú kivonatok és készítmények töménységének* megítélése rendkívül fontos. Az enzimtartalmat csak közvetve tudjuk megállapítani, vagyis pontosan meghatározott körülmények között ismert töménységű *szubsztráttal reagáltatjuk az enzimet, és mérjük a szubsztrát töménységének időegységenkénti változását.* Az ily módon meghatározott enzimkoncentrációt enzimegységekben fejezzük ki, az enzimegység tehát az átalakult szubsztrátumon kívül mindig tartalmazza az átalakuláshoz tartozó időt. Az *enzimegység* tehát *az időegység alatt átalakult szubsztrátum mennyisége.* Dimenziója  $\mu\text{mol}/\text{min}$ ,  $\mu\text{mol}/\text{s}$  és  $\text{mol}/\text{s}$  is lehet. Az enzimegység-számot rendszerint a preparátum tömeg- vagy térfogategységére szokták megadni. Az enzimkészítmény egységnyi tömegére vagy egységnyi térfogatára vonatkozó aktivitás a fajlagos aktivitás, azaz enzim mennyiség/egységnyi enzimkészítmény. Minél nagyobb valamely enzim mennyiség fajlagos aktivitása, annál nagyobb a tisztasági foka, hiszen annál kevesebb idegen anyagot tartalmaz.

*Az enzimpreparátumok* felhasználásuk után nem nyerhetők vissza, ami alkalmazásukat megnehezíti. Ezt a problémát szilárd hordozón *rögzített enzimek* segítségével lehet megoldani, ugyanis a rögzített enzimek többször felhasználhatók, aktivitásukat sokáig megőrzik, és a reakcióelegytől bármikor elkülöníthetők. A enzimek rögzítése kémiai kötással, polimerekbe zárással és térhálósítással oldható meg. Enzimek hordozóhoz kötése kovalens vagy ionabszorpciós módszerrel történhet. Az enzimek térhálós hidrogének üregeibe zárva is rögzíthetők, mert aktivitásukat így is megtartják, és a gél pólusain keresztül érintkezni tudnak a szubsztrátokkal. Egyes bifunkciós reagensekkel az enzimeket oldhatatlan komplexekké lehet térhálósítani, amelyben az aktivitásukat megtartják.

A kovalens kötésekkel immobilizált enzimek pH-optimuma akár egy-két pH egységgel is eltérhet a natív változatétól, attól függően, hogy a hordozó milyen töltésű csoportokkal rendelkezik. A rögzített enzimeket szelektív analízisekben és egyes technológiai műveletekben már a gyakorlatban is alkalmazzák.

### 9.4.5. Az enzimműködés szabályozása

A folyamatok szabályozottsága a biológiai rendszerek alapvető tulajdonsága. A szabályozás a szervezet fejlettségének megfelelően különböző szinteken érvényesül; legegyszerűbb típusa a molekuláris szintű szabályozás, amely a molekulák működésének befolyásolása útján valósul meg. A *molekuláris szinten való szabályozásnak előfeltétele*, hogy

- a szabályozott fehérje szerkezete (konformációja) a szabályozóanyag hatására valamilyen módon megváltozzék,
- a szabályozóanyagok a szabályozott reakciónak nem közvetlen résztvevői, az enzimnek nem szubsztrátjai és nem koenzimjei,
- a szabályozott enzimnek legalább két extrém konformációs alakja van, amelyek közül az egyik működésképtelen, inaktív, a másik működőképes, aktív, és a szabályozóeffektus ezeknek az egyensúlyát tolja el pozitív effektor esetében az aktív, negatív effektor esetében pedig az inaktív irányba,
- a szabályozás két úton érvényesülhet: a szabályozóanyag egyrészt az enzim inaktív alakjával reagál, annak konformációját az aktív alaknak megfelelően alakítja, az enzim működését mintegy bekapcsolja, vagy a működőképes aktív enzim működését megszünteti, az enzimet kikapcsolja.

A *működés be- és kikapcsolását kiváltó konformációs változás egyik típusánál* nem szükséges a molekula eredeti kovalens szerkezetének megváltozása, elegendő, ha a szabályozó hatású anyagok lazább kölcsönhatást létesítenek az enzimmel; ez az *allosterikus szabályozás*.

A *másik típusánál* a molekula kémiai felépítése is megváltozik, meglévő kovalens kötés szűnik meg vagy új alakul ki, a szabályozás a fehérjemolekula *poszt szintetikus* kémiai módosításán keresztül biztosítja a megfelelő irányú konformációváltozást. A módosítás lehet irreverzibilis, ha a sejtben nincs olyan rendszer, amely a módosítást megelőző állapotot visszaállítsa. Ez jellemző a *profehérjék* (proenzimek, prohormonok, különféle szekretorikus fehérjék) biológiailag hatékony alakjának kialakítására. A reverzibilis poszt szintetikus módosításban ellentétesen ható enzimek vesznek részt, pl. a *proteinkinázok* foszforilálnak bizonyos fehérjéket, míg a *proteinfoszfatázok* defoszforilálják a foszforilált fehérjét.



### 9.4.5.1. Szabályozás kooperáció útján – alloszterikus enzimek

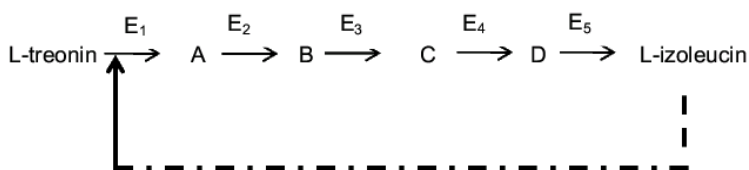
Az enzimek működését olyan anyagok is fokozzák vagy csökkentik, amelyek az enzim által katalizált reakcióval nincsenek közvetlen kapcsolatban. Az enzim működésére ható anyagok, effektorok más helyen kapcsolódnak az enzimhez, mint a szubsztrátok, ezért a hatást alloszterikus effektusnak, magyarul *más hely effektusnak* hívjuk. Ez a felfedezés két, molekuláris szintű biológiai alapjelenség:

- a több polipeptidláncból felépülő fehérjemolekulák kooperatív sajátságainak,
- a konzekutív lépésekből álló anyagcsere-folyamatokban résztvevő enzimek visszacsatolás útján történő szabályozásának

értelmezését tette lehetővé.

Az alloszterikus hatás érvényesülésének magyarázatára az ún. koncentrált (összehangolt) modellt dolgozták ki. A legegyszerűbb esetben:

- az enzim páros számú, általában két polipeptidláncból áll, amelyek egy-egy aktív centrummal rendelkeznek, így az enzim szerkezete szimmetrikus,
- az enzimnek két konformációs állapota van; az R (laza) alaknak nagy az affinitása a szubsztráthoz, míg a T (feszített) alaknak csekély az affinitása,
- mindkét alegység csak egyféle konformációban lehet jelen; az enzim szerkezete csak szimmetrikus lehet; a molekulák csak TT vagy RR állapotban lehetnek, az RT és a TR szerkezetű molekula létezése nem megengedett.
- a szubsztrát (S) a T alakhoz nem kötődhet, az R alak viszont egy vagy két szubsztrát megkötésére is képes,
- a szubsztrát távollétében az R és a T alak egyensúlyban van, amit az  $L = \frac{[T_0]}{[R_0]}$  alloszterikus egyensúlyi állandóval fejezünk ki. Inhibitor jelenléte gátolja a szubsztrát megkötése szempontjából fontos T→R átalakulást, míg az aktivátor elősegíti a laza, a szubsztrát megkötésére képes konformáció kialakulását. Az inhibitor tehát stabilizálja a rossz konformációt, aminek következtében a szubsztrát nem tud megkötődni, ezért a reakció sebessége csökken. Ezzel ellentétben aktivátor hatására a szubsztrát megkötésére kedvező konformáció alakul ki, az enzim molekulák nagyobb számban vehetnek fel szubsztrátot, s így nagyobb lesz a reakciósebesség is.



**9.7. ábra.** Az izoleucinszintézis feedback gátlása a treonin dehidratáz allosterikus inaktiválása útján

Az alloszterikus szabályozásnak az anyagcsere számos folyamatában érvényesülő esete a *feedback* (visszacsatolás) *szabályozás*. A feedback szabályozás során a folyamatsor rendszerint első lépését olyan anyag befolyásolja, amely a lépést katalizáló enzimnek se nem szubsztrátja, se nem terméke, többnyire a folyamatsor utolsó lépésében keletkező anyag. A hatás szintén lehet pozitív, serkentő vagy negatív, gátló. Jó példa erre az L-treoninból L-izoleucin szintézisét katalizáló öt enzimből álló multienzimrendszer, amelynek első enzime a *treonin dehidratáz*. Ennek működését a folyamat végterméke, az L-izoleucin erősen gátolja, jóllehet a *treonin dehidratáz* az izoleucin átalakítására nem képes. Az utolsó termék és az első enzim közötti regulációs kapcsolat a *treonin dehidratáz* számára információs visszacsatolást jelent.

A pozitív feedback a nyugvó rendszereket mozdítja ki stabilitásukból, a negatív pedig az adott állapot stabilizálása irányába hat. Az esetek egy részében az alloszterikus enzim csak egy anyag koncentrációjának változására reagál (monovalens reguláció), de ismeretesek olyan alloszterikus enzimek is, amelyek több anyagra pozitív, másokra negatív módon reagálnak (polivalens reguláció). Ebben az esetben a különféle anyagok az enzim felületén több helyen kötődhetnek meg, de némely esetben az ellentétes hatás abból származik, hogy azonos kötőhelyért két vagy több, eltérő hatású anyag verseng, és egyik a másik hatását ellensúlyozza.

#### 9.4.5.2. Szabályozás poszt szintetikus módosítás útján, a kovalens kötések irreverzibilis megszüntetése

A fehérjeszerkezet poszt szintetikus módosítására olyan esetekben van szükség, ha a szintézis során keletkező fehérje konformációja nem felel meg a funkció igényeinek. Sok fehérje szintézisét követően a funkcióképes állapot elérését valamilyen módosításnak kell megelőznie. A szek-

retorikus fehérjék nem a szintézis helyén fejtik ki hatásukat, a szintetizáló szervből elválasztódnak, és a szerkezet valamilyen más helyén funkcionálnak.

A szekretorikus fehérjék inaktív előalakban, profehérje, proenzim, prohormon formában találhatóak a jellemző szervben. Az aktív alakból való megkülönböztetés érdekében a nevük előtti pro-, vagy a nevük utáni -gén képzővel jelöljük őket (*proinzulin, tripszinogén*). Az előalakok általában inaktívak, mert háromdimenziós szerkezetük még nem tartalmazza azokat a feltételeket, amelyek az aktivitás kifejtéséhez szükségesek. Ehhez az kell, hogy az előalakban egy vagy néhány peptidkötés felhasadjon, és a működőképes alak konformációja kialakuljon. Ebből következik, hogy:

- az előalakok aktiválását proteolitikus enzimek végzik,
- a proteolitikus enzimek hatása az aktiválásban csak kisszámú, meghatározott kötés hasítására korlátozódik (*limitált proteolízis*).

A profehérjék aktiválódásának mechanizmusa több esetben analóg, a profehérjékből leszakadó bázikus peptidszakaszok felépítése hasonló.

Az inaktív, 249 aminosavból felépülő *tripszinogén* aktív enzimmé, *tripszinné* alakulásakor egy peptidkötés hasad fel a proenzim N-terminálisához közel, és hattagú peptid válik szabaddá. A hasítást a bélben keletkező *enterokináz*, de a bélben lévő aktív *tripszin* is katalizálja. Minél több *tripszin* keletkezik, annál több *tripszinogén* aktiválódására van lehetőség, a folyamat önmagát gyorsítja, *autokatalízis* játszódik le. Az *enterokináz* igen specifikus fehérje; a *tripszinogén* aktiválásán kívül egyéb funkciója nem ismert. Az aktiválódáskor lehasadó hexapeptid négy aszpartil-oldalláncot tartalmaz, erősen negatív töltésű.

Hasonló mechanizmus játszódik le a *pepszinogén* aktiválódásakor. A *pepszinogén* molekulatömege 40 ezer, az aktív pepsziné pedig csak 32 700; az aktiválódáskor 42 aminosav részből álló peptidszakasz hasad le, ami 16 pozitív töltésű, bázikus aminosav-oldalláncot tartalmaz. A visszamaradó aktív pepszinben nem marad pozitív töltésű aminosav. A *pepszinogén* neutrális közegben stabilis, izoelektromos pontja 3,8, a *pepszin* azonban csak savas közegben állandó, mivel izoelektromos pontja kb. 1,5.

Az előbbi példák szerint az előalakok egy csoportjának aktiválódása azt jelenti, hogy *limitált proteolízis* folytán elektrosztatikus akadályt kell eltávolítani az aktív konformáció kialakulása érdekében.

A *kimotripszinogén* aktiválódása több lépésben megy végbe, és több inaktív és aktív intermedier alak keletkezik, amíg a legstabilabb alak, az  $\alpha$ -*kimotripszin* kialakul. Az átalakulás folyamán négy peptidkötés hasad fel, és két dipeptid szakad ki *tripszin* és *kimotripszin* hatására. A *kimotripszinogén* aktiválódása nem jelent lényeges töltéskülönbséget a proenzim és az enzim között.

A táplálékfehérjék emésztése a bélben többféle specificitású proteínáz egyidejű közreműködésétől függ, ezért szükséges az, hogy a pankreászból a bélbe ürülő proenzimek egy időben aktiválódjanak. A *tripszinogén*, a *kimotripszinogén*, a *proelasztáz* és a *prokarboxipeptidáz* közös aktivátora a *tripszin*. Az *enterokináz* aktiváló működése eredményeként elegendő *tripszin* keletkezik ahhoz, hogy a többi proenzim aktiválódása kellő sebességgel meginduljon. A *folyamatot* tehát tulajdonképpen az *enterokináz kapcsolja be*.

#### 9.4.5.3. *Proteináz inhibitorok*

A proteinázokat termelő szövetek és sejtek rendszerint a proteolitikus működést kikapcsoló fehérjéket, *proteináz inhibitorokat* is termelnek. Az intracelluláris proteinázok a sejtekben inhibitoraikkal kapcsolt állapotban vannak feltehetően azért, hogy a sejtfehérjék szükségesnél nagyobb mérvű lebontását megakadályozzák. A *proteináz inhibitorok* 6–850 ezer közötti molekulatömegű fehérjék. Nagy részük nem csupán egy proteolitikus enzim működését gátolja, hanem alkalmasak többféle enzim inhibálására is. Működésük azon alapul, hogy a gátolt proteolitikus enzimet „csapdába ejtik”. A proteináz inhibitorok közül a legismertebbek a szója inhibitorai, amelyek közül a *Kunitz-inhibitor* a *tripszin*, a *kimotripszin*, a *plazmin*, az *elasztáz*, a *trombin* stb. működését gátolja. A szója *Bowman–Birk-inhibitora* a *tripszin* és a *kimotripszin* működését gátolja. Megfelelően alkalmazott hőkezeléssel mindkét inhibitorot inaktíválni lehet. Az állati eredetű proteináz inhibitorok közül jelentősek a marhapankreász *Kunitz-* és *Kazal-féle* tripszininhibitorai, a koloszt-rumban és a tejben található inhibitorok, amelyek a *tripszin*, a *kimotripszin* és a *plazmin* működését gátolják, valamint a tyúktojásban található ovoinhibitor, amely a *tripszin*, a *kimotripszin* és a *papain* működését gátolja. A felsoroltakon túl sok növényi és állati eredetű proteináz inhibitorot is leírtak.

A pankreász tripszininhibitor esetén a proteináz-inhibitor kölcsönhatás a következőképpen képzelhető el. A kb. 6000 molekulatö-

megű inhibitor igen szorosán kapcsolódik az enzimhez (a kötési energia  $-76$  kJ/mol standard szabadentalpiának felel meg). A proteináz-inhibitor komplex stabilitása abból adódik, hogy az *inhibitor igen hatékony szubsztrát analóg*. A pankreász tripszin inhibitorban található egy Lys-15, Ala-16 szekvenciárészlet. A Lys-15 jól beleillik a *tripszin* Asp-198-at tartalmazó szubsztrátzsebébe, így az inhibitorral kialakul az ES komplex. E kötésnek és más kölcsönhatásoknak köszönhetően az *enziminhibitor komplex „befagyasztott” állapotban marad*. A His-57 nem tud elmozdulni, hogy protont adjon át az inhibitor amid-nitrogénjének. A Lys-15 és az Ala-16 aminosav-oldalláncok közötti *peptidkötés hasad ugyan, de rendkívül kis sebességgel*. Az enzim és az inhibitor közötti kölcsönhatás nagy affinitása annak köszönhető, hogy a két fehérje között csaknem tökéletes komplementaritás van.

A proteináz inhibitorok sokoldalú szabályozószeressel bírnak. Megakadályozhatják, hogy az *intracelluláris proteinázok* a szükségesnél nagyobb mértékben bontsák le a sejtek fehérjeállományát. Védik az egyik szövetet a másikban termelt *proteolitikus enzimek* károsító hatásával szemben. A fehérvérsejtek és más szövetek lizoszómái sok *proteinázt* tartalmaznak, amelyek szerepe az, hogy a kórokozókat feloldják, de bizonyos esetekben a szöveti fehérjéket is károsíthatják. A szérum egészséges egyedekben mindig tartalmaz annyi inhibitorot, amennyi a *proteinázok* hatását közömbösítheti.

Amint már említettük, táplálkozás-élettani szempontból rendkívül fontos, hogy a pillangósokban aránylag sok proteináz inhibitor található. A babfélék fehérje-összetétele ugyan megközelíti az állati eredetű táplálék fehérjeértékét, a proteináz inhibitorok azonban megakadályozhatják, hogy a bélben működő fehérjebontó enzimek kellő mértékben feldolgozzák a fehérjéket, így sok értékes anyag elvész a szervezet számára. Ezt a jelenséget *antinutritív hatásnak* hívjuk.

#### 9.4.5.4. Szabályozás reverzibilis posztisztetikus módosítás útján

Egyes polipeptidláncok elkészülte után egy vagy több oldallánchoz kovalens kötéssel különféle csoportok kapcsolódhatnak. A posztisztetikus módosítás az esetek nagy részében kimutathatóan összefügg a fehérje funkciójával, és nem csupán enzimekre, hanem másfajta fehérjékre is jellemző. A módosítás az esetek egy részében regulációs hatást gyakorol, a fehérje működését szabályozza.

A fehérjék szerkezetét módosító reakciók közül a *foszforilálás* ismert, amelyet proteinkinázok *katalizálnak*:



A *proteinkinázok* egy része többféle fehérje foszforilálását katalizálja, de vannak közöttük specifikusak is. A *foszfát a szeril-, ritkábban a treonil-oldallánc hidroxilcsoportját észteresíti*. Regulációs tulajdonságú fehérjék foszforilálása a fehérje jellegétől függően lehet be- vagy kikapcsoló hatású. Ilyen esetben az ellentétes hatást a foszfoprotein defoszforilálása okozza, amit a *proteinfoszfátázok* katalizálnak.

Egyes enzimek, illetőleg enzimirendszerek foszforilálódásának, illetve defoszforilálódásának szabályozó hatása van a lebontó és szintetikus folyamatok egyensúlyának kialakításában.

## 9.5. Az élelmiszer-tudomány szempontjából legfontosabb enzimek

### 9.5.1. Oxidoreduktázok

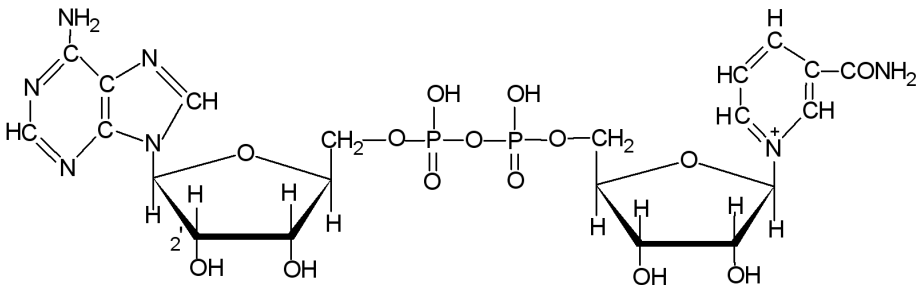
Az *oxidoreduktázok* hidrogén- vagy elektronátvitelt, esetleg oxigénbevitt katalizáló enzimek. Elsősorban az energiefel szabadító folyamatokban vesznek részt. A levegő oxigénjének részvételével lejátszódó energiatermelés az aerob anyagcsere, a levegő oxigénje nélküli pedig az anaerob anyagcsere. Bonyolult, sok közbülső lépcsőn keresztül lejátszódó folyamat, hogy az élő szervezetekben az oxidáció során az energia ne egyszerre szabaduljon fel, hanem kis adagokban. Az élőlények az oxidációt fokozott hidrogénátadással végzik, amelynek vége a hidrogén oxidációja vízzé. Ezeket a reakciókat az oxidoreduktáz enzimek katalizálják, amelyek egy része a szubsztrátról, a hidrogéndonorról hidrogént hasít le. Az enzimek a hidrogéndonort oxidálják, a hidrogénakceptort pedig, amelynek a lehasított hidrogént átadják, redukálják. Az *oxidoreduktázok* ezen képviselőit dehidrogenázoknak is nevezik. Vannak olyan enzimek is, amelyek a szubsztrátról lehasított hidrogént a molekuláris oxigénnek adják át, amely reakció során víz keletkezik. Ezeket az *oxidoreduktázokat* oxidázoknak nevezzük, és csak az aerob anyagcserét folytató élő szervezetekben fordulnak elő.

Az *oxidoreduktázok* további, kisebb csoportja a szubsztrátok oxigénfelvételét katalizálja, ezeket oxigenázoknak hívjuk. Más enzimek szintetikus folyamatokban hidrogénezést segítenek elő, ezek a hidrogenázok. A Nemzetközi Biokémiai Unió által összeállított enzimirendszerben az *oxidoreduktázok* az első osztályt képezik, ezért az enzimek kódszámának első tagja mindig 1. Az osztályon belül 17 csoportot különböztetünk meg, amelyek a hidrogéndonor kémiai felépítésében különböznek egymástól. Ezeket a csoportokat a négytagú kód 2. számjegye jelöli. A csoportokon belüli további felosztás a hidrogénakceptortól függ.

Mivel az *oxidoreduktázoknak* ismert összetételű, a hordozófehérjékhez lazán kötött kofaktoruk van, ezért kémiai összetételük alapján az alábbi alcsoportokra oszthatók fel: *piridinenzimek*, *flavinenzimek*, *heminenzimek*.

### 9.5.1.1. Piridinenzimek

A piridinenzimekben a *nikotinsavamid-adenin-dinukleotid* ( $NAD^+$ ) és a *nikotinsavamid-adenin-dinukleotid-foszfát* ( $NADP^+$ ) koenzimek fordulnak elő (9.8. ábra). Mindkettő molekulájában piridin eredetű atomcsoport van, amely közvetlenül részt vesz a redoxifolyamatokban. A  $NADP^+$  csak annyiban különbözik a  $NAD^+$ -tól, hogy benne egy foszfátgyökkel több van, a ribóz második szénatomjához kapcsolódik. Ezek az enzimek kezdik meg a több lépcsőből álló biológiai oxidációt, annak első folyamatait, a dehidrogénezést, vagyis ezek az enzimek érintkeznek közvetlenül az energiaszolgáltatásra hivatott szubsztráttal. Minden

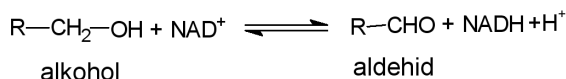


9.8. ábra. Nikotinsavamid-adenin-dinukleotid

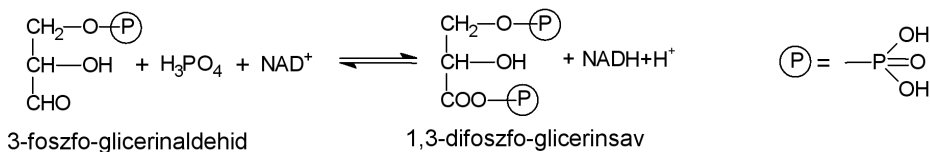
szubsztrát dehidrogénezését az illető szubsztrátra fajlagos *piridinenzim* végzi. Miután a fehérjerész kapcsolatot teremtett az oxidálandó anyaggal, a koenzim megköt két atom hidrogént.

A szubsztrát tehát a hidrogénátadás következtében oxidálódik, a *piridinenzim* koenzimje pedig reverzibilisen redukálódik. A redukált *piridinenzim* oxidációját, vagyis eredeti állapotába való visszaállítását, más dehidrogenázok végzik.

Az alkoholdehidrogenáz az első- és másodrendű alkoholok oxidációját katalizálja megfelelő alkoholokká és ketonokká, illetve elvégzi az ellentétes irányban végbemenő folyamat katalízisét is.

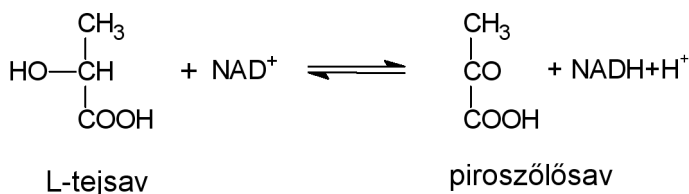


A gliceraldehid-foszfát dehidrogenáz a 3-foszfo-gliceraldehid oxidációját és foszforilálását katalizálja 1,3-difoszfo-glicerinsavvá (9.9. ábra).



**9.9. ábra.** A 3-foszfo-gliceraldehid oxidációja és foszforilálása

A tejsavdehidrogenáz a piroszőlősavból tejsav kialakítását katalizálja (9.10. ábra).

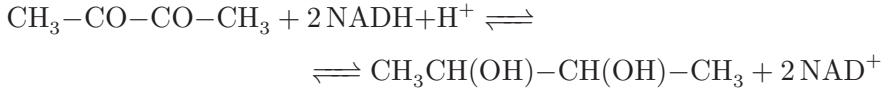


**9.10. ábra.** A tejsav átalakulása piroszőlősavvá

Az aldehiddehidrogenáz a zsírsavak aldehidekké való átalakításánál játszik szerepet. A sör erjesztésénél keletkező és ízhibát okozó diacetilt

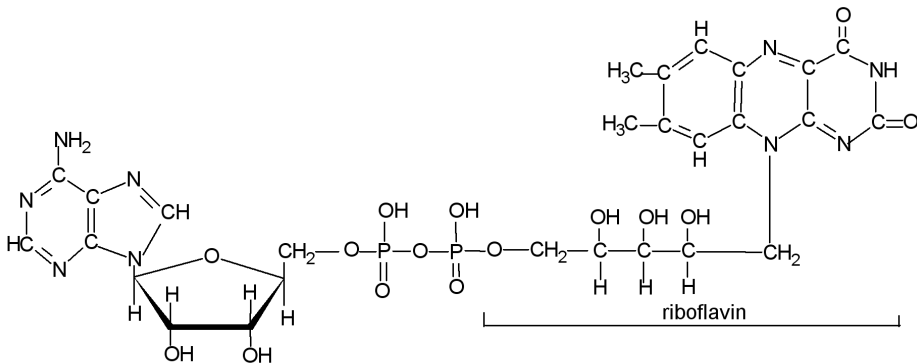


az *Aerobacter aerogenes*ből kivonható butándiol dehidrogenáz íztelen 2,3-butándiollá redukálja:



### 9.5.1.2. Flavinenzimek

A *flavinenzimek* koenzimjei flavin-mono- és dinukleotidok. A mononukleotid (FMN) valójában a riboflavinfoszfát, amelyből a riboflavin azonos a B<sub>2</sub>-vitaminnal, amely szerkezeti szempontból egy N-atomot tartalmazó hármas gyűrűnek (6,7-dimetil-izoalloxazin), valamint egy öt szénatomos cukoralkoholnak (D-ribitol) a vegyülete. A koenzimben a cukoralkohol 5. szénatomjához még egy foszforsav is kapcsolódik, tehát a kofaktor lényegében a B<sub>2</sub>-vitamin foszfátja. A flavin-dinukleotid (FAD) egy adenilsavval kapcsolódó riboflavinfoszfát (9.11. ábra).



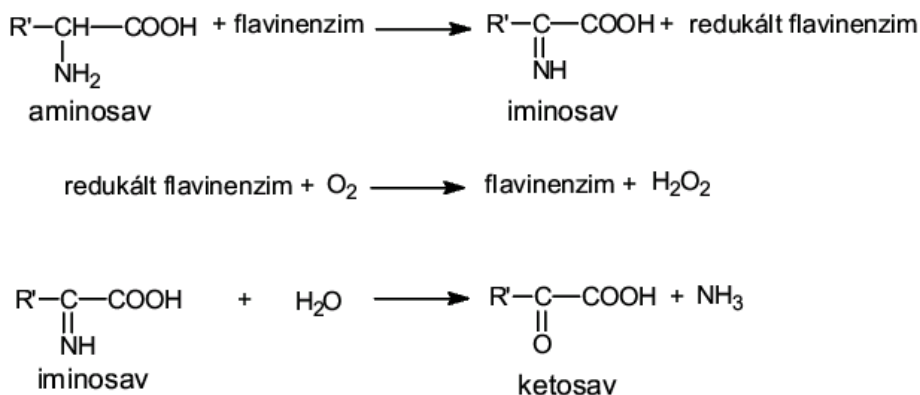
9.11. ábra. Flavin-adenin-dinukleotid (FAD)

A *flavinenzimek* rendszerint a biológiai oxidáció második lépcsőjében játszanak fontos szerepet, amikor a redukált *piridinenzimektől* átveszik a szubsztrátból származó két hidrogénatomot. A *piridinenzimeket* tehát oxidálják, miközben önmaguk redukálódnak. A *hidrogén felvételét a flavin heterogyűrűs izoalloxazinja végzi, miközben leukoflavinná alakul.* A redukált *flavinenzimek* eredeti alakjukat a biológiai oxidáció következő szakaszában nyerik vissza. A flavinenzim-sorozat egyes tagjai nem a biológiai oxidáció közbenső hidrogénközvetítői,

hanem olyan enzimek, amelyek az *anyagcserében résztvevő vegyületek közvetlen oxidációjára képesek*. Az ilyen *flavinenzimek* autooxidációval redukálódnak, ugyanis *redukált alakjuk közvetlenül oxidálódik a molekuláris oxigénnel*.

A redukált *piridinenzimeket* oxidáló, azaz dehidrogénező flavinenzimek közül a diaforázok és a citokromreduktázok a legfontosabbak. Ebbe a csoportba tartozik a flavinmononukleotid koenzim-tartalmú *sárga enzim*, valamint az élesztőben is megtalálható *citokromreduktáz*, amely enzimeknek a  $\text{NADP}^+$  a szubsztrátjuk. A *nitrátreduktázok* szintén FAD-tartalmú enzimek, amelyeket többek között az emberi bélflóra termel, és amelyek a táplálékkal felvett nitrátokat redukálják nitritekké.

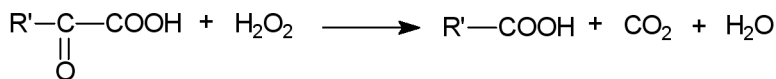
A közvetlen oxidációt végző flavinenzimek közül az aminosav oxidázok és a glükóz oxidázok a legjelentősebbek. Az *aminosav oxidázok* közvetve dezaminálják az aminosavakat, mert a reakció során keletkező iminosavakból a megfelelő ketosav keletkezik (9.12. ábra).



9.12. ábra. Az aminosavak átalakulása ketosavvá

Ezeknél az enzimeknél a molekuláris oxigén a hidrogénakceptor, ezért a reakció eredményeként hidrogén-peroxid keletkezik, ami sejtmérgező, ezért gondoskodni kell a gyors elbontásáról. Ezt a feladatot a *kataláz* enzim végzi, az ilyen enzimmel nem rendelkező szervezetekben pedig egy ketosav segítségével történik meg a  $\text{H}_2\text{O}_2$  elbontása. Egyes penészfajok *glükóz oxidáz* enzimet is tartalmaznak, amely a glükózt a levegő oxigénjével közvetlenül glükonsavvá oxidálja, miközben  $\text{H}_2\text{O}_2$  keletkezik. A jelen lévő *kataláz* a  $\text{H}_2\text{O}_2$ -t azonnal vízzé és oxigénné hasítja. A *glükóz oxidáz* enzimet technológiai szempontból kétféle célra lehet használni:

a glükóz oxidatív eltávolítására és az oxigén lekötésére. A *glükóz oxidázt* fehérjemembránban immobilizálva *glükózszelektív üvegelektrod* készíthető belőle, ami a glükóz direkt potenciometriás meghatározását teszi lehetővé.



### 9.5.1.3. Heminenzimek

Az ide tartozó *oxidoreduktázok* kofaktora a hemin (vas-porfirin komplex), amely porfirinvázból (négy, összekapcsolódott pirrolyűrű) és a váz nitrogénjeihez kapcsolódó vasatomokból áll. Szerkezete a különböző enzimekben minden esetben a protohem származéka. Az enzimkatalízis alatt a kofaktorban lévő vas oxidációs száma esetleg megváltozik, vagyis a redukált állapotú enzimekben  $\text{Fe}^{2+}$ , az oxidáltban  $\text{Fe}^{3+}$  található.

A *redukált flavinenzimek hidrogénjét* a citokrom a, b és c veszi át, amelyek következtében a *flavinenzimek* visszanyerik eredeti alakjukat. A *redukált citokromoktól ezután* a citokromoxidáz veszi át a hidrogént, és levegő jelenlétében reakcióba hozza az oxigénnel, vagyis a szubszt rátról több dehidrogenáz lépcsőn keresztül érkező hidrogén ekkor vízzel egyesül a levegő oxigénjével. A *citokromoxidáz* nagy abszolút fajlagosságú enzim, amely a citokromon kívül más redukált *dehidrogenázt* nem képes oxidálni.

A *kataláz* az állati szervezetek legelterjedtebb enzimjei közé tartozik, amely csak az anaerob mikroorganizmusokból hiányzik. Egyben egyike a leghatásosabb enzimeknek is, mert szinte robbanásszerű hevességgel *egy molekula kataláz percenként 5 millió  $\text{H}_2\text{O}_2$ -t bont le*. A *kataláz-aktivitás* vizsgálatával az élelmiszer-analitikában a tőgygyulladásos eredetű tejet lehet kimutatni. A *peroxidázok* a különböző anyagok peroxidál való oxidációját katalizálják. Főleg a növényekben és a baktériumokban fordulnak elő; működésük lehetővé teszi az oxigén jobb biológiai kihasználását, mert a hidrogén-peroxidban az oxigén, mint hidrogénakceptor, csak félig hasznosul.

#### 9.5.1.4. Oxigenázok

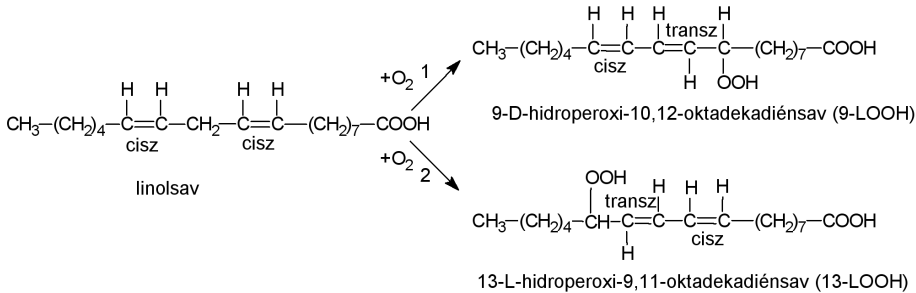
Ide olyan *oxidoreduktáz* enzimek tartoznak, amelyek *szubsztrátukba oxigén beépülését katalizálják*. Az enzimek egy része két atom oxigén bejuttatására képes, ezért ezeket *dioxidázoknak*, az egy oxigént bejuttatókat *monooxigenázoknak* vagy *hidrolázoknak* hívjuk.

A fenoloxidázok főként a növényvilágban található *oxidázok*, amelyek a légzési enzimlánc végén elhelyezkedve a szubsztrát hidrogénjeit a levegő oxigénjéhez továbbítják. Olyan, réztartalmú proteinek, amelyek különféle fenolokra fajlagosak, amelyek fontos szerepet töltenek be a hidrogén továbbításában. A *fenoloxidázok* közül élelmiszer-technológiai szempontból a *monooxigenázokhoz* tartozó  *tirozináz*, más néven polifenoloxidáz a legfontosabb. Ez az enzim idézi elő a friss vágási vagy sérülési, ütődési *felületek elsötétedését, megbarnulását a gyümölcsökön*. A *tirozináz* ekkor a polifenolokat több lépcsőben sötét színű termékekké, melaninokká oxidálja, amely folyamathoz a levegő oxigénje is szükséges. Az enzim barnulást a rendszer pH-értékének csökkentésével gátolni, sőt megállítani is lehet; a 0,5%-os citromsavoldatba vagy ecetes vízbe helyezett gyümölcs-, illetve burgonyaszletek színtelenek maradnak.

A lipoxigenázok a *dioxigenázokhoz* tartozó, olyan enzimek, amelyek számos növényben képződnek, és amelyek meghatározott telítetlen zsírsavakat monohidroperoxidokká alakítanak át. A lipoxigenázok *elsősorban a linol- és linolénsav, valamint az arachidonsav átalakítását katalizálják*, az olajsavra teljesen hatástalanok. A *lipoxigenázok* olyan fémproteinek, amelyek aktív centrumában  $Fe^{2+}$ -ionok találhatóak; ezek az aktiválódás során  $Fe^{3+}$ -ionokká alakulnak. A *lipoxigenáz I* csak a szabad zsírsavak átalakulását katalizálja, és belőlük szigorúan meghatározott cisz-transz konfigurációjú terméket hoz létre. Így pl. linolsavból a 9- vagy 13-hidroperoxid-származék képződését katalizálja (9.13. ábra). A *lipoxigenáz II* nemcsak a szabad, hanem az észterkötésben lévő zsírsavakra is hat, és a linolsavból egyidejűleg mind a 9-, mind a 13-hidroperoxidot előállítja, sőt egyéb oxidációs terméket is képez.

A *lipoxigenázoknak* számos olyan hatása van az élelmiszerek érzékszervi és táplálkozási tulajdonságaira, amelyek kedvezőek és amelyek nemkívánatosak. A kedvező hatások közül a zöltség- és gyümölcsaromák keletkezésének elősegítését kell kiemelni. A *lipoxigenázok II* változatai a zsírsavakból illó aldehideket, továbbá alkoholokat állítanak elő, amelynek során pl. jellegzetes íz- és aromaanyagok keletkeznek. A kedvezőtlen hatások közé tartozik a természetes színezőanyagok, a karotinok

és az esszenciális zsírsavak elbomlása, valamint a zsíradékok avasodásának elősegítése.



**9.13. ábra.** A linolsav oxidációja különböző eredetű lipoxigenáz I enzimekkel. 1. paradicsomból, 2. szőjababból eredő enzim

Az aszkorbinsavoxidáz olyan, réztartalmú enzim, amely az aszkorbinsavat molekuláris oxigénnel dehidro-aszkorbinsavvá alakítja, ami könnyen tovább oxidálódik hatástalan termékekké.

### 9.5.2. Transzferázok

A *transzferázok* különböző atomcsoportok, gyökök átvitelét katalizálják a szubsztrátról egy másik molekulára. Az átvitt csoport lehet foszfátgyök, szulfátgyök, metilgyök, cukorrész, aminocsoport, nukleotidrész és egyéb vegyület is. A *transzferázok* fontos szerepet töltenek be az erjedési folyamatokban, az aromaképződésben, a gyümölcsérésben és sok alapvető biológiai szintézisben. Az élelmiszer-tudomány számára a legfontosabb *transzferázok* a következők: foszfortranszferázok, glikoziltranszferázok és aminoszferázok.

#### 9.5.2.1. Foszfortranszferázok

Ezek a *transzferázok* foszfáttartalmú donorról *foszfátcsoportot* visznek át a foszfátakceptorra, amely alkohol-, karboxil- vagy nitrogéntartalmú csoporttal rendelkező vegyület lehet. A kinázok olyan *foszfortranszferázok* (*transzfoszfatázok*), amelyeknek a foszfátdonorja minden esetben az adenzin-trifoszfát. A természetben sokféle *kináz* ismeretes, amelyeknek az akceptorai különböző szénatomszámú cukrok, cukorszármazékok, glicerin, foszfoglicerinsav, kreatin, arginin és más

egyéb anyagok lehetnek. A legrégebben ismert *kinázok* a hexokinázok, amelyek mind hexózokra, mind foszfátakceptorokra képesek foszfátgyököt átvinni. A *hexokinázok* által katalizált reakciók eredményeként tehát adenozin-difoszfát és egyik hidroxilcsoportján észterezett hexóz-foszfát keletkezik. A *hexokinázok* a ketohexózok további foszforilezését is el tudják végezni. A foszfofruktokináz például katalizálja a fruktóz-6-foszfát második foszfátgyökkel való észtereződését, amelynek során fruktóz-1,6-difoszfát keletkezik. A *hexokinázok* által katalizált reakciók nem fordíthatók meg, pH-optimumuk a semleges közelében van; a magnéziumionok erős aktiváló hatást gyakorolnak a *hexokinázok* katalizálóképességére.

A foszfomutázok olyan *foszfotranszferázok*, amelyeknél *ugyanaz a molekula a foszfát donor és a foszfátakceptor is*, tehát a foszfátcsoportok átvitele a szubsztrátmolekulán belül történik. A *foszfoglükomutáz* a glükóz-1-foszfát átalakulását katalizálja glükóz-6-foszfáttá és viszont. A magnéziumionok által aktivált enzim pH optimuma 7,5–9,2. A másik ilyen enzim a *foszfogliceromutáz*, amely reverzibilisen alakítja át a 3-foszfoglicerinsavat 2-foszfoglicerinsavvá.

#### 9.5.2.2. *Glikozil transzferázok*

A glikozil transzferázok vagy transzglykozilázok glikozidkötéssel kapcsolódó atomcsoportokat visznek át egyik molekuláról a másikra. Ide tartoznak a *foszforilázok*, az összetett szénhidrátokat szintetizáló és a cikloamilózt képző enzimek is. A foszforilázok az összetett szénhidrátokat megfordítható reakcióban, foszforsav kapcsolásával bontják, más szóval foszforilezik. A *glükán foszforilázok* a keményítőt és a glikogént szervesen foszfátok jelenlétében glükóz-1-foszfáttá bontják le. A teljes lebontásban több *foszforiláz* is közreműködik, amelyek közül az  $\alpha$ -1-4-glikozidos kötéseket foszforilező *amilo foszforiláz* és az elágazási helyeknél lévő  $\alpha$ -1-6-glikozidos kötéseket bontó *amilopektin foszforiláz* a legfontosabb. Az emberi és állati szervezetben tartalék tápanyagként felhalmozott glikogént ezek a *foszforilázok* bontják le, és a keletkezett glükóz-1-foszfátból indul ki a szénhidrátok oxidációja az anyagcsere keretében. Minden olyan szervezetben, ahol keményítő vagy glikogén keletkezik, vannak *foszforilázok*, így megtalálhatók a gabonamagvakban, a burgonyában, a borsóban, a májban, az izomban és az élesztősejtekben is. Optimális pH-juk 6,0–7,0 között van.

A magasabb rendű növényekben az *összetett szénhidrátok szintézisekor* nagy szerepe van az uridin-difoszfát-glükóznak (UDP-glükóz), amely ezekben a folyamatokban a glükózdonor. Az UDP glükózt felhasználó *glükózil transzferázok* rendkívül fontosak a szénhidrátok anyagcseréjében.

A *Leuconostoc mesenteroides* baktérium szacharózoldatban fruktóz felszabadulása közben nagymolekulájú dextránt képez, amely folyamatot a dextránszacharáz enzim katalizál. A dextrán  $\alpha$ -1-6-kötésekkel kapcsolódó glükózmolekulákból áll, amely rendkívül fontos a gélkromatográfiában, ahol molekulaszűrőként alkalmazzák.

Az *Aerobacillus macerans* keményítőtartalmú táptalajon 6–7 glükózból álló, gyűrűs szerkezetű, nem redukáló dextrineket állít elő. A szintézist egy glükózil transzferáz típusú enzim katalizálja.

### 9.5.2.3. Aminotranszferázok

A transzaminálás egy L-aminosav aminocsoportjának reverzibilis átvitelle egy  $\alpha$ -ketosavra. Ezeket a reakciókat az aminotranszferázok (*transzaminázok*) katalizálják, amelyeknek koenzimje a piridoxál-foszfát (B<sub>6</sub>-vitamin). Az állati és növényi szervezetekben, valamint a mikroorganizmusokban sok L-aminosavakra specifikus *transzamináz* található, amelyeknek a fehérjeképzésben van fontos szerepük.

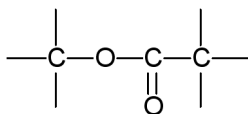
## 9.5.3. Hidrolázok

A hidrolázok olyan enzimek, amelyek *szubsztrátjuk kovalens kötéseit víz részvételével bontják*. Bár a reakciók reverzibilisek, a legtöbb *hidroláznál* az egyensúlyi helyzet annyira a hidrolízis irányába tolódik el, hogy a folyamat gyakorlatilag irreverzibilis, így a *hidrolázok* főleg a lebontási folyamatokban vesznek részt. Az élelmiszer-technológusok számára egyik legfontosabb enzimcsalád *csoportokra bontása a szubsztrátokban megtámadott kötés szerkezete alapján történik*. A 11 ilyen csoportból az élelmiszer-tudomány számára csak az első hat csoportnak van jelentősége.

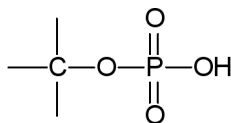
### 9.5.3.1. Észterázok

Az észterázok olyan enzimek, amelyek *a karboxil- és szervesetlen észterek vízfelvétel közben lejátszódó bomlását, tehát hidrolízisét katalizál-*

ják. A hidrolízis során az észterekből ismét szerves, illetve szervetlen savak és alkoholok keletkeznek. Az *észterázok* által a karboxil-észterekben megtámadott kötés a következő:

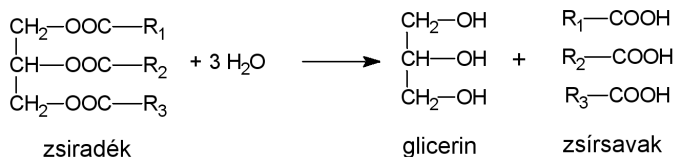


A foszfát-észterekben az *észterázok* a következő szerkezetű kötést hidrolizálják:



Az *észterázok* a kötés hidrolízisét csak egy bizonyos egyensúlyi állapot eléréseig katalizálják. Az egyensúly helye a reakció körülményeitől (pH, hőmérséklet) és a folyamatban szereplő anyagok kémiai természetétől függ.

A lipázok elsősorban a glicerinnel zsírsavakkal képzett hármas észtereit, a triacil-glicerolokat vagy a triglicerideket hidrolizálják (9.14. ábra). A zsíradékok trigliceridjeiben különböző szénatomszámú és telítettségű zsírsavak lehetnek észteresített állapotban. A *lipázok* általában relatív szubsztrátfajlagosságú enzimek, így a zsíradékok különbözősége ellenére is képesek mindegyik variáció hidrolízisét katalizálni, a lebontás sebessége azonban esetenként más és más. *Minél hosszabb és minél telítetlenebb a trigliceridben lévő zsírsav szénlánc, annál gyorsabb a hidrolízis.*



9.14. ábra. A zsíradékok lipázos hidrolízise



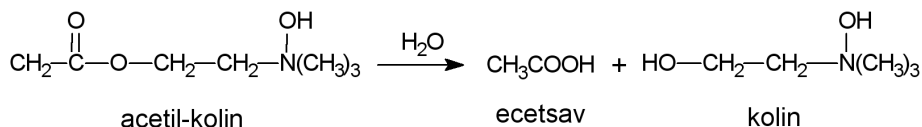
A *lipázok* fokozatosan bontják le a triglicerideket, tehát a reakció első lépésében diglicerid, majd monoglicerid keletkezik, és csak ezután válik a hidrolízis teljessé. A *lipázok* nemcsak a glicerideket, hanem az egyes és kétértékű alkoholok hosszabb-rövidebb szénláncú zsírsavakkal képzett észtereit is képesek bontani. Legfontosabb lelőhelyeik az emlősök hasnyálmirigye és mája, a ricinusmag, az olajosmagvak, a gabonamagvak, a tej, az egyes penészgombák és baktériumok. Az *izodinámiás* (különböző eredetű) *lipázok az egyes szubsztrátokat más hatékonysággal bontják*. A májban lévő *észteráz* például a rövid szénláncú zsírsavak észtereit, a hasnyálmirigy és a ricinus *lipáza* a hosszú láncú zsírsavakat tartalmazó lipideket hidrolizálja gyorsabban.

A *lipázok* annál aktívabbak, minél nagyobb az olaj és víz közötti fajlagos határfelület, vagyis minél kisebbek az emulgeált olajcseppek. A *lipázmolekula* hidrofób feje az olajcseppen megkötődik, és az enzim aktív centruma a szubsztrát észterkötésére fejt ki hatását. A *lipáz* aktív centrumában leucin-oldallánc van, amely a szubsztráttal hidrogénkapcsolatot létesít, és ezzel az aktív centrumhoz orientálja. A *lipázok általában gyengén lúgos közegben maximális aktivitásúak. Eredetüktől függően optimális pH-juk 7,0–8,8, hőmérsékleti optimumuk 30–40 °C között van*. Katalizáló hatásukat a kalciumionok fokozzák, mert ezek a felszabaduló zsírsavakat oldhatatlan kalciumsók alakjában lekötik. *Katalizáló hatásukat gyakran –30 °C-ig is megtartják*, ami a zsírtartalmú húsok és zöldségfélék hűtve tárolásakor lehet jelentős. Technológiai alkalmazásuk elsősorban a kíméletes zsírbontásnál lehetséges; sajtgyártásnál a mikroorganizmusok által termelt *lipázt* a sajtaroma fokozására lehet hasznosítani. Tejcokoládé-gyártásnál a tejszírok csekély hidrolízisével a termék tejes karakterét lehet növelni.

A foszfatidokat bontó enzimeket foszfolipázoknak nevezzük, amelyek közül az A és B jelű a *szerves észterázokhoz*, a C és D jelű a *foszfátázokhoz* tartozik. A *foszfolipáz A<sub>1</sub>* a foszfatidokról az első, rendszerint telítetlen zsírsavat hasítja le, míg a második, általában telített zsírsav leválasztását a *foszfolipáz A<sub>2</sub>* végzi. A *foszfolipáz B* az 1. és 2. helyen lévő zsírsavakat egyaránt képes lehasítani. A foszfátok zsírsavait azonban nemcsak ezek az enzimek, hanem a *lipázok* is képesek leválasztani, de ez a folyamat sokkal lassabb, mint a *foszfolipázokkal*. A *foszfolipázokkal* rokon enzimek a *glikolipid hidrolázok*, amelyek ugyancsak poláros lipideket bontanak.

Az acetyl-kolin észteráz szigorú szubsztrátfajlagossággal bontja az acetyl-kolint ecetsavra és kolinra (9.15. ábra). Az acetyl-kolin az álla-

tok és az ember idegszövetében található. Hidrolízisének fontos szerepe van az idegimpulzusok továbbításában. A növényvédelemben használatos inszekticidok jelentős hatása azon alapul, hogy megbénítja az enzim működését. Az enzim blokkolása az ember számára is veszélyt jelent, mert az acetil-kolin felhalmozódása súlyos idegkárosodást okoz.



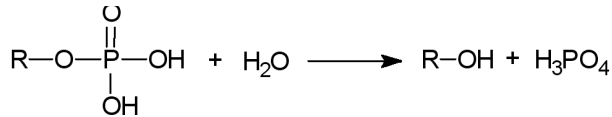
9.15. ábra. Az acetil-kolin enzimes hidrolízise

A pektin-metilészteráz abszolút szubsztrátfajlagosságú enzim. A pektint pektinsavra és metil-alkoholra bontja. A folyamat a pektinlánc redukáló végéről indul ki, és a metoxicsoportokat lépésről lépésre szünteti meg. Az átalakulást a metil-alkohol meghatározásával vagy a karboxilcsoportok analízisével lehet nyomon követni. A növényi eredetű *pektin-metilészterázok* 7,5 pH-n, a penészgombákból származók 4–5 pH-n, a baktérium által termeltek pedig 7–8 pH-n hatnak optimálisan. Valamennyi enzim hőérzékeny, rövid ideig 80 °C-ra hevítve tökéletesen inaktíválódnak. A *pektin-metilészteráz* készítményeket kis metoxiszámú, előnyösebben kocsonyásító pektinek előállítására használják.

A klorofilláz enzim a növények klorofilljának létrehozásában és elbontásában játszik szerepet. Ez az *észteráz* a klorofill porfirinvázához kapcsolódó 20 szénatomos, telítetlen alkoholt, a fitolt választja le a klorofillmolekuláról, klorofillid keletkezése közben. A *klorofilláz* minden zöld növényben megtalálható, és a fenti hasításon túl az érő gyümölcsök színének kialakításában is szerepe van. A tannáz a keserű ízanyagokhoz tartozó digallátokat hidrolizálja két galláttá.

A foszfomonoészterázok *foszfatázok* (9.16. ábra), amelyekben belül két csoportot szokás megkülönböztetni: az *alkalikus foszfatázokat*, amelyeknek pH-optimuma 9,0–10,0 között, és a *savanyú foszfatázokat*, amelyeknek pH-optimuma 2,8–6,5 között van. A *savanyú foszfatázok* megtalálhatók a burgonyában, az élesztőben, a penészekben, a májban, a vesében és a vérben, az *alkalikus foszfatázok* viszont a csontokban, a bélnyálkahártyában, a tojásban és a nyers tejben vannak nagyobb koncentrációban. A nyers tej *alkalikus foszfatáza* hőérzékeny, ezért forralás vagy pasztörözés alatt elbomlik, inaktíválódik. Ez alapján ki lehet deríteni,

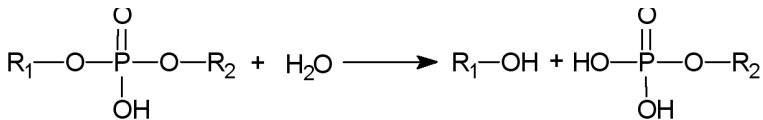
hogy a tejet jól pasztőrözték-e, illetve, hogy a pasztőrözött tejet nem keverték-e nyers tejjel.



**9.16. ábra.** A foszfomonoészterázok hatása

A fitáz enzim a fitint (az inozitfoszforsav Ca-Mg-sója) bontja. *Specifikus* savanyú foszfomonoészteráz, amely az inozit hidroxiljai és a foszforsav-molekulák által képzett észterkötés hidrolízisét katalizálja. A *fitáz* optimálisan 5,5 pH-n katalizál; szerepe a sok fitint tartalmazó magvak csírázásakor van.

A foszfodiészterázok a foszforsav kettős észtereinek hidrolízisét katalizálják alkoholra és foszforsavas monoészterre (9.17. ábra). Ilyen típusú hidrolízises folyamatok pl. a foszfolipáz által katalizált reakciók, amelynek keretében a glicerin foszforsavas észterei bomlanak el. A foszfodiészterázokhoz tartozik a ribonukleáz és a dezoxiribonukleáz is, amelyek a nukleinsavak mono- és oligonukleotidokra való hidrolízisét katalizálják.



**9.17. ábra.** A foszfodiészterázok hatása

### 9.5.3.2. Glikozidázok

A glikozidázok olyan enzimek, amelyek az *O-glikozid*, *N-glikozid* és az *S-glikozid* szerkezetű szubsztrátokat hidrolizálják. Az *O-glikozid*okat bontó enzimeket *karbohidrázoknak* vagy *O-glikozidázoknak*, az *N-glikozid*okat bontó enzimeket *nukleozidázoknak* vagy *N-glikozidázoknak*, az *S-glikozid* kötést bontó enzimet pedig *tioglikozidázoknak* vagy *S-glikozidázoknak* hívjuk. Élelmiszer-kémiai szempontból a *karbohidrázoknak* van a legnagyobb jelentőségük, amelyek az egyszerű cukrokból felépített összetett szénhidrátokat bontják. A *karbohidrázokat* szubszt-

rátjuk összetétele alapján két nagy csoportra osztjuk. Az első csoportba tartozó *oligoszacharázok* vagy *oligázok* oligoszacharidokat hidrolizálnak. Elnevezésük a szubsztrátból „-áz” képzővel történik, amely mellett görög betűvel megjelöljük a glikozidos kötés téralkatát is, mert az *oligoszacharázok* szubsztrátfajlagosságuk miatt nagyon érzékenyek az oligoszacharidoknak erre a tulajdonságára. A *karbohidrázok* másik nagy csoportja a nem cukorszerű összetett szénhidrátokat, a poliszacharidokat hidrolizálja, ezért ezeket a *karbohidrázokat poliszacharázoknak* nevezük. Az *oligoszacharázok* közül legfontosabb enzimek az  $\alpha$ -glükozidáz, a  $\beta$ -glükozidáz, az  $\alpha$ -galaktozidáz, a  $\beta$ -galaktozidáz, a  $\beta$ -fruktozidáz és az  $\alpha$ -ramnozidáz. A *poliszacharázok* legfontosabb képviselői a  $\beta$ -amiláz, az *amiloglükozidáz*, az  $\alpha$ -amiláz és az *izoamiláz*, a *celluláz* és a *pektinázok*.

Az  $\alpha$ -glükozidáz vagy maltáz az  $\alpha$  térállású *glikozidos hidroxilt tartalmazó glükóz glükozidjait hidrolizálja*, tehát ez az enzim azoknak az oligoszacharidoknak az elbontását katalizálja, amelyekben  $\alpha$ -térállású glükóz van. A legjellegzetesebb ilyen oligoszacharid a maltóz, ezért az  $\alpha$ -glükozidázt *maltáznak* is szokták nevezni. Mivel a szacharózban is van  $\alpha$ -glükozid kötés, ezért a *maltáz* a szacharóz bomlását is katalizálja. Az  $\alpha$ -glükozidáz legtöbbször a keményítőt bontó enzimek, az *amilázok* kísérője. Az *amilázok* maltózzá bontják le a keményítőt, amelyet az  $\alpha$ -glükozidáz hidrolizál tovább. A *maltáz* megtalálható a csírázó magvakban, a burgonyában, az élesztősejtekben, sok baktériumban és penészgombákban, néhány emlős nyálában, a hasnyálmirigyben, a vérben és a bélnedvekben. A különböző eredetű  $\alpha$ -glükozidázok pH-optimuma 4,5–7,2 között van, hőmérsékleti optimumuk 35 °C, savérzékenységük miatt alacsony pH-n gyorsan bomlanak. A *glükóz és a fruktóz inhibitorai* a maltáznak, mert képesek az enzimmal enzimszubsztrát komplexet létrehozni, csökkentve ezzel a katalízis aktivitását; így a kezdeti reakciósebesség a végtermékek fokozott feldúsulása és gátló hatása következtében rohamosan csökken.

A  $\beta$ -glükozidáz vagy cellobiáz a  $\beta$  térállású *glikozidos hidroxilt tartalmazó glükóz glükozidjait hidrolizálja*. Mivel az oligoszacharidok közül a cellobiáz a legfontosabb ilyen szerkezetű vegyület, a *cellobiáz* enzim elnevezése is innen ered. Az egyszerű cukroknak nem cukorszerű anyagokkal képzett glikozidjai többségükben  $\beta$ -glükozidok, így ezek hidrolízisét is a *cellobiáz* végzi. Ilyen glükozid pl. az amigdalin, a szalicin, a florizin és a vicin. A  $\beta$ -glükozidáz egyes baktériumokban, az élesztő- és penészgombatorzsekben, a malátában, az édes- és keserűmandulában,

a szilvماغban, az emlősök veséjében és májában, valamint az éticsiga emésztőszerveiben található meg. A pH-optimuma a szubsztráttól függően 4,1–6,0 között van.

Az  $\alpha$ -galaktozidáz olyan szubsztrátokat bont, amelyek végükön *nem redukáló galaktóz-maradékot tartalmaznak*. Ezek között a melibióz és a raffinóz a legfontosabbak, de az enzim bontja a galaktomannánt és a galaktolipideket is.

A  $\beta$ -galaktozidáz vagy laktáz a *galaktóznak azokat a glikozidjait hidrolizálja, melyekben a glikozidos hidroxil  $\beta$  térállású*. Legfontosabb ilyen oligoszacharid a laktóz, ezért az enzimet *laktáznak* is nevezik. A *laktázt* az élelmiszeriparban olyan termékek előállítására használják, ahol a tejcukor jelenléte nem kívánatos. Fontos szerepe van a laktózérzékeny fogyasztók számára készülő tápszerek tejpor részének laktózmentesítésében. Ezekhez a műveletekhez immobilizált *laktázkészítményeket* is eredménnyel alkalmaztak. A  $\beta$ -galaktozidáz néhány nem cukorszerű glükozid hidrolízisét is katalizálja. A *laktáz* olyan élesztőtörzsekben található, amelyek a tejcukrot erjesztik, de megtalálhatók a mandulában, a tejsavbaktériumokban és egyes penészgombákban, valamint az emlősállatok és az ember emésztőnedveiben is. Az izodinámiás *laktázok* pH-optimuma 4,2–7,0 közötti, hőfokoptimuma pedig 38 °C körül van. Az emlősállatok és az ember újszülöttjei emésztőnedveikben kiválasztanak *laktázt*, amely kiválasztás az állatoknál és eredetileg az embernél is a szoptatás befejeződése után megszűnik. A mérsékelt égöv alatt élő emberek többségénél azonban a felnőtt korban is általánossá vált tejfogyasztás következtében a tejcukoremésztés képessége az élet egész tartama alatt megmarad.

A  $\beta$ -fruktozidáz (*szacharáz, invertáz*) *azokat a glikozidokat hidrolizálja, amelyekben  $\beta$  térállású glikozidos hidroxilt tartalmazó fruktóz van*. Ilyen szerkezetű legelterjedtebb oligoszacharid a szacharóz, és mivel legtöbbször ez a cukor a  $\beta$ -fruktozidáz szubsztrátja, az enzimet szacharáznak is nevezik. Az enzim harmadik elnevezése, az invertáz név arra utal, hogy a szacharóztartalmú oldatok enzimes lebontása közben az oldat optikai forgatóképessége fokozatosan megváltozik, ellenkező irányúvá válik, azaz invertálódik. A répacukor enyhe savas hatásra is gyorsan invertcukorra hidrolizál, e művelet során azonban mindig képződnek olyan melléktermékek is, amelyek cukorvesztéssel és kellemetlen mellékízzel járnak. Ezért az *invertázkészítményeket* gyakran *előnyben részesítik az invertcukor készítésénél*. A  $\beta$ -fruktozidáz a raffinóz nevű triszacharid bomlását is katalizálja, mert benne a glükóz

és a fruktóz közötti glikozidos kötés azonos szerkezetű a répacukorban lévő kötéssel.

A  $\beta$ -fruktozidáz csak növényi sejtekben és mikroorganizmusokban keletkezik; leggazdagabb lelőhelye az élesztő, amelynek sejtjeiben nagyrészt endoenzimként van jelen. Az *élesztőinvertáz* pH-optimuma 4,5, hőmérsékleti optimuma pedig 30 °C körül van. Mivel a fruktózzal is képes komplexet létrehozni, a fruktóz a szacharáz inhibitora. A  $\beta$ -fruktozidázon kívül az  $\alpha$ -glükozidáz is képes a szacharóz hidrolízisét katalizálni. A két mechanizmus között a különbség az, hogy az  $\alpha$ -glükozidáz a szacharózmolekula glükózrészénél, a  $\beta$ -fruktozidáz pedig a cukor fruktóz felőli oldalánál támadja meg a szubsztrátot.

A *karbohidrázok* másik nagy csoportjához a poliszacharázok tartoznak, amelyek közül a keményítőbontó enzimek a legfontosabbak. Ezeket hatásmechanizmusuk alapján két fő csoportra oszthatjuk: az exoamilázok a glükózlánc végén támadnak ( $\beta$ -amiláz, *amilo-glükozidáz*), az *endoamilázok* pedig a láncmolekulák középtáján elhelyezkedő kötéseket bontják ( $\alpha$ -amiláz, *izoamiláz*). Valamennyi, előbb említett enzim a glikogént is bontja.

A  $\beta$ -amiláz az amilóz láncmolekuláinak csak a nem redukáló láncvégét tudja megtámadni, tehát azt, amelyikben nincs szabad glikozidos hidroxilcsoport. Az enzim az utolsó előtti  $\alpha$ -1-4-glikozidos kötetést hidrolizálja, amelynek eredményeként maltózmolekula szabadul fel. A  $\beta$ -amiláz ezután ismét rákapcsolódik a végcsoportra, újabb maltózmolekulát hasít le, és így az amilóz fokozatosan, de végül teljes egészében maltózmolekulákra esik szét. Ha az amilóz lánc páratlan számú glükózrészéből áll, akkor az utolsó három glükózrészlet a  $\beta$ -amiláz már nem bontja szét, és így maltotrióz keletkezik.

A  $\beta$ -amiláz az amilopektin elágazó molekulaláncainak ugyancsak a nem redukáló végeit támadja meg. Ezekből a láncvégekből is maltózmolekulákat tesz szabaddá mindaddig, amíg az  $\alpha$ -1-6-glikozidos kötések előtt néhány glükózegységgel a hasítás megáll, ugyanis ezeket az elágazási helyeket az enzim nem képes elbontani. Ez a visszamaradó rész az ún.  $\beta$ -határdextrin, amely molekulatömegében kisebb vagy nagyobb lehet, ami jellemző az egyes keményítőfajtákra. Átlagosan a határdextrinek molekulatömege 42–50%-a szokott lenni az amilopektinének. A  $\beta$ -amiláz a glikogént is megtámadja, a hidrolízis itt is a nem redukáló láncvégekről indul ki, és az elágazási helyek  $\alpha$ -1-6-kötéséig halad. A lebontás sebessége csak fele az amilopektin hidrolízisének, a gliko-

génél visszamaradó határdextrin azonban mintegy 60%-a az eredeti molekulának.

A keményítőt csak elcsirizesített állapotban lehet  $\beta$ -amilázzal elcukrosítani, mert az ép szemcséket az enzim alig támadja meg. A lebontás eredményeként a redukáló csoportok mennyisége gyorsan növekszik, a keményítőoldat viszkozitása azonban csak lassan csökken. A  $\beta$ -amiláz az élővilágban viszonylag ritka enzim, amely csak a növényi sejtekben keletkezik. Hőmérsékleti optimuma 50–55 °C, pH-optimuma 4,0–5,5 között van. Hőérzékeny, 65–70 °C-on néhány perc alatt irreverzibilisen inaktiválódik.

Az amiloglükozidáz vagy más néven glükooamiláz *exoamiláz* a glükózrészekből felépült poliszacharidok  $\alpha$ -1-4-glikozidos kötéseit bontja. A molekulaláncok nem redukáló végeiről egymás után glükózrészeket hasít le. Optimális hatását 4,6 pH-nál és 66–68 °C között fejti ki. Az *amiloglükozidáz* a nehézkes, savas keményítőlebontás helyett *enzimes glükóz-előállításra használható*. Jelentősége a kukoricából kiinduló invertcukorgyártásban betöltött fontos szerepe miatt az utóbbi időben megnövekedett.

Az  $\alpha$ -amiláz az amilóz elágazás nélküli molekulaláncát egymástól távoleső glükozidos kötéseknél egy időben több helyen támadja meg. Így a hidrolízis első pillanataiban az amilózlánc közepes molekulatömegű lánctöredékekre, dextrinekre esik szét. Ezeket a dextrineket az enzim ismét több helyen megtámadja, aminek következtében a keményítőoldat viszkozitása gyorsan csökken. A bomlástermékek molekulaméretének csökkenésével az  $\alpha$ -amiláz vonzódása a szubsztráthoz mind kisebb és kisebb lesz. Átlagosan hat glükózrészből álló rövid dextrinek, az  $\alpha$ -dextrinek képezik a polimerizációs foknak azt a határát, amely felett az  $\alpha$ -amiláz még viszonylag gyorsan katalizálja a hidrolízist, de végül is az  $\alpha$ -amiláz is teljes egészében maltózmolekulákká hidrolizálja az amilózt. A *katalízis első szakaszát* a fentiek értelmében *dextrinesítési szakasznak* hívjuk. Amikor a szubsztrát már csak főleg  $\alpha$ -dextrinekből áll, akkor *következik a cukrosítási szakasz*. A dextrinesítés csak egy-két óráig tart, az elcukrosítás tökéletes befejezéséhez viszont több napra van szükség.

Az amilopektin elágazó molekulaláncait is egy időben több helyen támadja meg az  $\alpha$ -amiláz. Ezek a megtámadott  $\alpha$ -1-4-glükozidos kötések az elágazási helyek között lévő kötések is lehetnek. Az  $\alpha$ -amiláz az amilopektin esetében is olyan glikozidos kötések bont, amelyek a láncvégektől is és az elágazási helyektől is minél messzebb vannak. Az elágazási helyek  $\alpha$ -1-6-glükozidos kötéseinek hidrolízisét az  $\alpha$ -amiláz sem

tudja katalizálni. Az amilopektin ezért fő tömegében maltózra, továbbá az elágazási helyek következtében izomaltózra és glükózra bomlik. Az  $\alpha$ -amiláz a glikogént az amilopektinhez hasonló módon, teljesen el tudja bontani, a különbség mindössze annyi, hogy a hidrolízis végtermékei között több az izomaltóz és a glükóz, mert a glikogénmolekulában több elágazási hely, több  $\alpha$ -1-6-glikozidos kötés van. Az  $\alpha$ -amiláz elsősorban az állati szervekben és a mikroorganizmusokban található. Az állati szervek közül a hasnyálmirigy, a vér, a nyál és a tojássárgája tartalmaz sok  $\alpha$ -amilázt. A növényvilágban a csírázó magvak és a burgonya tartalmaz jelentékeny mennyiségű enzimet, ezek azonban mindig a  $\beta$ -amilázzal együtt fordulnak elő. Az  $\alpha$ -amiláz savérzékeny enzim, savas közegben (pH = 3,0–3,3) néhány perc alatt irreverzibilisen elveszti aktivitását. A pH-optimumuk eredetüktől függően 5,0 és 7,0 között van.

A magasabb hőmérsékletű közeget az  $\alpha$ -amiláz jól elviseli, ugyanis még 65–70 °C-on is jelentős ideig megtartja aktivitását, sőt száraz preparátumai rövid ideig még 100 °C-on is aktívak maradnak. Aktiváló hatást a haloidionok fejtenek ki az *amilázokra*. A kloridionok erős aktiváló hatása csak az állati és a mikrobiológiai eredetű  $\alpha$ -amilázoknál jelentkezik. A *gabonaamilázok* aktivátorai közé egyes *papain* típusú fehérjebontó enzimek tartoznak. A nyugvó gabonamagvakban az  $\alpha$ -amiláz, de részben a  $\beta$ -amiláz is inhibitor fehérjékhez kötött, inaktív állapotban van. *A csírázás megindulásakor a fehérjebontó enzimek hidrolizálják az enzim és az inhibitor fehérje közötti kötéseket, aminek következtében az enzim aktív állapotba jut. Az  $\alpha$ -amiláz és a  $\beta$ -amiláz együttes működése során az  $\alpha$ -amiláz a  $\beta$ -amiláz katalizáló hatását fokozza. Ha a rendszerben a  $\beta$ -amiláz nem egyedül, hanem  $\alpha$ -amilázzal együtt fordul elő, akkor a dextrinogén-amiláz a katalízis első pillanataiban az amilopektinmolekulákat kisebb molekulájú dextrinekre bontja, ami az egész amilopektinmolekula szétesésével és új láncvégződés keletkezésével jár. A nem redukáló láncvégződéseket a jelen levő  $\beta$ -amiláz azonnal megtámadja és cukrosítani kezdi, aminek eredményeként, a két enzim együttműködése következtében, az elcsirizedett keményítő teljes egészében és rendkívül gyorsan lebomlik. A keményítő  $\alpha$ - és  $\beta$ -amilázzal való hidrolízisének eredményeként 80%-ban maltóz, kisebb koncentrációban glükóz és izomaltóz keletkezik. Az izoamiláz a természetben ritkán előforduló *endoamiláz*, az amilopektin és a glikogén elágazó glükózláncainak  $\alpha$ -1-6-kötéseit bontja.*

A cellulázok a ritka enzimek közé tartoznak, mert mindössze néhány baktérium, penészgomba, egyszéjtű véglény, rovar, valamint az éti-



csiga emésztőszervei képeznek *celluláz* enzimeket. A kérődző állatok is az emésztő rendszerükben velük szimbiózisban élő *cellulázt* termelő baktériumoknak köszönhetik, hogy meg tudják emészteni a takarmány cellulóztartalmát. A cellulózbontást olyan *celluláz* komplexum végzi, amelynek egyes tagjai fokozatosan vesznek részt a natív cellulóz lebontásában, és amelyek közül egyesek *endo-*, mások *exocellulázként* hatnak. A cellulázkomplexum a cellulózt nemcsak egyszerűen cukrosítja, hanem a lebontás közben a cellobiózon kívül kis molekulatömegű szerves savakat (hangyasav, ecetsav, vajsav) és gázokat (metán, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) is képez. A penészgombákban található *celluláz* pH-optimuma 4,7–5,9 között van. A cellulázpreparátumokat növényi anyagok feltárására és a takarmányhasznosítást elősegítő hozamfokozók előállítására használják.

A hemicellulózt a hemicellulázok bontják kisebb molekulájú szénhidrátokra, cukrokra. Optimális katalizáló hatásukat 5,0 pH körül és 40–45 °C között fejtik ki. Az inulin (a fruktozánokhoz tartozó poliszacharid) hidrolízisét az inulináz nevű enzim végzi, amelynek lebontási terméke a fruktóz. Az *inulináz* nemcsak az inulint, hanem más fruktozánokat is képes hidrolizálni. *Inulinázt* egyes baktériumok és penésztörzsek, valamint az éticsiga emésztőszervei is képeznek.

A pektin hidrolízisét a pektin metilészterázok, az endopektinázok és az exopektinázok végzik, amelyeket együttesen pektinázoknak hívunk. Az *endopektinázok* hatására a pektintartalmú oldat viszkozitása gyorsan csökken. Ennek során gyorsan elveszíti kocsonyásodóképességét, a glikozidkötések 2–3%-ának felbontása ugyanis a viszkozitás 50%-os változásával jár együtt. A kereskedelmi *endopektinázkészítményeket* a nehezen szűrhető, nyálkás gyümölcs- és zöldséglevelek tisztítására használják, mert a szöveti pektinek lebontása miatt a levet nagyobb hozammal lehet kisajtolni. A pektinbontó enzimeket a borászatban is hasznosítják, mert segítségükkel a musthozam nagyobb, a sajtolás pedig könnyebbé válik. Az *exopektinázok* vagy *exopoligalakturonázok* a pektin, illetve a pektinsav végéről galakturonsav részeket hasítanak le. Az *exopektináz-készítmények* segítségével pektinből galakturonsav állítható elő, amely a C-vitamin-szintézis kiindulási anyaga.

A lizozim olyan, globulin típusú fehérje, amely sok állati szövetben, váladékban, a tojásfehérjében, a növényi nedvekben és néhány penészgombában megtalálható. A peptidoglikánokat hidrolizálja, azaz a Gram-pozitív baktériumok sejtfalát, az ezt alkotó mureint oldja. A lizozimot a *sajtgyártásnál a csíraszám csökkentésére lehet használni*, mert vele a *Clostridiumos* puffadás veszélye mérsékelhető. A mustár- és

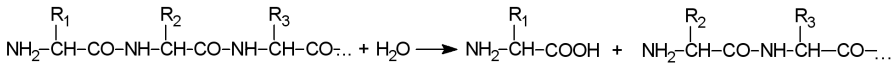
a repcemagban található glükozinolátok vagy más néven izotiocianid-glükozidok a mag felaprítása után tioglikozidáz (*mirozináz*) enzim hatására mustárolajra, glükózra és kálium-hidrogén-szulfátra hidrolizálnak.

### 9.5.3.3. *Proteázok*

A proteázok az aminosavakból felépített *fehérjéket és peptideket bontják az aminosavakat összekapcsoló peptidkötés hidrolízisével*. Hatásmechanizmusuk alapján két nagy csoportra osztjuk őket: az első csoportba tartozó peptidázok (*exopeptidázok*) az aminosavakból felépülő molekulalánc valamelyik végén lévő utolsó vagy utolsó előtti peptidkötését hidrolizálják. A dipeptidázok is az *exopeptidázok* közé tartoznak, mert ezek az enzimek a dipeptidekben lévő egyetlen peptidkötést bontják. A *proteázok* másik csoportjába tartozó *proteínázok (endopeptidázok)* az aminosavláncok belső, középső peptidkötéseinek hidrolízisét katalizálják. A peptidázok tehát *a fehérjék és a peptidek molekulaláncának végéről aminosavakat hasítanak le*, a proteínázok viszont *a szubsztrátok belső, nem terminális peptidkötéseit hidrolizálják*. A *proteázok* további felosztása egyrészt a megtámadott peptidkötés helye és összetétele, másrészt az enzim aktív centrumában lévő csoportok alapján lehetséges.

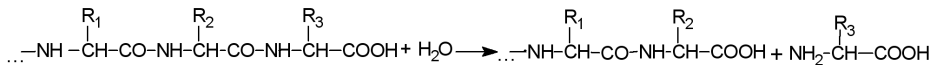
A *proteázok* két fő csoportján belül számunka a következő enzimek a legfontosabbak: az *exopeptidázok* közül az *aminopeptidázok*, a *karboxipeptidázok* és a *dipeptidázok*; az *endopeptidázok* közül a *szerinproteínázok*, a *tiolproteínázok*, a *savas proteínázok* és a *fém tartalmú proteínázok*. Mind a *peptidázoknak*, mind a *proteínázoknak* közös jellemzője, hogy csak olyan peptidek és fehérjék hidrolízisét tudják katalizálni, amelyek a természetben előforduló,  $\alpha$  helyzetű aminocsoporttal rendelkező L-aminosavakból épülnek föl. A *D konfigurációjú aminosavak peptidjeire a proteázok hatástalanok*.

Az *aminopeptidázok* általában kismolekulájú peptideket bontanak, de egyesek bontják a nagyobb peptideket, sőt a fehérjéket is (9.18. ábra). Támadási pontjuk a szubsztrát molekulaláncának szabad aminocsoporttal rendelkező végén van. Az emlősök belében, vérében, az élesztőgombákban, valamint egyes penészekben és baktériumokban található. A különböző eredetű *aminopeptidázok* pH-optimuma 7,0–9,0 között van. A *katepszin C* olyan *peptidáz*, amely ugyan a szabad aminocsoporttal rendelkező láncvégen támad, de nem az utolsó, hanem az utolsó előtti peptidkötést hidrolizálja, így a szubsztrátról nem aminosavat, hanem dipeptidet hasít le.



9.18. ábra. Az aminopeptidázok hatása

A karboxipeptidázok rövid láncú peptidek hidrolízisét katalizálják, de nagyobb molekulájú szubsztrátokra is hatásosak lehetnek (9.19. ábra). A *karboxipeptidáz A* és *B* aktív centrumában cink-, illetve kobaltiont tartalmaz, a *karboxipeptidáz C* aktív centrumában ezzel szemben szerin található. Hasonlóan *szerin peptidáz* a *katepszin A* is. A *karboxipeptidázok* támadási pontja a szubsztrát szabad karboxilcsoportot tartalmazó vége, illetve az itt található peptidkötés.

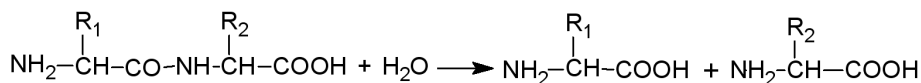


9.19. ábra. A karboxipeptidázok hatása

*Karboxipeptidázokat* termel többek között az emlősök hasnyálmirigye, amelyben keletkezésekor még inaktív állapotú *prokarboxipeptidáz* van jelen, ami az emésztőcsatornában található *tripszin* hatására aktív *karboxipeptidázzá* alakul. A pH-optimuma 7,5. Az enzimek ezen csoportjába is sorolhatók olyanok, amelyek a C-terminális végről dipeptideket hasítanak le. Ilyen *exo*peptidáz a *karboxikatepszin*.

A dipeptidázok olyan peptidkötéseket tudnak bontani, amelyek egyik oldalon szabad karboxilcsoporttal, a másik oldalon pedig szabad aminocsoporttal szomszédosak (9.20. ábra). Ez a helyzet csak akkor állhat fenn, ha a peptid dipeptid, vagyis olyan vegyület, amely két, peptidkötéssel összekapcsolt aminosavból áll. A *dipeptidázok* az élővilágban rendkívüli módon elterjedtek, az élesztősejtekben, a penészgombákban, a malátában és az emlősök emésztőrendszerében is megtalálhatók. Sok *dipeptidáz* enzimet azonosítottak, ezek közül jó néhány abszolút szubsztrátfajlagosságú. Optimális pH-juk 7,0–8,0 között van.

A szerin-proteinázok közös jellemzője, hogy aktív centrumukban szeril- és hisztidil-oldallánc található, amelyek a fehérjék bontásánál át-



9.20. ábra. A dipeptidázok hatása

meneti kapcsolatot teremtenek a szubsztrát peptidkötésével. Lúgos tartományban fejtik ki katalizáló hatásukat, pH = 7–11 között, amiért *alkalikus proteinázoknak* is nevezik őket. Az e csoportba tartozó enzimek közül legfontosabbak a tripszin, a kimotripszin és a mikroba proteinázok. Az emlősök hasnyálmirigye által termelt váladék egy tripszinogénnek nevezett inaktív proenzimet tartalmaz, amely már a semleges közegben jelen levő aktív tripszin hatására aktív fehérjebontó enzimmé, tripszinné alakul (ez a folyamat tulajdonképpen autokatalízis). A tripszinogén aktiválódása közben kis molekulatömegű hexapeptid hasad le, amely a molekula szerkezetének alapvető megváltozását okozza. A *tripszin* azoknak a fehérjéknek a további hidrolízisét végzi, amelyeket a gyomorban a *pepszin* kezd lebontani. Hatására a szubsztrátok peptidláncainak polimerizációs foka tovább csökken. Leggyorsabban azokat a peptidkötéseket bontja, amelyeknek karboxil része arginin vagy lizin. Gyengén lúgos közegben (pH = 7,8–8,0) fejt ki optimálisan katalizáló hatását.

A kimotripszin inaktív prekursora ugyancsak a hasnyálmirigy váladékában található meg. Ez a proenzim a *tripszin* hatására válik aktívvá, amelynek során a 25 ezer molekulatömegű kimotripszinogénből 24 500 molekulatömegű *kimotripszin* keletkezik. A *kimotripszin* folytatja és részben befejezi a táplálékban lévő fehérjék bontását, elsősorban azokat a peptidkötéseket támadja meg, amelyeknek a karboxil része fenil-alanin, tirozin vagy triptofán (aromás aminosavak). Hatására kisebb polipeptidok és aminosavak keletkeznek, pH-optimuma 8,0 körül van.

*Összefoglalva* a monogasztrikus állatok emésztőrendszerében zajló enzimes fehérjebontást megállapítható, hogy a peptidkötés hidrolízise a savas kémhatású gyomorban kezdődik, ahol a *pepszin* tevékenysége a meghatározó. Az emésztés a gyengén lúgos vékonybélben folytatódik, ahol a hasnyálmirigy által inaktív alakban termelt *tripszin* és *kimotripszin* tovább bontja a fehérjéket, és itt már aminosavak is keletkeznek. Az aminosavakig való hidrolízis legnagyobb része a vékonybélben

termelődő *exopeptidázok* (amino-, karboxi- és *dipeptidázok*) hatására megy végbe.

Az alkalikus mikroba proteázok közül élelmiszer-technológiai szempontból a *szubtilizin* a legfontosabb, amely hatását 7–11 pH-tartományban fejt ki. A *biológiailag aktív mosószerek fontos alkotórésze*. Az enzim nem szubsztrátfajlagos, majdnem minden fehérjét lebont. Az *alkalikus penészproteázok a baktérium-proteázoknál* kevésbé hőstabilak, és 60 °C felett gyorsan inaktíválódnak, ami alkalmazásukat erősen korlátozza. A tiolproteinázok vagy más néven *SH-proteinázok* aktív centrumában cisztein-oldallánc van, amely a katalízis során a szubsztráttal átmenetileg tioésztert képez. Katalizáló hatásukat 4,5–10,0 pH-tartományban fejtik ki, optimumuk pH = 6,0–7,5 között van. A relatív szubsztrátfajlagosságú *tiolproteázok* közül számunkra a növényi eredetű *papain-endopeptidáz* a legfontosabb. Mivel a többi növényben lévő fehérjebontó enzim tulajdonságai hasonlítanak a *papainéhoz*, ezért a növényi eredetű proteinázokat *papain* típusú enzimeknek nevezik. A papain és rokon enzimjei a növényi eredetű fehérjéket bontják. Jellegzetes tiolenzimek, amelyek glutationnal, ciszteinnel és kén-hidrogénnel aktiválhatók, oxidálószerekkel viszont gátolhatók. Gyengén savas közegben, eredetüktől függően 5,0–6,5 pH között fejtik ki optimális katalizáló hatásukat. Egyes növényi eredetű *proteázok* felhasználhatók a húsok érésének gyorsítására, a hús puhítására, a húsok érlelése közben ugyanis olyan proteolitikus folyamatok zajlanak le, amelynek következtében a szívós, rágós hús megpuhul és az íze is javul.

A savas proteínázok vagy karboxil proteínázok aktív centrumában két karboxilcsoport van, amelyek közül az egyik disszociált, a másik disszociálatlan formában van. Katalizáló hatásukat a 2,0–7,0 pH-tartományban fejtik ki, igen különböző optimumértékek mellett. *Nem szubsztrátspecifikusak, a legtöbb fehérjét bontják. A karboxil proteínázok* közül élelmiszer-tudományi szempontból a *pepszin* és a *kimozin*, valamint a *mikrobiális eredetű proteínázok* fontosak. Az emlősök tápláléka fehérjetartalmának emésztése a gyomorban kezdődik meg. A gyomor falában inaktív alakban termelődő pepszinogén a gyomorba jutva az erősen savanyú közeg hatására aktív pepszinné alakul. A pepszinogén aktiválódása során összesen hat peptid hasad le, amelyek a *pepszin* aktív csoportjához kötődve megakadályozzák a katalizáló hatást. Ezen peptidek együttes molekulatömege 7500. A pepszin *a természetben előforduló csaknem minden fehérjét képes rendkívül erélyesen és gyorsan lebontani*. Kivételt képeznek ez alól az állati szervezetekben

vázanyag szerepét betöltő, hálózatos szerkezetű szkleroproteinek (pl. hajkeratin), továbbá az elasztin és a nyers kollagén. A pepszines fehérjebontás eredményeként először nagy- és közepes molekulájú polipeptidek, majd néhány aminosavból álló peptidek és végül aminosavak keletkeznek. A táplálékban lévő fehérjék pepszines hidrolízise azonban nem jut el az aminosavakig való lebontásig; a félig megemésztett táplálék az emésztőcsatorna későbbi részében más *proteázok* hatására bontódik le aminosavakig. A *pepszin* 1,5–2,2 pH-érték között működik optimálisan, semleges vagy lúgos közegben irreverzibilisen hatástalanná válik. Hőérzékeny, 50 °C felett inaktiválódik. *Katalizálóképessége olyan peptidkötések lebontására a leggyorsabb, amelyek szabad karboxilcsoportot és aromás oldalláncot tartalmazó aminosavakkal szomszédosak.*

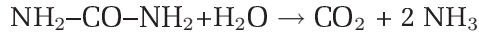
A kimozin (rennin, oltóenzim) olyan *endopeptidáz*, amely a fiatal, még szopós emlősök gyomrában található. Ez az enzim is inaktív alakban jön létre, amely 4,5 pH körül alakul át aktív *kimozinná*. A kimozin *elsősorban a tej kazeinjének hidrolízisét katalizálja*, amelynek eredményeként a kolloidálisan oldott kazein kalciumsójából 8000 molekulatömegű, oldható glükopeptid és kalcium-parakazein keletkezik. A *kimozin* optimális pH-ja 6–7 között van, 9 pH-ig nem inaktiválódik irreverzibilisen. Fontos alkalmazási területe a tejipar, ahol a tej alvasztására (édes alvasztás), a túró és a kazein előállítására a savas kezeléssel együtt is használják.

Az *exopeptidázok* között is vannak fémtartalmú *proteinázok*, amelyek katalizáló hatásukat 6–9 pH-tartományban fejtik ki, ezért *neutrális proteinázoknak* is hívják őket. Szubsztrátfajlagosságuk csekély. Aktív centrumukban cink-, kalcium- vagy magnéziumion található. A *neutrális baktériumproteázok* cinktartalmú enzimek. Az állati szervezetekben nemcsak az emésztőcsatornában, hanem a sejtekben és a szövetekben is találhatóak fehérjebontó enzimek, melyek nem egységesegek, hanem különböző tulajdonságú *endopeptidázok* keverékei. Ezeket a *proteázokat* közös néven *katepszineknek* hívják. A *katepszinek* az állat elpusztulása után gyorsan aktiválódnak, és a hús érlelésében, illetve a szervezet elbomlásában vesznek részt. Optimális pH-juk gyengén savas, 4,0–5,0 között van.

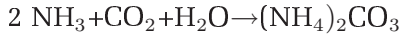
#### 9.5.3.4. Amidázok és amidinázok

A *hidrolázok* e csoportjába azok az enzimek tartoznak, amelyek egyes savamidokban, amidinekben és nitrilekben a szénatomok és nitrogénatomok közötti kötések hidrolízisét katalizálják. Az e csoportba

tartozó enzimek tehát a *peptidkötés kivételével minden C–N közti kötést hidrolizálnak*. A legismertebb amidáz az ureáz, amely a karbamid ammóniává és szén-dioxiddá való bontását katalizálja.



Az ureáz fontos szerepet játszik a természet nitrogénkörforgásában, az állatok ugyanis vizeletükkel karbamidot választanak ki, amelyet a talajban lévő baktériumok ureáz enzimükkel elbontanak, és a keletkező  $\text{CO}_2$ , valamint  $\text{NH}_3$  vízzel ammónium-karbonáttá egyesül.



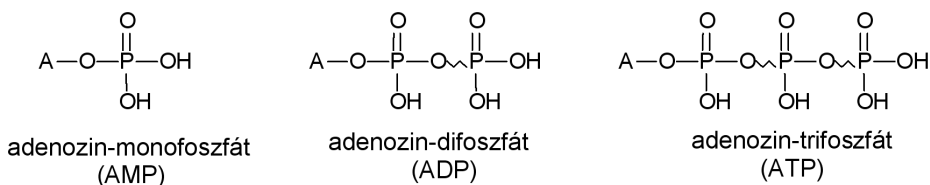
Az ammónium-karbonátot a talaj nitrifikálóbaktériumai nitrátokká oxidálják, amelyet a növények fehérjévé képesek átalakítani. Ezeket a növényi fehérjéket az állatok megeszik, és a fölösleges nitrogént karbamid alakjában kiválasztják, amivel a kör bezárul, és a nitrogén körfolyamata előlről kezdődik. Ureáz néhány hüvelyes növényben is előfordul, ezért pl. a szójakészítmények hőkezeltségét az *ureázaktivitás* mérésével ellenőrizni lehet. Az ureáz, melynek molekulatömege 480 ezer dalton, *abszolút szubsztrátfajlagosságú tiolenzim*, amely csak a karbamid bomlását tudja katalizálni, optimálisan 6,4–7,6 pH között.

Az aminosav dezaminázok és dezamidinázok egyes bázikus aminosavak nitrogéntartalmú csoportjainak hidrolízises leválását katalizálják. Ilyen enzimek az aszparagináz, a glutamináz és az argináz. Az *aszparagináz* az aszparaginról víz segítségével ammóniát hasít le, miközben aszparaginsav, a *glutamináz* pedig a glutaminról hasít le ammóniát, miközben glutaminsav keletkezik. A májban előforduló *argináz (amidináz)* az arginint hasítja víz segítségével ornitinné és karbamiddá. Ezek az enzimek a mikroorganizmusokban és a növényi szervezetekben is megtalálhatók. A *hidrolázok* e csoportjába még sok élelmiszer-tudományi és biokémiai jelentőségű enzim tartozik. Közülük néhányat a katalizált reakcióval együtt az alábbi összeállítás tartalmaz:

- *nikotinamidáz*:    nikotinsavamid +  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$  nikotinsav +  $\text{NH}_3$ ,
- *citrullináz*:        citrullin + 2  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$  ornitin +  $\text{CO}_2$  +  $\text{NH}_3$ ,
- *pantotenáz*:        pantoténsav +  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$  pantoinsav +  $\beta$ -alanin,
- *kreatinináz*:       kreatinin +  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$  kreatin,
- *nitriláz*:            nitril +  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$  karboxilsav +  $\text{NH}_3$ ,
- *riboflavináz*:      riboflavin +  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$  ribitol + lumikróm,
- *tiamináz*:            tiamin +  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$  pirimidin rész + tiazol rész.

### 9.5.3.5. Savanhidrid-hidrolázok

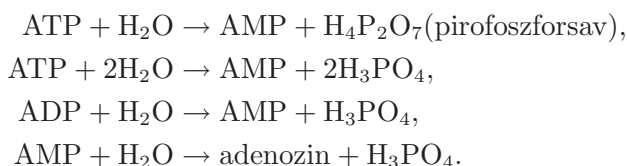
Az enzimek ezen csoportjába olyanok tartoznak, amelyek szervesen savmaradékokat hasítanak le a szubsztrátról. Egyik alcsoportjukat a nukleozidok foszfátjait bontó enzimek, a másik alcsoportjukat az adenil-szulfátokat bontó enzimek alkotják. Legnagyobb jelentőségük az adenozin foszfátjait bontó enzimeknek van. Az adenozin a ribofuranóz és az adenin glikozidja. A glikozidban lévő ribóz ötödik szénatomjának primer alkoholos csoportjához észterkötéssel foszforsav kapcsolódhat, amelynek során adenozin-monofoszfát (AMP) keletkezik. Ehhez a foszforsavhoz pirofoszfátként egy vagy két foszforsavmolekula csatlakozhat, amikor adenozin-difoszfát (ADP), illetve adenozin-trifoszfát (ATP) jön létre (9.21. ábra).



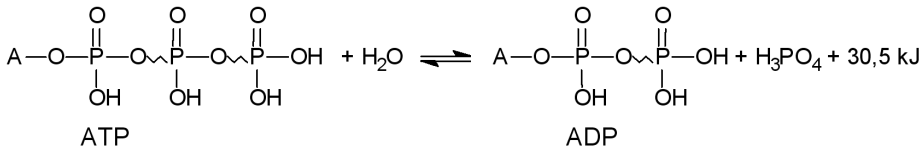
9.21. ábra. Az adenozin foszfátjai

1 gramm-molekula energiadús foszfátkötés létrejöttéhez standard körülmények között 30,5 kJ szükséges, amely energia e kötések hidrolízisekor szabaddá válik, vagy más kötések kialakulásához használódik fel. (Ha a körülmények a standard viszonyoktól eltérőek, a kötött energia mennyisége is módosulhat.) Több olyan enzimet ismerünk, amely az adenozinban lévő foszforsav-anhidrideket hidrolizálja, illetve felépíti. Legfontosabb ezek közül az *adenozin-trifoszfátáz*, amelynek hatására adenozin-trifoszfátból adenozin-difoszfát lesz, és egyidejűleg ortofoszforsav szabadul fel (9.22. ábra).

Az *adenozin-trifoszfátáz*on kívül egyéb *foszfátázok* is bontják az adenozin foszfátjait az alábbiak szerint:







**9.22. ábra.** Az adenozin-trifoszfátáz hatása

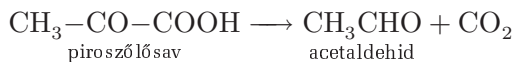
Az *adenozin-trifoszfátáz* csaknem minden élő szervezetben megtalálható; kalciumion növeli, magnéziumion csökkenti aktivitását.

### 9.5.4. Liázok

A liázok a C–C, a C–O és a C–N, valamint egyéb kötéseket bontanak nem hidrolízissel és nem redoxfolyamattal. A reakciótermékek egyike mindig kettős kötést tartalmaz. Ellenkező irányú katalízis esetén telítetlen szubsztrátokba építenek be atomcsoportokat. Segítségükkel biológiailag aktív vegyületek alakulnak ki, és szerepük van az intermedier anyagcserében is.

#### 9.5.4.1. C–C liázok

A C–C liázok közé tartoznak a dekarboxilázok, az aldolázok, az oxosav-liázok és az egyéb C–C-liázok. Élelmiszer-tudományi jelentőségük közülük a *dekarboxilázoknak* és az *aldolázoknak* van. A dekarboxilázok közül a legismertebb a *piroszőlősav-dekarboxiláz*, amely a következő reakciót katalizálja:



A piroszőlősav-dekarboxiláz élesztőgombákban és növényekben található; az alkoholos erjedésben és egyes élelmiszer-aromák kialakításában van fontos szerepe. Az élelmiszer-aromák az acetaldehid-molekulák acetoinná kapcsolódása, majd diacetillé és butilénlglikollá alakulása révén jönnek létre, amelyek sok élelmiszer aromájának jellegzetes komponensei. Az enzim működéséhez magnéziumionra van szükség, koenzimje a tiamin pirofoszforsavas észtere. Az egyes mikroorganizmusban található *dekarboxilázok* nagy fajlagossággal bontanak különböző

aminosavakat. Az aminosav-dekarboxilázok élelmiszer-technológiai és táplálkozás-élettani jelentősége az, hogy a nyersanyagokkal bejutva az élelmiszerbe az aminosavakból biogén aminokat hoznak létre. Szerepük van a fehérjetartalmú élelmiszerek bakteriális romlásánál is. Az *aminosav-dekarboxilázok* koenzimje a piridoxál-5-foszfát, azaz a B<sub>6</sub>-vitamin.

Az aldoláz enzim az alkoholos erjedésben játszik szerepet, és a fruktóz-difoszfátot bontja gliceraldehid-foszfáttá és dihidroxi-aceton-foszfáttá.

#### 9.5.4.2. C–O liázok

A C–O liázok közé tartoznak a dehidratázok, a poliszacharid-liázok és az egyéb C–O liázok, amelyek közül az első kettőnek, ezen belül is a pektint bontó enzimeknek van élelmiszer-technológiai jelentősége. A hidrolizázok vagy vizet szakítanak ki kettős kötés kialakításával a szubsztrátból (dehidratázok), vagy telítetlen vegyületekbe vízmolekulát építenek be (hidratázok). Legjelentősebb képviselőjük az enoláz, amely a 2-foszfo-glicerinsavból vizet von el, foszfo-enol-piroszőlősav keletkezése közben. A dehidratálásnak az alkoholos és egyéb erjedési folyamatokban van fontos szerepe.

A pektin-liázok a pektin és a pektinsav liázos bontását végzik víz kémiai közreműködése nélkül, belső átrendeződéssel, ún. transzeliminációval. Ez a depolimerizációs folyamat a kialakuló új láncvégzések egyikén kettős kötést hoz létre. Az egyes *pektin-liázok* szubsztrátuk szerkezetében és a támadás helyében (endo-, illetve exoenzimek) különböznek egymástól. A *pektin-liázokat* kizárólag mikroorganizmusok termelik. Az enzimek kalciumionnal aktiválhatók, optimális pH-juk 8,5–9,5 között van.

Az egyéb liázok közé tartozik az alliin liáz vagy más néven alliináz, amely a vöröshagyma és a fokhagyma felaprításánál érintkezésbe kerül az eredetileg sejtekbe zárt S-allil-L-cisztein-szulfoxidokkal, amelynek során könnyeztető hatású propántial-S-oxidot hoz létre. A *C–S liázokhoz* tartozó *alliináz* koenzimje a piridoxál-foszfát, vagyis a B<sub>6</sub>-vitamin.

#### 9.5.5. Izomerázok

Az izomerázok a szubsztrátmolekulán belül szerkezetváltozást katalizálnak anélkül, hogy ezalatt a szubsztrát összetétele megváltozna.

Az izomerizáció típusa alapján vannak racemázok és epimerázok, cisz-transz izomerázok, intramolekuláris oxidoreduktázok, intramolekuláris transzferázok, intramolekuláris liázok és egyéb liázok. Az előbbi enzimek az átalakított vagy átvitt csoportok kémiai jellegében, illetve a szubsztrát összetételében különböznek egymástól. Közülük élelmiszer-technológiai szempontból a *cukor izomerázoknak* van legnagyobb jelentőségük.

#### 9.5.5.1. Cukor izomerázok

A cukor izomerázok szubsztrátjuk aldóz-ketóz átalakulását katalizálják. A glükóz izomeráz a glükóz fruktózzá alakulását katalizálja, amely enzimet xilóz izomeráznak is hívják azért, mert az enzim a xilózt nagyobb aktivitással izomerizálja, mint a glükózt. A *xilóz izomeráz* semleges és gyengén alkalikus közegben, 7,8–8,2 pH-tartományban, 30–65 °C-on a glükózt jelentős mértékben fruktózzá alakítja, amelynek során 40-45% fruktóztartalmat lehet elérni. A glükóz enzimes izomerizálását az izocukorszörp előállításának elterjedése, valamint a fruktóz iránti kereslet megnövekedése állította előtérbe. A jobb hatásfok miatt az ipari műveleteknél hordozóhoz rögzített *glükóz izomerázt* használnak, amit enzimreaktorokban helyeznek el.

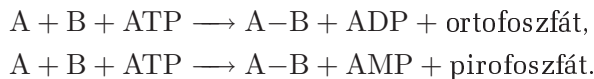
A glükózfoszfát izomeráz a glükóz-6-foszfát fruktóz-6-foszfáttá való átrendeződését végzi. E folyamat során az aldohexóz ketohexózzá alakul anélkül, hogy a foszfátgyök eredeti helyét megváltoztatná. A triózfoszfát izomeráz a dihidrox-aceton-foszfát glicerinaldehid-foszfáttá alakulását katalizálja. A legaktívabb enzimek közé tartozó *trióz-foszfát-izomeráz* az egyetlen ketotrióz molekuláris átrendeződését segíti elő aldotriózzá és viszont. A két ismertetett *cukor-izomeráznak* az erjedési folyamatokban van fontos szerepük.

#### 9.5.5.2. Egyéb izomerázok

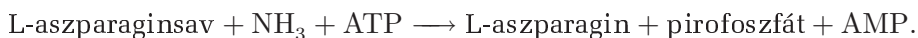
Az egyéb izomerázok közül a hidroperoxid-izomeráz az intramolekuláris oxidoreduktázokhoz tartozik, és a lipooxygenázok által létrehozott zsírsav-hidroperoxidok átalakítását végzi, így pl. a 13-hidroperoxi-9,11-linolátot 12-oxo-13-hidroxi-9-oleáttá alakítja át.

### 9.5.6. Ligázok (szintetázok)

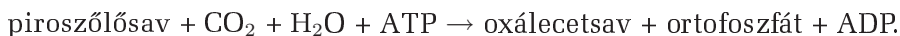
A ligázok két molekula kapcsolódását katalizálják, miközben energiaforrásként az adenzin-trifoszfát vagy más nukleozid-trifoszfátok pirofoszfát kötéseiben lévő energiát használják fel. Egy  $A + B$  folyamatra a következő reakcióegyenletek írhatók fel:



A ligázok az élő sejtekben lejátszódó anyagcsere kulcsenzimjei, amelyek minden, energiát igénylő szintézis katalízisében részt vesznek. A ligázok csoportokra osztása a létesített kötéstípus alapján történik, eszerint lehetnek: C–O kötést létesítő, C–S kötést létesítő, C–N kötést létesítő, C–C kötést létesítő és foszfátésztereket létesítő enzimek. A ligázok nagy részénél általánosan használatos a szintetáz elnevezés is, amelyet a reakciótermék nevéhez kapcsolnak. Az aszparagin szintetáz enzim a következő reakciót katalizálja:



A  $\text{CO}_2$  megkötését katalizáló ligázokat karboxilázoknak hívják, közülük a piroszőlősav-karboxiláz oxálecetsavat hoz létre az alábbi reakció során:



A ligázokon kívül egyes liázok és transzferázok is katalizálnak molekula-összekapcsolódást. Ezeket az enzimeket szintetázoknak hívjuk. Az általuk katalizált folyamatok nem járnak együtt a ligázokra jellemző energetikai átalakulásokkal.

## 9.6. Az enzimek kimutatása és meghatározása

Az élelmiszerekben előforduló enzimek mennyiségét a katalizált reakció kezdeti sebességéből vagy a szubsztrát átalakulásának felezési idejéből számíthatjuk. Az enzimreakció meghatározott szubsztrátkoncentrációra, hőmérsékletre, pH-ra és kofaktorok, ionok, védőanyagok jelenlétére vonatkozik, ugyanis ezen tényezők az enzimreakciók sebességét jelentős mértékben megváltoztathatják. Az enzimaktivitás mérésénél

mindig telítési szubsztrátkoncentrációt alkalmazunk, mert ennél a reakciósebesség viszonylag hosszú időn keresztül állandó, mivel a nagy szubsztrátfelesleg miatt a kiindulási anyag koncentrációja sokáig a telítési értéken marad. A szabályozott hőmérséklet azért rendkívül fontos, mert 1 °C eltérés 10%-os sebességváltozást is okozhat. Az optimális pH a különböző enzimeknél változó, és különösen azoknál kell ennek biztosítására törekedni, amelyeknek pH-optimuma éles csúcsot mutat. Nem közömbös az alkalmazott puffer sem, mert néhány enzimnél a puffert alkotó ionok (foszfát-, acetátionok) speciális hatást mutathatnak. Nagyon sok enzim igényel kofaktorokat, ionokat és védőanyagokat, amely utóbbiakra különösen a SH-enzimeknek (merkaptó-etanol, EDTA) van szükségük. Szükséges tudnunk azt is, hogy a vizsgált enzim környezete nem tartalmaz-e olyan enzimeket vagy más vegyületeket, amelyek az enzimreakció sebességét csökkentik.

Az enzim aktivitását katalban fejezzük ki, amely az egy másodperc alatt átalakult mólok számát jelenti. A meghatározást követően az enzim mennyiségét a mérési adatokból közvetlenül számítható térfogat-aktivitásban adjuk meg, amit átszámíthatunk a vizsgált anyag vagy enzimkészítmény fehérje-, illetve szárazanyag-tartalmára. A következőkben (elsősorban a mérés elvét hangsúlyozva) néhány enzim aktivitásának mérését írjuk le, nem foglalkozva a pontos receptúrával, hisz az enzim-meghatározáshoz szükséges reagenskészleteket előállító cégek azt mellékelik a készítményekhez.

### 9.6.1. Az alanin aminotranszferáz (ALT) aktivitásának meghatározása

Az *alanin aminotranszferáz* enzim a májsejtek citoszoljában található legnagyobb mennyiségben, de kis mennyiségben előfordul a vörösvértestekben, továbbá a váz- és szívizomzatban is. Az enzim mérésének alapja az, hogy a ALT az  $\alpha$ -keto-glutársavat L-glutaminsavvá alakítja át, miközben az L-alanin piroszőlősavvá alakul át. A piroszőlősavból *tejsavdehidrogenáz* hatására tejsav képződik, amelynek során a  $\text{NADH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NAD}^+$ -dá alakul egy kapcsolt enzimreakcióban. Ennek segítségével az ALT-enzimaktivitása spektrofotometriásan mérhető. A spektrofotometriás nyomon követés lényege az, hogy a  $\text{NAD}^+$  koenzimben lévő aromás gyűrű hidrogén felvételével átalakul, más kötésrendszer alakul ki, ami megváltoztatja a molekula fényelnyelő tulajdonságát. A két forma fényelnyelése között 340 nm-en van a legnagyobb

különbség, amikor is a redukált alak, a  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , jelentős mértékben elnyeli a fényt, míg az oxidált alak, a  $\text{NAD}^+$ , nem mutat fényelnyelést ezen a hullámhosszon. 340 nm-en való mérésrel tehát mindazon enzimátalakulásokat követni lehet, amelyekben  $\text{NAD}^+$  koenzim vesz részt. Amennyiben a reakcióban  $\text{NADH} + \text{H}^+$  keletkezik, akkor a 340 nm-en mért extinkció (E) csökkeni fog. (A  $\text{NADH} + \text{H}^+$  millimoláris extinkciós koefficiense 340 nm-en:  $\varepsilon = 6,22 \text{ cm}^2/\mu\text{mol}$ .) E szerint 1  $\mu\text{M}$  koncentrációjú  $\text{NADH} + \text{H}^+$ -oldat extinkciója 340 nm-en 6,22, amely anyagi minőségi állandó ismeretében a mért extinkcióváltozást átszámíthatjuk a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  mennyiségének változására, mivel a  $\text{NAD}^+$  koenzim sztöchiometrikus mennyiségben reagál a szubsztráttal, a  $\text{NAD}^+$  mennyiségének változása tehát a szubsztrát mennyiségének változását is jelenti.

Ezzel az úgynevezett *Warburg-féle* teszttel olyan enzimreakciók is tanulmányozhatók, amelyekben közvetlenül nem játszódik le  $\text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+$  átalakulás, de a reakció egyik terméke további enzimreakcióban  $\text{NAD}^+$  koenzimmel lép reakcióba enzimek és szubsztrátok hozzáadását követően. Ennek során a  $\text{NAD}^+$  és a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  koncentrációjának változása jelzi az elsődleges enzimreakcióban végbe menő változásokat.

### 9.6.2. Az aszparaginsav transzamináz (AST) aktivitásának meghatározása

Az AST hatására az  $\alpha$ -keto-glutársav L-glutaminsavvá alakul, miközben végbemegy az L-aszparaginsav  $\rightarrow$  oxálecetsav átalakulás. Az oxálecetsavból a *malát dehidrogenáz* hatására almasav képződik, amelynek során az AST-enzimaktivitása a  $\text{NADH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NAD}^+$  kapcsolt reakció segítségével spektrofotometriásan nyomon követhető, vagyis a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  koncentrációjának csökkenése arányos az AST enzimaktivitásával.

### 9.6.3. A glutamát-dehidrogenáz (GLDH) aktivitásának meghatározása

A *glutamát-dehidrogenáz* enzim az  $\alpha$ -keto-glutársavat L-glutaminsavvá alakítja át, amelynek során a GLDH enzimaktivitása a  $\text{NADH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NAD}^+$  kapcsolt reakció segítségével spektrofotometriásan mérhető. A reakcióelegybe tett mintát először  $\alpha$ -keto-glutársav nélkül inkubáljuk, majd az előinkubáció után az  $\alpha$ -keto-glutársav hozzá-

adásával indítjuk a kívánt reakciót. A reakcióidő a csekély enzimaktivitás miatt meglehetősen hosszú. A GLDH-enzimaktivitása a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  koncentrációjának csökkenéséből számítható.

#### 9.6.4. Az alkalikus foszfatáz (ALP) aktivitásának meghatározása

Az *alkalikus foszfatáz* mérése során a megfelelő előkészítést követően a mintát közvetlenül a 4-nitro-fenil-foszfátot tartalmazó reakcióelegyhez mérjük. Az enzimreakció hatására sárga színű 4-nitro-fenolát keletkezik, amely spektrofotometriásan 405 nm-en mérhető. Az időegységre eső színintenzitás-növekedésből az ALP aktivitása számolható.

#### 9.6.5. Az $\alpha$ -amiláz aktivitásának meghatározása

Az  $\alpha$ -*amiláz* aktivitásának mérését a szubsztrátra kifejtett hatás alapján a következőképpen végezhetjük el: mérjük a redukálóképesség növekedését, a jódszínező képesség változását, esetleg a viszkozitás csökkenését. Az aktivitás mérése valójában a keményítőoldat megfelelő lánc-hosszúságú dextrinekké való hidrolízise sebességének meghatározásán alapul, amelynek során legcélszerűbben a keményítő hidrolízisfokától függő keményítő-jód komplex színváltozását mérjük. A keményítő ugyanis a jóddal kék színű komplexet képez, amely az  $\alpha$ -*amiláz* hatására az ibolya, a vörös és a barna színen keresztül a sárga színig változik a hidrolízis során. A méréskor a vörösesbarna színt tekintjük az inkubáció végpontjának, és az addig eltelt hidrolízisidőből számítjuk az aktivitást. A hidrolízis mértéke a keményítő-jód komplex színének mérésével nyomon követhető.

#### 9.6.6. A laktáz ( $\beta$ -galaktozidáz) aktivitásának meghatározása

A *laktáz* enzim a laktóz hidrolízisét katalizálja glükózzá és galaktózzá. Az enzim szubsztrátja a laktóz, azonban más olyan  $\beta$ -D-galaktozid-kötést tartalmazó szubsztrát bontását is katalizálja, mint amilyen pl. a p-nitro-fenil- $\beta$ -D-galaktopiranozid vagy az o-nitro-fenil- $\beta$ -D-galaktopiranozid (ONPG), amelyek közül ez utóbbit használják leginkább a *laktáz* aktivitásának mérésére. A meghatározás során a ONPG-ből o-nitro-fenol szabadul fel, amelynek koncentrációja egyenesen arányos a *laktáz* aktivitásával. A *laktáz* aktivitása laktóz szubsztráttal is meghatározható kap-

csolt enzimreakció segítségével, amelynek során a felszabaduló glükóz, illetve galaktóz koncentrációja egyaránt mérhető. A galaktóz a *galaktóz dehidrogenáz* enzim hatására galaktonsavvá alakul, így a  $\text{NAD}^+$ -ból  $\text{NADH} + \text{H}^+$  keletkezik. Ez utóbbi abszorbanciáját 340 nm-en mérve, a *laktázaktivitás* számítható.

### 9.6.7. A celluláz aktivitásának meghatározása

A *celluláz* enzim magasabb rendű szervezetekben egy-két kivételtől eltekintve nem fordul elő, ezért a cellulóz lebontását döntően a mikroorganizmusok végzik. A *cellulázt* az élelmiszer-iparban felhasználják rostos gyümölcslevek derítésére, a tápszergyártás során, a gyógyszeriparban emésztést javító készítményekhez, az állattartásban a rosttartalom előemésztésére, illetve olcsó szőlőcukor előállítására. A *celluláz* enzimaktivitásának meghatározása során az enzimet tartalmazó anyagot gypottal reagáltatjuk, amelynek során annak mikrokristályos szerkezete úgy alakul át, hogy az a többi enzim számára (*celluláz-komplex* enzimek) könnyebben hozzáférhetővé válik. Az enzimreakció során felszabaduló redukáló cukrokat színes vegyületté alakítjuk 3,5-dinitro-szalicilsavval, majd a színintenzitást 550 nm-en, spektrofotometriásan mérjük. A színintenzitás, illetve annak változása arányos a *celluláz* enzimaktivitásával.

### 9.6.8. A karboxipeptidáz A aktivitásának meghatározása

A *karboxipeptidáz A* exopeptidáz, vagyis a peptidláncok C-terminális aminosavainak hasítását katalizálja. Különösen gyorsan hasítja a fenil-alanint; a bázikus aminosavak hidrolízisét viszont a rájuk sokkal specifikusabb *karboxipeptidáz B* katalizálja. A meghatározás során a *karboxipeptidáz A* a benzoil-glicil-fenil-alaninból benzoil-glicint és fenil-alanint tesz szabaddá, amelynek során megváltozik a szubsztrát fényelnyelése. A fényelnyelés változását 254 nm-en mérve a *karboxipeptidáz A* aktivitása meghatározható.

### 9.6.9. A tripszin aktivitásának meghatározása

A tripszin endopeptidáz, mely optimálisan pH 7–9 között hasítja a peptidkötéseket, a fehérjében az arginin és a lizin oldalláncok C-terminális felőli peptidkötés hidrolízisét katalizálja. E két aminosav egyéb szintetikus vegyületek észter- és amidkötései is felhasadnak *tripszin* ha-



tására. Ez utóbbi reakción alapszik a tripszin enzimaktivitásának meghatározása is, amelynek során a benzoil-arginin-etil-észterből a *tripszin* etil-alkoholt hasít le, s így 253–255 nm-nél megváltozik a szubsztrát abszorbanciája. A benzoil-arginin abszorbanciája itt sokkal nagyobb, mint a benzoil-arginin-etil-észteré, ezért a szubsztrát és a termék abszorbanciájának különbségéből a *tripszin* aktivitása meghatározható. A tripszin aktivitására elterjedten használják a benzoil-arginin-p-nitro-anilidet is, amely reakcióval részletesebben a tripszininhibitor meghatározása során foglalkozunk.

#### 9.6.10. A lipáz aktivitásának meghatározása

A *lipáz* észteráz, amely vízfelvétellel bontja az olajos fázisban lévő glicerín-zsír-sav észtereket. Optimálisan akkor tudja kifejteni tevékenységét, ha az olajcseppek átmérője 2–3  $\mu\text{m}$ , de amennyiben ez az érték meghaladja a 10  $\mu\text{m}$ -t, akkor csökken az időegység alatt végzett bontások száma. A *lipázzal* végzett hidrolízis során az enzim hatására zsírsavak képződnek, amelyek titrimetriásan meghatározhatók. Mivel a *pankreaszlipáz* esetében a pH 9-es érték jelenti az optimumot, ezért a titrálóberendezést úgy kell beállítani, hogy az enzimreakció mindvégig ezen a pH-n történjen. A titrálás során regisztrálni kell az időegység alatt fogyott lúg mennyiségét, amelyből a keletkezett zsírsav móljainak száma kiszámítható, az időegység alatt felszabadult zsírsavak mennyiségéből pedig a *lipáz* aktivitására lehet következtetni.

A *lipáz* aktivitása kolorimetriásan is meghatározható, amelynek során a fenil-laurát-szubsztrátból a *lipáz* fenolt szabadít fel, amelynek mennyisége fotometriásan meghatározható.

#### 9.6.11. A szója ureázaktivitásának meghatározása

A módszer alkalmas szója és szójatermékek hőkezeltségi fokának megállapítására, mivel az *ureáz* enzim rendkívül érzékeny a hőkezelés hőfokára és időtartamára. A módszer szerint a meghatározandó szójadara mintákat karbamidot tartalmazó, valamint karbamidot nem tartalmazó, 7,5 pH-jú puffer oldatban szuszpendáljuk, és 30 percig 35 °C-on tartjuk. A szójaszuszpenzióban lévő *ureáz* enzim a karbamidból ammóniát tesz szabaddá, ami megnöveli ennek az oldatnak a pH-ját. Meghatározva a karbamidot tartalmazó és a karbamidot nem tartalmazó szójaszuszpen-

zió pH-ját, a pH-különbség arányos lesz a szójában található *ureáz* enzim aktivitásával.

A vizsgálati eljárás során a liszt finomságúra őrölt szójadarából  $2 \times 1$  grammot mérünk be  $100 \text{ cm}^3$ -es főzőpohárba. Az egyik mintához  $50 \text{ cm}^3$  7,5 pH-jú foszfátpufferben oldott karbamidoldatot, a másikhoz csak foszfátpuffert adunk. A mintákat üvegbottal többször fölkeverjük és az üvegbottot a főzőpohárban hagyva, azokat 30 percre  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ -os termosztátba helyezzük, majd a mintákat ötpercenként felkeverjük. 30 perc után a mintákat szűrőpapíron szűrjük, és mindkét minta pH-értékét pH-mérőn, szobahőmérsékleten lemérjük. A szójadarára jellemző ureázaktivitás értéke a hőkezelés függvényében a következő:

|  | pH-érték különbsége |
|--|---------------------|
| kezeletlen, nyers szója (toaszterezetlen)              | 1,7–2,5             |
| részlegesen hőkezelt szója (részlegesen toaszterezett) | 0,2–1,7             |
| jól hőkezelt szója (jól toaszterezett)                 | 0,0–0,2             |

## 9.7. Az enzimek összefoglalása

### 9.7.1. A reakciók lejátszódásának feltételei, reakciósebesség és biokatalizátorok, gátlások, a szerkezet és a működés kapcsolata

A biológiai munkavégzés csak a kémiai energiát képes hasznosítani, mert a folyamatok állandó hőmérsékleten, nyomáson és térfogaton játszódnak le. A biológiai rendszerekre a termodinamika törvényei ugyanúgy érvényesek, mint az élettelen környezetre, ezért az átalakulási folyamatok irányát elsődlegesen a szabadenergia-változás határozza meg.

A szervezet gyors válaszát a környezet megváltozására az igen gyorsan lejátszódó reakciók teszik lehetővé. A gyors folyamatok a sejtekben uralkodó körülmények között csak igen hatékony katalizátorok, az enzimek közreműködésével valósulhatnak meg. Ezek a folyamatok sebességük jelentős növelését az aktiválási energia csökkentésével érik el. A legegyszerűbb esetben a folyamat sebessége a résztvevő komponensek koncentrációjától, a hőmérséklettől, a közeg pH-jától és ionok jelenlététől függ.

Az enzimreakciókat különféle anyagok irreverzibilisen vagy reverzibilisen gátolhatják. Az irreverzibilisen gátló anyagok kovalens kötést alakítanak ki az enzimműködésben közvetlenül résztvevő valamelyik funkciós csoporttal, ami rendszerint aminosav-oldallánc. A reverzibilis gátlásnak kompetitív és nem kompetitív típusa ismert; kompetitív gátlás esetén az inhibitor a szubsztrát szerkezetéhez hasonló felépítésű anyag, az enzim aktív centrumában kötődik. Ilyenkor a gátlás mértéke a szubsztrát és az inhibitor mennyiségének arányától függ. Nagy szubsztrát-koncentráció csökkenti vagy felfüggeszti a gátlást. Nem kompetitív gátlás esetén a szubsztrát-koncentráció nincs hatással a gátlás mértékére. Néhány esetben a nagy szubsztrát- vagy termékkoncentráció is gátolhatja az enzim működését.

Az enzimek működésére nagyfokú specificitás jellemző, ami azt jelenti, hogy egy enzim csak adott típusú kémiai átalakulást katalizál (funkcionális specificitás), de ezt az átalakítást is csak egy vagy kevés számú, meghatározott szerkezetű anyag részvételével végzi (szubsztrát-specificitás).

Az enzimek specifikus működését és szubsztrátjaikkal létesített szelektív reakcióját a fehérje sajátosan kialakított szerkezete határozza meg. A katalízis a nagy molekulatömegű enzimek csak aránylag kis területén, az ún. aktív centrumokban folyik, ami két funkcionális részből áll: a katalitikus centrumból, ami a kémiai átalakulás típusát határozza meg, és a kötőhelyből, ami az átalakítandó anyag kémiai szerkezetével függ össze. A katalitikus mechanizmust illetően – mivel a különféle enzim katalizálta reakciók mechanizmusa igen különböző – különféle hipotézisekre vagyunk utalva. *Szerin-proteinázok* esetén a katalitikus képességet elektrosztatikus kölcsönhatások által létrehozott töltésrelé rendszer valósítja meg. Elektrosztatikus hatáson alapul a *karboxipeptidáz* működése is, míg a glikozidkötés *lizozim* által katalizált bontásában jelentős hatása van a szubsztrátszerkezet mechanikus torzulásának is.

Az enzimműködés hatékonyságát befolyásolja az is, hogy az azonos tulajdonságú vagy különféle funkciójú polipeptidláncok nagyobb egységekké aggregáljanak. A peptidláncok egyesülése révén kooperativitás alakulhat ki, ami működésüket pozitív vagy negatív irányban befolyásolhatja. Egymást követő lépéseket katalizáló enzimekből kialakulhatnak enzimkomplexek is, amelyek a channelling effektus révén jelentősen növelhetik működésük hatékonyságát.

Bizonyos enzimek működése szabályozható, amely szabályozásnak többféle típusa érvényesül a sejtekben. Az alegségek kooperativitásán

alapul az alloszterikus szabályozás, ami elsősorban a többlépéses folyamatsorok működését határozza meg, és biztosítja, hogy az anyag- és energiafelhasználás a sejtekben gazdaságosan folyjék. Hatása a feedback típusú reguláció révén gyakorlatilag minden anyagcsere-folyamatban érvényesül.

A biológiailag hatékony anyagok egy része, így bizonyos enzimek is, inaktív előalakban jelentkeznek, majd a működés helyére érve, néhány kovalens kötés felhasadása után működőképpé válnak. Ilyenek pl. a pankreász proteolitikus enzimejei, a polipeptid hormonok és számos egyéb fehérje is. A folyamat irreverzibilis, az aktivált alakok működésének felfüggesztésére a proteínázinhibitorok szolgálnak.

Működik a sejtekben reverzibilis szabályozási rendszer is, ami különféle anyagcsere-folyamatok sebességét növeli vagy csökkenti, miáltal meghatározza az egyes anyagcsere-folyamatok intenzitását.

### 9.7.2. Az élelmiszer-tudomány szempontjából legfontosabb enzimek összefoglalása

Az *oxidoreduktázok* hidrogén- vagy elektronátvitelt és oxigénbevitelt katalizáló enzimek, amelyek elsősorban az energiafelszabadító folyamatokban vesznek részt. Közéjük tartoznak a *piridinenzimek*, a *flavinenzimek*, a *heminenzimek* és az *oxigenázok*.

A *transzferázok* különböző atomcsoportok, gyökök átvitelét katalizálják a szubsztrátból egy másik molekulára. Az átvitt csoport lehet foszfátgyök, szulfátgyök, metilgyök, cukorrész, aminocsoport, nukleotidész és más egyéb vegyület is. Fontos szerepet töltenek be az erjedési folyamatokban, a gyümölcsérésben és az aromaképződésben. Legfontosabb *transzferázok* a *foszfo-transzferázok*, a *glikozil-transzferázok* és az *aminotranszferázok*.

A *hidrolázok* szubsztrátjuk kovalens kötéseit víz segítségével reverzibilis reakciókban bontják, ennek ellenére a *hidrolázok* főként a lebontási folyamatokban vesznek részt. Élelmiszer-tudományi szempontból legfontosabb *hidrolázok* az *észterázok*, a *glikozidázok*, a *proteázok*, az *amidázok*, az *amidinázok* és a *savanhidrid-hidrolázok*.

A *liázok* C–C, C–O, C–N-kötéseket bontanak nem hidrolízissal, és nem redoxfolyamattal, amelynek következtében a reakciótermékek egyike mindig kettős kötést tartalmaz. A telítetlen szubsztrátokba is képesek atomcsoportokat beépíteni; szerepük van a biológiailag aktív vegyületek szintézisében és az intermedier anyagcserében.

Az *izomerázok* a szubsztrát összetételének megváltoztatása nélkül a molekulán belüli szerkezetváltozást katalizálják. Az izomerizáció típusa alapján ismerünk *racemázokat* és *epimerázokat*, *cisz-transz izomerázokat*, *intramolekuláris oxidoreduktázokat*, *-transzferázokat*, *-liázokat* és *egyéb liázokat*, amely enzimek az átvitt csoport kémiai jellegében, illetve a szubsztrát összetételében különböznek egymástól. Élelmiszer-ipari szempontból közülük a *cukor izomerázok* a legjelentősebbek.

A *ligázok* két molekula összekapcsolódását katalizálják, ATP vagy más nukleozid-trifoszfátok energiájának felhasználásával. Az élő sejtekben lejátszódó anyagcsere kulcsenzimei, amelyek minden, energiát igénylő szintézis katalízisében részt vesznek. A létesített kötéstípus alapján lehetnek C–O, C–S, C–N és C–C-kötést és foszfátésztereket létesítő enzimek.

Az enzimek mennyiségét a katalizált reakció kezdeti sebességéből vagy a szubsztrát átalakulásának felezési idejéből számíthatjuk. Az enzimreakció meghatározott szubsztrátkoncentrációra, hőmérsékletre, pH-ra és kofaktorok, ionok, védőanyagok jelenlétére vonatkozik, ugyanis ezen tényezők az enzimreakciók sebességét jelentős mértékben megváltoztathatják. Az enzimaktivitás mérésénél vagy valamilyen színes termék, vagy a reakcióban (esetleg kapcsolt reakcióban) keletkezett  $\text{NAD}^+$ , illetve  $\text{NADH} + \text{H}^+$  koncentrációjának változását mérjük, amelyből az enzim aktivitása számolható.

## ÉLELMISZER-TECHNOLÓGIAI ADALÉKOK

Az élelmiszerek előállításához különféle adalékok használatára van szükség, amelyek lehetnek *tartósítószer*ek, *antioxidáns*ok, *ízesítőanyag*ok, *mesterséges színezékek*, *konzisztenciajavító szerek* és *tápértéket javító adalékanyag*ok. Alapvető követelmény velük kapcsolatban, hogy az emberi szervezetre teljesen ártalmatlanok legyenek, és hogy használatuk a fogyasztó szempontjából is előnyökkel járjon. Ilyen, kedvező hatás lehet az élelmiszer tápértékének megőrzése, a fogyaszthatósági időtartamnak a növelése, az élvezeti érték és a minőség javítása, valamint az előállítás gazdaságosabbá tétele. Ezen előnyök ellenére törekedni kell az adalékok felhasználásának mérséklésére, azaz csak akkor és annyi idegen anyagot tegyünk a nyersanyaghoz feldolgozás közben, amikor és amennyi feltétlenül szükséges.

### 10.1. Tartósítószer

A tartósítószer olyan vegyületek, amelyek a *romlást okozó mikroorganizmusok* (élesztők, penészek, baktériumok) *életműködését már kis koncentrációban is gátolják*. Általános szabály az, hogy az alapélelmiszerek (liszt, kenyér, hús, tej, vaj) általában nem, a kisgyermek részére készített élelmiszerek pedig egyáltalán nem tartalmazhatnak tartósítószereket. A tartósítószer közül csak azokat tárgyaljuk, amelyek kémiai szerkezetük alapján fejtik ki hatásukat.

#### 10.1.1. A tartósítószer hatásmechanizmusa

A tartósítószer általában adszorpcióval kötődnek meg a mikroorganizmus felszínén, majd áthaladva a sejtmembránon, a protoplazma enzimfehérjéit módosítják, amivel megzavarják a létfenntartáshoz szükséges anyagcserét a mikrobasejtben. E folyamatok legkritikusabb része a sejtfalon való áthaladás, ezért azok az adalékok és környezeti ténye-

zők, amelyek elősegítik a tartósítószer bejutását a sejtbe, növelik annak hatásosságát.

A tartósítószer nagy része savas természetű vegyület, amelyeknél *csak a disszociálatlan molekuláknak van csíraölő hatásuk*. Ez azzal függ össze, hogy a sejtmembránban lévő lipoproteinek a disszociálatlan, lipofilebb molekulákat könnyebben átengedik, mint az erősen hidrophil disszociált változatot. A sav jellegű tartósítószer erősen savas közegben csak kismértékben disszociálnak, ezért az ilyen vegyületek savas környezetben már kis koncentrációban is elegendő csíraölő hatást fejtenek ki. Az ilyen típusú tartósítószer közül a hangyasav, a szalicilsav, a benzoésav és a szorbinsav elsősorban savas kémhatású élelmiszerek konzerválására alkalmas. *A nem disszociáló tartósítószer hatása viszonylag független a pH-tól*, ezért ezek semleges közegben is jól használhatók. Ilyenek pl. a para-hidroxibenzoésav észterei. A kémiai tartósítószert gyakran kombinálva alkalmazzák, és így már kisebb koncentráció esetén is megfelelő eredmény érhető el.

### 10.1.2. Szervetlen tartósítószer

A *kén-dioxid* ( $\text{SO}_2$ ) színtelen, szúrós szagú, köhögésre ingerlő gáz, amely belélegezve mérgező hatású; 0,04%-os töménységben légzési zavarokat, fulladásos köhögést és szaruhártya-gyulladást okoz. Erélyes redukálószer. A kénessav ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) a kén-dioxid vizes oldata, amelyben a gáz csak kis része egyesül kénessavvá, nagyobb része fizikailag oldott állapotban van jelen.

A *kénessav* kén-dioxid leadása közben könnyen bomlik, vagy a levegő oxigénjével lassan kénessavvá oxidálódik. Mindkét vegyületet az élelmiszeriparban erőteljes csíraölő hatásuk miatt növényi nyersanyagok és féltermékek tartósítására elterjedten használják. A kén-dioxiddal a borászatban hordókat fertőtlenítenek, megölve a vadélesztőket és a penészgombákat, megelőzve a nemkívánatos mellékerjedést. A kénessav antimikrobás hatása erősen függ a pH-tól. *Legkedvezőbb a 0,05–0,5%-os koncentráció és a 4-es pH-nál savanyúbb környezet. A kén-dioxid gátolja a növényi és mikrobajeltekben lévő enzimeket, a cisztin S–S kötését ugyanis SH-csoportokká alakítja*. Károsítja a  $\text{B}_1$ -vitamint és a biotint, stabilizálja viszont az A- és a C-vitamint. Antimikrobás hatása mellett antioxidáns és színmegőrző hatása is van. Csíraölő hatása mellett a kén-dioxid gátolja az enzim és a nem enzimikus barnulást is. Az emberi szervezetben nem halmozódik fel, az emésztőcsatornában ugyanis

szulfáttá alakul, és a vizelettel kiürül. A  $40 \text{ mg/dm}^3$  koncentrációnál nagyobb mennyiség a borban fejfájást okozhat. Kedvezőtlen ízváltozások  $50 \text{ mg/dm}^3$ -nél nagyobb koncentrációban jelentkeznek.

A kénessavas sók közül a *nátrium-szulfít* ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), a *nátrium-hidrogénszulfít* ( $\text{NaHSO}_3$ ) és a *kálium-piroszulfít* ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) bír csíraölő hatással. Ezek a vegyületek alkalmazásuk során kisebb-nagyobb mértékben kén-dioxidot fejlesztenek, ami a tartósító hatás alapja.

### 10.1.3. Szerves tartósítószer

A *hangyasav* víztiszta, hígán folyó, maró folyadék, a zsírsavak között a legerősebb sav. Az élesztőgombák, a penészek, valamint a baktériumok életműködését már  $0,1\text{--}0,2\%$ -os koncentrációban gátolja,  $1\%$ -os koncentrációban pedig 30 perc alatt elpusztítja őket. Mikrobaellenes hatása savanyú közegben nagyobb. Tartósított élelmiszereinkben a hangyasav koncentrációja maximum  $0,12\%$  lehet (üdítőitalokban  $0,03\%$ ), amit a *szervezet oxidációs úton* maradéktalanul *lebont, így felhalmozódási veszély nincs*. Származékai közül nátrium-, kálium- és kalciumsója, valamint glicerinnel képzett észtere használatos.

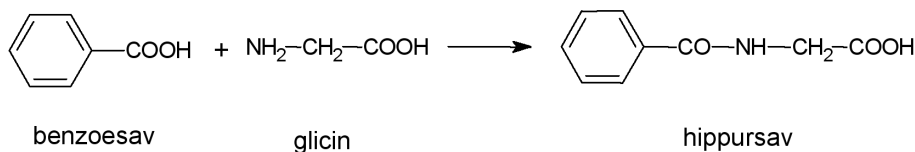
A *propionsav* vízzel, alkohollal és éterrel keverhető, szúrós szagú folyadék, amelynek mikrobaellenes hatása függ a közeg pH-jától, és csak a disszociálatlan vegyületnek van antimikrobás hatása. Elsősorban a penészgombák ellen hatásos, baktériumokkal szemben azonban kisebb a hatékonysága, az élesztőgombákat pedig gyakorlatilag nem gátolja.  $0,1\text{--}0,3\%$  között használják fel tartósításra. A propionsav nátrium- és kalciumsóját kenyérgabonák lisztjéből készült termékek tartósítására használják.  $0,1\text{--}0,2\%$  propionát késlelteti a lisztből készített termékek penészesedését és nyúlósodását. A propionsav *toxicitása csekély*, ugyanis a *szervezetben maradék nélkül lebomlik*, és így felhalmozódása sem fordulhat elő. A propionsavat és sóit valamennyi ország élelmiszertörvénye engedélyezi sütőipari termékek, csokoládékészítmények és egyéb élelmiszerek tartósítására. Egyes sajtokat  $8\%$ -os propionsavoldatba mártással tartósítanak.

A *szorbinsav* ( $\text{CH}_3\text{--CH=CH--CH=CH--COOH}$ ) fehér, kristályos, kissé savanykás ízű por, amely kémiai szerkezetét tekintve 2,4-hexadiénsav. Hideg vízben rosszul, forró vízben közepesen, tömény alkoholban jól oldódik. Sói közül a nátrium-, a kálium- és a kalciumszorbát használatos, ezek vízoldhatók. *Mikrobaellenes hatásuk csak az élesztőgombákkal szemben tapasztalható*, tehát *szelektív tartósító*



szerek. Az emberi szervezetben szén-dioxidra és vízre bomlik. A penészekkel és az élesztőkkel szemben gyengén savanyú közegben 2–5-ször erősebb konzerválószer, mint a benzooesav. Rendkívüli előnye, hogy *a hasznos tejsavbaktériumokra gyakorlatilag nem hat*, viszont a káros élesztők és penészek működését gátolja. Kedvezőtlen izmódosító hatása miatt alkalmazási lehetőségei korlátozottak. Alkoholos oldatát élelmiszerek csomagolóanyagainak impregnálására is használják.

A *benzooesav* hideg vízben nehezen, forró vízben, alkoholban, éterben és más szerves oldószerekben jól oldódó tartósítószer. A nátriumbenzoát, valamint a ritkábban használatos kálium- és kalcium-benzoát vízben jól oldódik, a benzooesav és sói *mikrobaellenes hatása a baktériumokra, az élesztőkre és a penészgombákra is egyaránt erős*. Gátolja a mikroorganizmusok *dehidrogenáz* enzimjeit és az oxidatív foszforilezést. Savanyú közegben 0,125% benzooesav már meggátolja az erjedést. Az emberi szervezetben glicinnel hippursavvá egyesül, és ilyen formában ürül a szervezetből (10.1. ábra). *Mérgező hatása nincs, a szervezetben nem halmozódik fel*. Adagolási aránya 0,10–0,15%. Hangyasavval vagy nátrium-formiáttal keverve antimikrobás hatása fokozódik. Jelenleg a nátrium-benzoát a világon a legnagyobb mennyiségben felhasznált kémiai tartósítószer.

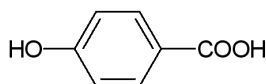


10.1. ábra. A benzooesav kiürülése a szervezetből

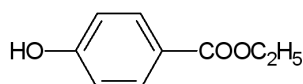
A *p-klór-benzooesav* kristályos, vízben nehezen oldódó vegyület, ezért tartósításra nátriumsóját gyakrabban alkalmazzák. A hangyasavnál lényegesen hatásosabb konzerválószer; a *baktériumok, penészek és élesztők elpusztítására már 0,14%-os koncentráció elegendő*. Az emberi szervezetből *p-klór-hippursav*ként ürül. A toxicitására vonatkozó, megoszló vélemények miatt  *hazánkban és a legtöbb országban tiltott tartósítószer*.

A *p-hidroxi-benzooesav* és származékai kiváló tartósítószer. A *p-hidroxi-benzooesav* kristályos anyag, amely vízben kevésbé, szerves oldószerekben viszont jól oldódik. Mikrobaellenes hatása észtereikhez képest kicsi, a baktériumok, az élesztő és a penészgombák ellen csak viszonylag

nagy koncentrációban, 0,8–1,0%-ban hatásos, tehát a *p*-hidroxi-benzoésav észtereinek antimikrobás tulajdonsága jobb, mint az eredeti savé (10.2. ábra). A növekvő hosszúságú alkilánc erősíti az észterek tartósító hatását, mégis a kisebb szénatomszámú változatokat részesítik előnyben, mert ezeknek kedvezőbbek az oldhatósági viszonyaik. Mivel disszociációra alkalmas csoportot nem tartalmaz, antimikrobás hatásuk a pH-tól független. A *p*-hidroxi-benzoésav részben glikokollal, részben glükuronsavval vegyülve, a vizelettel ürül ki a szervezetből. Észterei az emésztés során hidrolizálódnak, és a felszabaduló sav az előbbiek szerint távozik. A *p*-hidroxi-benzoésavas metil-, etil- és propilészter élelmiszeripari alkalmazása széles körű. A szokásos adagolási koncentráció 0,08–0,2%.



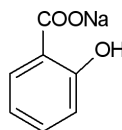
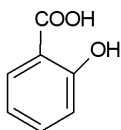
p-hidroxi-benzoésav



p-hidroxi-benzoésavas-etilészter

10.2. ábra. A *p*-hidroxi-benzoésav és a *p*-hidroxi-benzoésavas etilészter

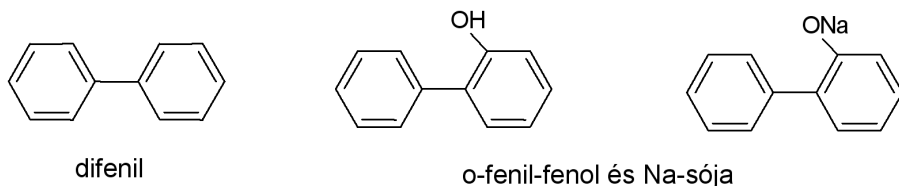
A szalicilsav (orto-hidroxi-benzoésav) hideg vízben kevéssé, forró vízben jobban, alkoholban és zsíroldó szerekben jól oldódó tartósítószer. A szalicilsav és nátriumsója egyaránt hat a baktériumokra, az élesztőkre és a penészgombákra (10.3. ábra). Disszociáló anyag lévén hatása függ a pH-tól, ugyanis antimikrobás tulajdonsága csak a szabad disszociálatlan savnak van. Eredményes tartósításhoz 0,1–0,2%-os koncentrációban kell alkalmazni. A szalicilsav a szervezetben gyorsan felszívódik, a vérben sokáig kimutatható. *Csökkenti a vérnyomást és a testhőmérsékletet, és lassítja a pulzust.* A károsnak tekinthető mellékhatásai miatt a legtöbb államban betiltották használatát és árusítását. *Hazánkban ipari felhasználása tilos, háztartási célokra azonban még engedélyezik.*



10.3. ábra. A szalicilsav és Na-sója

A *piroszénsavas-észterek* közül a piroszénsavas-dietilészter gyümölcsészterre emlékeztető illatú folyadék. Vizes oldatban 12–16 óra alatt teljes egészében etil-alkoholra és szén-dioxidra hidrolizál. Antimikrobás hatása csak a bomlatlan vegyületnek van. 0,02–0,08%-os koncentrációban *italok tartósítására használható*. Ennél nagyobb koncentráció alkalmazása esetén az élelmiszerek színe és íze kellemetlenül megváltozik. Nagyon reakcióképes anyag; ammóniumsók és aminosavak jelenlétében etil-uretán, etil-alkohol hatására dietil-karbonát keletkezik belőle. Mivel az etil-uretán rákkeltő, a dietil-karbonát pedig magzatkárosító, toxikológiai megfontolásból sok országban, így hazánkban is, *a piroszénsavas-dietilészter élelmiszeripari alkalmazását betiltották*.

A *difenilt* (10.4. ábra) a citrom és a narancs héján a szállítás közben fellépő penészesedés megelőzésére alkalmazzák. A csomagolásra használt anyagokat előzetesen difenillel impregnálják, amely elpárologva 0,08 mg/dm<sup>3</sup>-es koncentrációban a levegőben minden mikroorganizmus szaporodását meggátolja. *A difenilgőzök feloldódnak a gyümölcsök héjában lévő viaszokban és olajokban is*. A difenilt a délgyümölcsöket exportáló országok általánosan használják konzerválószerként, amit az európai élelmiszertörvények sem tiltanak.



10.4. ábra. A difenil, az *o*-fenil-fenol és Na-sója

Az *o*-fenil-fenol (*o*-hidroxi-difenil) vízzel nem keverhető, fehér, kristályos anyag, amely szerves oldószerekben jól oldódik (10.4. ábra). Nátriumsója vízoldható. Mindkét vegyületet a *citrusfélék tartósítására használják*. Vagy a csomagolóanyagot impregnálják, vagy a gyümölcsöt mártják be 0,5–2,0%-os vizes, 11–12 pH-jú nátrium-fenol-fenolat oldatba.

#### 10.1.4. Antibiotikumok

Az antibiotikumok olyan anyagok, amelyeket *mikroorganizmusok szintetizálnak, és amelyek más mikroorganizmusok fejlődését gátolják*. A baktériumok közül a hasadó gombákhoz tartozó *Streptomycesek*, va-

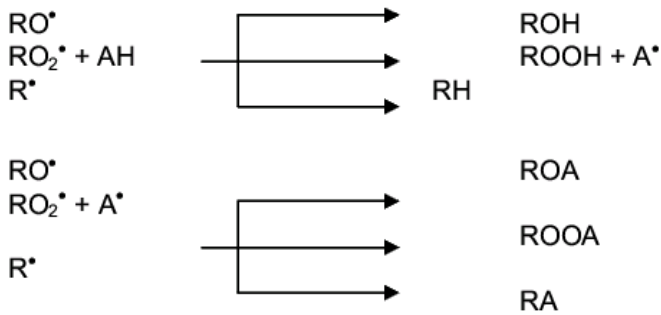
lamint a *Bacillus*-félék; a penészek közül az *Ascomycetese*k közé tartozó *Aspergillusok* és *Penicilliumok* a legfontosabb antibiotikum-termelő mikrobacsoportok. Az *antibiotikumok gátolják a mikroorganizmusok sejtfolképződését*, korlátozzák a riboszóma tevékenységét, permeábilissá teszik, illetve roncsolják a sejtmembránt, és gátolják a nukleinsavak szintézisét. Kémiai szerkezetüket tekintve *lehetnek laktongyűrűs vegyületek* (penicillin, eritromicin), *aminosavak és kismolekulájú peptidek* (cikloszerin), *polipeptidek* (nisin, szubtilin, polimixin), *cukortartalmúak* (sztreptomycin), *poliének és egyéb szerkezetűek* (poliacetilének, kinonok, tetraciklinek, szteroidok, heterociklusos vegyületek).

Az élelmiszeriparban az antibiotikumok alkalmazásával óvatosan kell bánni, és csak azokat az antibiotikumokat szabad felhasználni, amelyek nem gyógyszerek. Ellenkező esetben a fogyasztók szervezetében olyan *antibiotikum-rezisztens mikrobatorzsek* alakulnának ki, ami zavarná az antibiotikumok gyógyító hatását. Az antibiotikumokat más tartósítóeljárásokkal kombinálják: hőkezeléssel, kémiai konzerválószerekkel, fagyasztással és ionizáló sugárkezeléssel. *Hazánkban* élelmiszeripari célra egyedül a *natamicin használatát engedélyezik* kemény és félkemény sajtok, valamint egyes húsipari termékek felületkezelésére. A natamicint a *Streptomyces natalensis* tenyészetből izolálják.

Egyes országokban néhány *Streptococcus lactis* törzs által termelt hőrezisztens, polipeptid jellegű nisin alkalmazása terjedt el a sajtgyártásnál, mert ez az anyag a *vajsavbaktériumok ellen különösen hatásos*. Az antibiotikumokat takarmánykiegészítőként is felhasználják 10–15 mg/kg koncentrációban, ami azzal a veszéllyel jár, hogy ez az anyag a tejjel, illetve a levágott állat húásával a fogyasztók szervezetébe jut, ugyanis az antibiotikumok csak 72 óra múlva ürülnek ki az állat szervezetéből.

### 10.1.5. Fitoncidok

Fitoncidoknak a *magasabb rendű növények által termelt antimikrobás anyagokat* hívjuk. Jelenlegi ismereteink szerint a boróka, a bábérlevél, a fahéj, a bors, a csipkebogyó, az almalevél, a fekete ribiszke, a citrom, a petrezselyem gyökere és levele, a kapor zöld részei és termése, a köménymag, a komló virága, a fokhagyma, a vöröshagyma és a paprika tartalmaz fitoncidokat. A fokhagymából kivonható *allicin volt az első tanulmányozott fitoncid*, amely az enzimek szulfhidrilcsoportjainak lekötésével fejt ki bakteriosztatikus hatását. A színes gyümölcsökből készített konzervek tartósításához kevesebb hőkezelés szükséges, mint



**10.5. ábra.** Az antioxidánsok hatásmechanizmusa.  $AH$  = antioxidáns,  $RO^{\bullet}$  = alkoxigyök,  $RO_2^{\bullet}$  = peroxigyök,  $R^{\bullet}$  = alkilgyök

a színtelen alapanyagúakéhoz, amely jelenség a színes gyümölcsökben található antocianidok fitoncid hatásával függ össze.

## 10.2. Antioxidánsok

A természetben a zsiradékokat rendszerint olyan anyagok kísérik, amelyek romlásukat, avasodásukat hosszabb-rövidebb ideig megakadályozzák. Ezeket az anyagokat *antioxidánsoknak* hívjuk, amelyek *védő hatása részben az oxidációt katalizáló fémnyomok megkötésén, részben a zsiradék oxidációjának meggátlásán, illetve késleltetésén alapul*. A zsiradékok autooxidációja közben lejátszódó bonyolult folyamatok eredményeként szabad alkoxi-, peroxi- és alkilgyökök is képződhetnek (10.5. ábra). Az antioxidánsok a szabad gyökök semlegesítése mellett redukálószerként is hatnak, ugyanis a keletkező peroxidokat hidroxivi-vegyületekké alakítják, miközben az antioxidánsok elhasználódnak, ezért hatásuk csak időleges. Romlott zsiradékokat antioxidánsokkal nem lehet megjavítani, ezért ezeket csak friss, romlatlan élelmiszerekhez célszerű adni. Antioxidánsokként csak olyan adalékok használhatók, amelyek íztelenek, szagtalanok, nem befolyásolják károsan a zsír vagy zsírtartalmú élelmiszer színét, és ártalmatlanok az emberi szervezetre. Az antioxidánsoknak zsíroltható anyagoknak kell lenniük, hogy a zsiradékokban jól eloszthatók legyenek.

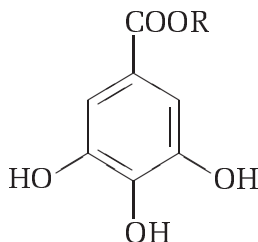
### 10.2.1. Természetes antioxidánsok

A *tokoferolok* (E-vitaminok) a zsiradékok stabilizálására általánosan használt antioxidánsok. Közülük az  $\alpha$ -tokoferolnak van a legkisebb, a  $\gamma$ - és a  $\delta$ -tokoferolnak a legnagyobb antioxidáns hatása. Sok tokoferol található a búzacsíraolajban és a kíméletesen kiolvasztott disznózsír is a tokoferoloknak köszönheti jó eltarthatóságát. A tokoferolok *antioxidáns hatását citromsav adagolásával fokozni lehet*, és más antioxidánsoknál is megfigyelhető, hogy különböző szerves savak befolyásolják védő hatásukat. Az ilyen anyagokat *szinergenseknek* nevezzük, amelyeket a zsírolthatóság növelése céljából gyakran zsírsavakkal vagy monogliceridekkel észterestíve adagolnak.

A *karotinoidok* sötét helyen tárolt zsiradékban antioxidáns hatást fejtenek ki, fény hatására viszont erősítik a romlást. Az *aszorbinsav* (C-vitamin) és *vitaminhatás nélküli sztereoizomerjei* (D-aszorbinsav, D-izoaszorbinsav, L-arobaszorbinsav) *vízoldható antioxidánsok*, amelyeket különféle gyümölcslevegekben használnak. Az *aszorbilpalmitátban* az aszorbinsav elsőrendű alkoholos hidroxilcsoportja palmitinsavval van észterestíve. Az így zsírolhatóvá vált vegyület *zsiradékok antioxidánsa* lehet, bár hatása viszonylag kicsi, a  $\gamma$ -tokoferollal keverve viszont hatékonyabb.

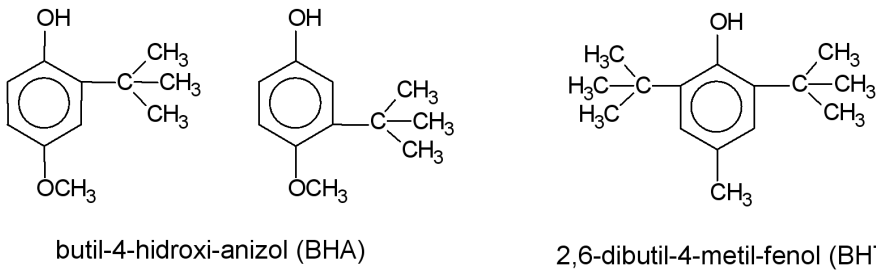
### 10.2.2. Mesterséges antioxidánsok

A mesterséges antioxidánsok használatát hazánkban az élelmiszerek csomagolásán „*antioxidánst tartalmaz*” szöveggel deklarálni kell. Antioxidánsként alkalmazható a *galluszsav propil-, oktil- és dodecil-észtere* (10.6. ábra), amelyek szintetikus gallátok formában 0,005–0,01% koncentrációban is gátolják a zsiradékok romlását.



10.6. ábra. A galluszsav észterei. (R = propil-, oktil-, dodecil-csoport)

A *fenolos antioxidánsokat* (többszörösen szubsztituált fenolszármazékok) nagy zsírtartalmú élelmiszerek, étkezési zsiradékok, sütemények, rágógumi, leveskoncentrátumok és pl. a sós mogyoró avasodásának megelőzésére használják. Ilyen szintetikus antioxidáns a *butil-4-hidroxi-anizol* (BHA) és a *2,6-dibutil-4-metil-fenol*, más néven *butil-hidroxi-toluol* (BHT) (10.7. ábra). A BHA két izomer a 2-butil- és a 3-butil-4-hidroxi-anizol keveréke. *A BHA és a BHT elegy hatásosabb adalék, mint bármelyik külön-külön.* Ennek az a magyarázata, hogy az antioxidációs folyamat során a BHA-ból keletkező fenoxigyököt a jelen lévő BHT azonnal regenerálja. A külföldön árusított antioxidáns-készítmények rendszerint antioxidáns hatású komponensek és szinergens anyagok keverékei.



10.7. ábra. *Fenolos antioxidánsok*

## 10.3. Ízesítőanyagok

Az ízesítő és zamatosító alkotórészek javítják az egyes élelmiszerek élvezeti értékét. Az élelmiszer-termelés sok ágazatában a nyersanyagok eredeti íz- és aromakészletét adalékokkal növelik, esetleg átformálják.

### 10.3.1. Édes ízű adalékok

Az édes ízű ételeket az ember mindig kedvelte, története során azonban csak az érett gyümölcsök és a méz fogyasztásával jutott ilyen anyagokhoz, ugyanis a cukornádból, majd a cukorrépából való ipari méretű szacharóz-előállítás alig két évszázada terjedt el. Napjainkban a túlsúlyos, a cukorbeteg és az idő előtt szuvasodó fogú emberek számának nö-

vekedése fordította az érdeklődést a vércukorszintet mérsékelten növelő, illetve az energiamentes, természetes és mesterséges édesítőszer felé.

Ételeink édesítésére elsősorban a szénhidrátokhoz tartozó *természetes szerves vegyületeket* használjuk. Ilyen édesítőanyag a répacukor, a szőlőcukor, a gyümölcscukor, a malátacukor, az invertcukor, a tejcukor és a méz, valamint a keményítősörp. A *méz* a legrégebben ismert természetes édesítőszer, a virágokban található nektár, a szacharóz és az invertcukor híg vizes oldata, amely különböző savakat (almasav, borkősav, csersav), illat- és zamatanyagokat, továbbá kevés színezéket is tartalmaz. A *keményítősörp a keményítő részleges lebontásával savas vagy enzimés hidrolízissel úgy készül, hogy a keményítő egyik részéből* glükóz, a másik részéből pedig különböző lánchosszúságú dextrinek keletkeznek.

Édes ízűek a *cukoralkoholok* is (mannit, szorbit, xilit, maltit), amelyek természetes anyagokban is előfordulnak; iparilag a cukorbetegeknek készített élelmiszerekben alkalmazzák őket. A szervezetben csak nagyon lassan alakulnak át glükózzá, ezért *csak kismértékben növelik a vércukortartalmát*. A cukoralkoholok közül hazánkban a *szorbitot* a glükóz katalitikus hidrogénezésével állítják elő nagyobb mennyiségben. Édesítőképessége kb. a glükózéval azonos.

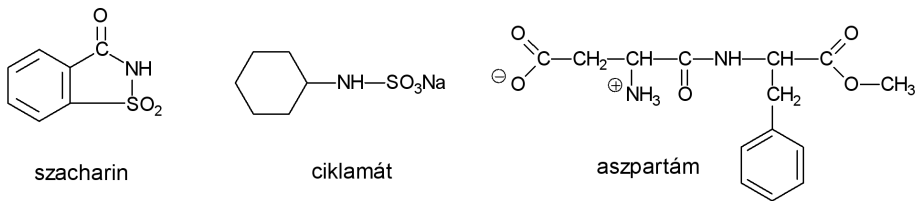
A *xilit* a pentitekhez tartozó, ötértékű alkohol, amely a természetben alig, csak néhány ehető gombában fordul elő. A xilóz redukciójával állítják elő ezt az édes ízű vegyületet, amely *cukorbeteg étrendjében édesítőként használható*, mert lebomlása az anyagcserében független az inzulintól. A *maltit* a maltóz redukciójával állítható elő; *nagyobb édesítőképességű, mint a szorbit*, előállítása azonban kissé drága. A *mannit* a természetben a mannakőrís nevű fa édes nedvében, továbbá az algákban, a gombákban, a zellerben, az olajbogyóban és más növényekben fordul elő. A mannóz redukálásával mesterségesen is előállítható.

A cukoralkoholok felszívódásuk után éppen olyan energiahordozók, mint a cukrok, ezért használatuk a cukorbeteg étrendjében ugyan kedvező, de a *fogyókúrázók számára inkább a tápérték nélküli édesítőszer ajánlhatók*. Az előzőekben ismertetett természetes édesítőszeren kívül édesítőszerként használható az édesgyökér vagy az édesfa kivonatában található *glicirrizin*, amely a glicirretinsav diglükuronidja.

A *mesterséges édesítőszer* azok a vegyületek, amelyeknek *édesítőképessége igen nagy, de tápértékük nincs*, vagy a kis adagolási arány miatt elhanyagolható. Jól használhatók cukorbetegségben szenvedők és az energiaszegény étrenden lévők ételleinek ízesítésére. Hazánkban jelen-



leg a mesterséges édesítőszernek közül a szacharin, a krisztallóz, a ciklamát, az aszpartám és aceszulfám-K használata engedélyezett. A *szacharin* és a *krisztallóz* 1879 óta ismert, és a világon legnagyobb mennyiségben előállított mesterséges édesítőszer. *Az emésztőcsatornából változatlan formában ürül ki.* A szacharin édesítőképesége 550-szer nagyobb, mint a répacukoré. Nátriumsója, amely krisztallóz néven kerül forgalomba, 450-szer édesebb a szacharóznál (10.8. ábra). A szacharin kémiai szerkezetét tekintve o-xi-benzoészav-szulfimid. A készítményeket töltőanyaggal ( $\text{NaHCO}_3$ ) hígítva, tablettaként hozzák forgalomba. Hátránya, hogy savas kémhatású ételek főzése közben o-szulfó-benzoészavra bomlik, ami kellemetlen, fenolos ízt okoz.

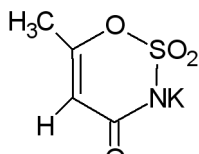


10.8. ábra. A szacharin, a ciklamát és az aszpartám

A *ciklamát* főzésálló, mesterséges édesítőszer, amely harmincszor édesebb a répacukornál (10.8. ábra). Nagy előnye a stabil kémiai szerkezet és az, hogy nincs semmiféle utó- vagy mellékíze. Nátrium- vagy kalciumsója formájában hozzák forgalomba; kémiaileg a *ciklohexil-szulfaminsav nátrium- vagy kalciumsója*. A ciklamátot gyakran szacharinnal elegyítve árusítják a még kedvezőbb ízhatás miatt. A szacharinnal és a ciklamáttal kapcsolatos problémák miatt új édesítőszerket állítottak elő: az aszpartámot és a aceszulfám-K-t. Az *aszpartám* az aszparaginsav és a fenil-alanin dipeptidjének metilésztere, kémiaileg  $\alpha$ -L-*aszparagil*-L-*fenil-alanin*-metilészter (10.8. ábra). A különböző sztereoizomerek közül csak az L-L-származék  $\alpha$ -formája az édes, a D-D az L-D és a D-L izomerek nem mutatnak édes ízhatást. Az aszpartám édesítőképesége 150–200-szorosa a szacharóznak, és íze valamennyi mesterséges édesítőszer közül a legjobban közelíti meg a répacukorét. *A legtöbb természetes és mesterséges édesítőszerrel kombinálható*, és ezekben a keverékekben általában *szinergens hatású*, vagyis az elegy édesítőértéke nagyobb, mint az egyes alkotórészek édességének összege.

Az aszpartám szilárd állapotban, szobahőmérsékleten viszonylag stabil, gyakorlatilag nem bomlik. Vizes oldatban sokkal érzékenyebb, peptid- és észterkötése hidrolízisre hajlamos. Az aszpartám toxicitását vizsgálva megállapították, hogy *a tápcsatornában aszparaginsavra, fenil-alaninra és metanolra bomlik le*. Ha a napi bevétel testtömeg-kg-onként nem haladja meg a 34 mg-ot, kedvezőtlen élettani hatása nem várható. Az aszpartám nem energiamentes édesítőszer, hiszen belőle a szénhidrátokkal közel azonos mennyiségű energia szabadul fel. Tekintettel azonban csekély felhasználási arányára, *a cukorhoz viszonyítva jelentős energiacsökkenés érhető el vele*.

Az *aceszulfám-K* (10.9. ábra) az oxatiazinon-dioxid metilszármazéka, amely vegyületnek tucatnyi édes ízű, különböző módon szubsztituált származéka van. Ezek közül íze és tulajdonságai alapján az aceszulfám bizonyult a legkedvezőbbnek. *Édesítőképessége* az aszpartáméhoz hasonló, *130–200-szorosa a répacukorénak*. A legtöbb természetes és mesterséges édesítőszerrel készített keverékben szinergens hatású. Az aceszulfám-K íze tiszta édes íz, keserű mellékíze csak töményebb oldatokban érezhető. Az emberi emésztőcsatornában nem bomlik le, változatlan formában szívódik fel, *a szervezetben nem halmozódik fel, a vizelettel maradéktalanul kiürül*.



10.9. ábra. Az aceszulfám-K

Néhány évtizeddel ezelőtt olyan mesterséges édesítőszerrek voltak forgalomban, amelyek később toxikusnak bizonyultak, ezért használatukat hazánkban is betiltották, ilyen volt pl. a dulcin (p-etoxi-fenilkarbamid) és a különböző nitroanilin-származékok. Az eddig ismertett anyagokon kívül a különböző *polipeptidek*, továbbá a citrusgyümölcsök glikozidjaiból előállított *dihidrokalonok* mesterséges édesítőszerként való alkalmazása még kísérleti szakaszban van.

### 10.3.2. Sós ízű adalékok

A konyhasó íze jelenti az ember számára a tiszta sós ízt. Élelmiszereink ízesítésére szinte kizárólag konyhasót használunk, amelyet a kősó bányászásával vagy a tengervíz, illetve sós források vize bepárlási maradékának feldolgozásával és tisztításával állítanak elő. Az asztali só NaCl-tartalma legalább 98%. Külföldön 0,25–1% kalcium-karbonátot vagy magnézium-karbonátot a sóhoz keverve igyekeznek megelőzni a csomósodását.

A *NaCl* nagyon intenzív ízkeltő anyag, élelmiszerekben 3–4%-ban már határozott sós ízt okoz. A konyhasónak ízelet kiemelő hatása is van, ugyanis, ha sótlan ételt eszünk, nemcsak a *NaCl* sós ízt hiányoljuk, hanem gyengébbnek érezzük az étel egyéb ízhatásait is. Az 1–2%-nál kevesebb sót tartalmazó élelmiszerekben megváltozik a megszokott és várt íz, esetleg addig nem tapasztalt, nemkívánatos, rejtett ízek kerülnek elő. Ez az oka annak, hogy az *édes sütemények tesztjába is kell sót tenni*. A konyhasó felerősíti a főtt és a sült húsok kellemes ízt, és nagyobb töménységben már konzerváló hatása is van.

A hazai ételkészítési és táplálkozási szokások a *napi* mintegy 5 g *NaCl*-szükséglet többszörösét juttatják a szervezetbe, ami *kifejezetten káros*. A konyhasó mikroelemeket is tartalmaz, amelyek fontos élettani szerepeket töltenek be. Ezek közül a jódot célszerű kiemelni, mert ennek hiánya a golyva kialakulásához vezethet. Több országban ennek megelőzésére *jódozott konyhasót hoznak forgalomba*, amely 5–20 mg kálium-jodidot tartalmaz kilogrammonként. A vízháztartással összefüggő betegségben szenvedők ételét kálium-citráttal is lehet ízesíteni, és ezenkívül más *diétás sók is forgalomba kerülnek*, amelyek csökkentett nátriumtartalmúak, ízük azonban jól közelíti a konyhasóét.

### 10.3.3. Keserű ízű adalékok

A keserű ízű szerves vegyületek az alkaloidok, a glikozidok és a cserzőanyagok csoportjába tartoznak. A kinin, pl. a kávé, a tea és a kakaó hatóanyagai és a purinalkaloidák (koffein, teobromin, teofillin) tartoznak ebbe a csoportba. A glikozidoknál a narancsban található heszperidint, a grépefrútban lévő naringint, a cserzőanyagoknál az éretlen, fanyar almában lévő vagy a túlfőzött teában található csersavat említhetjük. A gyanták közül ismert keserű vegyületek a komlóban lévő lupulon és humulon.

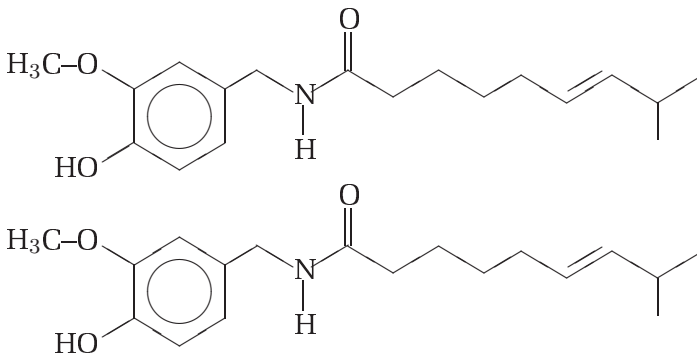
#### 10.3.4. Savanyú ízű adalékok

A savanyú íz nemcsak a hidrogénion-koncentrációtól, hanem a disszociálatlan sav mennyiségétől is függ, tehát nemcsak a jól disszociáló erős savak, hanem a rosszul disszociáló szerves savak is lehetnek jó savanyítószerrek. Az élelmiszeriparban savanyításra elsősorban az ecetsavat, a borkősavat, az almasavat, a citromsavat és a tejsavat használják. Az utóbbi években az üdítőitalok ízesítésére az ortofoszforsavat is alkalmazzák, max. 0,07%-ban. A foszforsav savanyú sói sütőporok alkotórészeiként alkalmasak a nátrium-hidrogén-karbonátból a szén-dioxid gyors  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ , illetve lassú,  $(\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)$  felszabadítására.

#### 10.3.5. A fűszerek hatóanyagai

Ételeink jellegzetes íze általában a felhasznált fűszerek hatóanyagainálól származik. A fűszereket a fűszernövények megfelelő részeinek (levél, termés, mag) szárításával és aprításával készítik. A hatóanyagok általában illékony vegyületek, amelyeknek a zamatosító tulajdonságaikon kívül gyakran mikrobaellenes (fitoncid) hatásuk is van. Egy-egy fűszer több tucat olyan komponenst is tartalmazhat, amely részt vesz a jellegzetes íz és illat kialakításában. A *paprika* jellegzetes ízét elsősorban az éteres olajokban oldott *kapszaicin* nevű alkaloida okozza, amely a feldolgozott készítményekben 0,05–0,5%-ban található (10.10. ábra). Kémiai szerkezetét tekintve benzil-amin-származék, a decilénsav vanillil amidja. E vegyület nem egyedül, hanem nyolc másik, rokon szerkezetű vegyülettel (dihidro-kapszaicin, nordihidro-kapszaicin stb.) együtt idézi elő a paprika csípősségét. A kapszaicin csípős íze 1 : 100 ezer hígításban is érezhető. A kapszaicin mellett pirazinszármazékok is részt vesznek a paprika csípős ízének kialakításában, amelyek közül a 2-izobutil-3-metoxi-pirazin a legfontosabb.

A fűszerpaprika használati értékét a színanyagok mennyisége és minősége is meghatározza. A piros szín a benne 0,15–0,35%-ban található karotinoiddelegytről származik. Ez ideig közel 50 színanyagot mutattak ki a paprikában. Közülük legfontosabbak a *kapszantin*, az  $\alpha$ -*karotin*, a *violaxantin*, a *kapszorubin*, a *kriptoxantin*, a *kriptokapszin*, a *zeaxantin*, a *xantofill* és a  $\beta$ -*karotin*. A karotinoidok nagy része zsírsavakkal van észteressítve, amik így színes viaszoknak tekinthetők. Egyes országokban a paprika helyett a tropikus éghajlaton honos törpepaprika örleményét



10.10. ábra. A kapszaicin

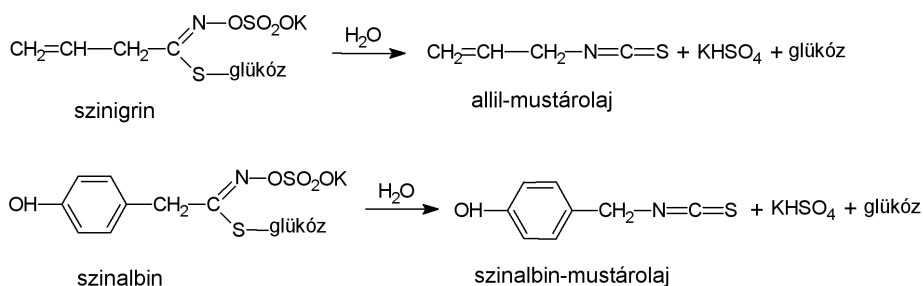
használják Cayenne-bors, illetve *csili* néven. Ez a mi *paprikánknál maróbb ízű fűszer*, amelyben a kapszaicin aránya 0,6–1,5%.

A bors a trópusokon honos kúszócserje, amelynek éretlenül szedett, szárított, csonthéjas termése a *feketebors*, ami ráncos felületű, barnásfekete színű, és 3–5 mm átmérőjű. A *fehértbors* az érett termésből készül, a külső héj áztatás utáni, dörzsöléssel való eltávolításával. A héj eltávolítását követően kisebb méretű, kevésbé csípős ízű, barnássárga színű fűszert kapnak. Mindkét típusú fűszer *csípős ízét az 5–10%-ban jelen lévő piperin és kavicin alkaloidoknak köszönheti*. A bors fűszeres illatát az 1,5–3,5% illóolaj-tartalma okozza, amely több tucat terpén elegeye.

Két *mustárnövény magját* (a fekete- és a fehérmustárét) használjuk fűszerként. Mindkét mustár *fő hatóanyagai* olyan *tioglikozidok* (glükozinolátok), amelyekből enzim hatására jellegzetesen csípős ízű mustárolajok szabadulnak fel. A mustárolajok az izotiociansav észterei ( $R-N=C=S$ ). A feketemustár magja 1–2 mm átmérőjű, vörösesbarna színű, hatóanyaga a *szinigrin* nevű tioglikozid, amely a *mirozin* enzimmel illékony allil-mustárolajra, glükózra és kálium-hidrogén-szulfátra hidrolizál. Erősen csípős ízű és illatú anyag. A fehérmustár magja 2–2,5 mm átmérőjű, sárgásfehér színű, íze enyhébb, és nincs csípős illata. Hatóanyaga a *szinalbin*, amely vízzel *tioglikozidáz* enzim hatására nem illó szinalbin-mustárolajra bomlik (10.11. ábra). Hazánkban mindkét mustárt termesztik; a mag egy részét pépes készítménnyé, asztali mustárrá dolgozzák fel.

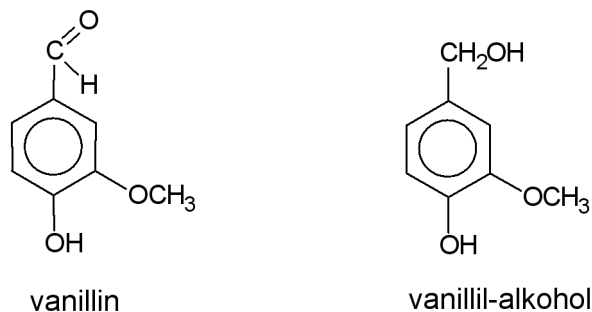
A *kömény* jellegzetes illatát és ízét 5–7% illóolaj-tartalmának köszönheti. A hatóanyagok 50–60%-a a *karvon*.

A *vanília* a meleg égövi kúszónövény toktermése, amelyet félretten szednek le, majd a jellegzetes aroma kialakítása céljából fermentálnak.



10.11. ábra. Mustárolajok keletkezése

Legfontosabb aromaanyaga a *vanillin*, amely 3–4%-ban fordul elő a toktermésben, és amely finom tűk alakjában ki is kristályosodik a termés felületén. Másik fontos hatóanyaga a *vanillil-alkohol*, amely a vanillinnal együtt eredetileg *szagtalan glükozid formában van jelen* a zöld termésben, és amely a *fermentáció alatt  $\beta$ -glükozidáz enzim hatására szabadul fel* (10.12. ábra). A vanília a fő aromakomponensek mellett vanillinsavat, fahéjsav-észtereket, 4-hidroxi-benzaldehydet, fenolokat, egyszerű és összetett cukrokat, zsírt és viaszanyagokat, valamint cellulózt és ásványi anyagokat tartalmaz.



10.12. ábra. A vanillin és a vanillin-alkohol

A *babérlevél* fűszeres illatú és kesernyés ízű. Hatóanyaga az 1–3% illóolaj-tartalomban 50–70%-ban jelen lévő *1,8-cineolból* áll. A *szegfűszeg* a trópusi, örökzöld szegfűszegfa megszáritott virágbimbójából álló, barnás színű, 4–5 mm hosszú, kellemes illatú, kissé kesernyés

ízű fűszer. 16–25% illóolajat tartalmaz, amelynek 70–90%-a *eugenol*, 10–15%-a pedig a jellemző illatot előidéző *eugenol-acetát*. A jó minőségű szegfűszeg szétnyomva olajat enged, vízbe téve lesüllyed vagy fejjel lefelé úszik.

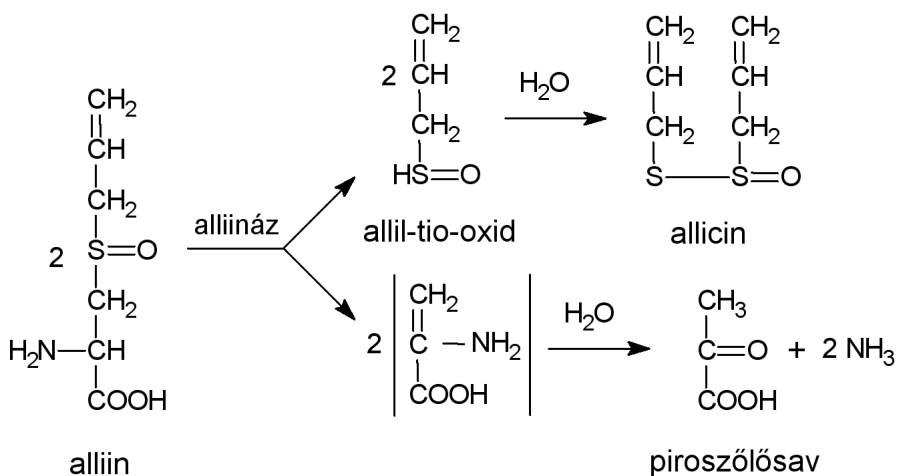
A *majoránna* a hazánkban is termesztett egyéves növény szárított, morzsolt levelei és virágzata. Szürkészöld színű, erősen aromás, kellemes illatú, kissé hűtő, kesernyés ízű anyag, amelynek illóolaj-tartalma 0,5–1%. Kesernyés íze a *csersavtartalomból* ered.

A *fahéj* a trópusokon, főként délkelet-ázsiai térségben, vadon élő és termesztett *Cinnamomum* fajták fiatal ágairól leszedett, szárított kéreg. Sárgástól sötétbarnáig terjedő színű, aromás-fűszeres illatú, édeskés, esetenként égető ízű fűszer, amelyben 1–3,5% illóolaj található. A fahéj olaj fő alkotórésze (65–75%) a *fahéjaldehid*, amely mellett 5–15% eugenolt, továbbá csekély mennyiségben fahéjsavat és egyéb komponenseket is tartalmaz. A fahéj darabosan vagy őrölt állapotban kerül forgalomba.

A *tormanövény* 20–30 cm hosszú, 2–4 cm vastag gyökere jellegzetesen csípős fűszerként használható. Frissen reszelve különösen égető ízű és könnyeket fakasztó szagú. Ezeket a tulajdonságokat a tormában keletkező mustárolajok, az *allil*-, a *fenil-etil*- és a *fenil-propil-mustárolajok* okozzák, amelyek részben szabadon, részben glükozinolatok alakjában találhatóak a növényben. A reszelt torma erősen csípős ízét és illatát a mustárolajok illékonyága miatt szárazon való melegítéssel csökkenteni lehet.

A *vöröshagyma* a hagymanövény gumószerű alsó szármódosulata, amely átlagosan 89% vizet, 8–9% szénhidrátot (fruktóz és némi rostanyag), 1,5% fehérjét, 0,1% zsíros olajat, 0,01–0,02% illóolajat és szeretlen savakat tartalmaz. Jellegzetes alkotórészei a *kéntartalmú aminosavakból keletkező S-alkil-cisztein-szulfoxidok*, amelyek közül az allil-származék, az ún. *alliin* a legfontosabb (10.13. ábra). Az eredetileg szagtalan vegyület a hagyma szöveteinek felaprításánál az *alliináz* enzimmel kerül érintkezésbe, és *könnyeztető hatású allil-tio-oxid*, majd *csípős ízű allicin*, *diallil-diszulfid* és *diallil-tioszulfonát keletkezik belőle*. Az allicin erős baktericid hatású fitoncid, amely még százezres hígításban is számos baktérium szaporodását gátolja. A vöröshagyma illóolaja alkil-szulfidokat, -diszulfidokat és -trisulfidokat is tartalmaz, amelyek jellegzetesen hagymaillatú vegyületek. A csípős ízhatás kialakulásához kisebb mennyiségben jelen lévő mustárolajok is hozzájárulnak.

A *fokhagyma* a vöröshagymával rokon növény, amelynek föld alatti része egy hártvány burokban 8–12 sarjhagymát foglal magában. 64% vi-



10.13. ábra. A hagyma és a fokhagyma csípős ízanyagai

zet, 30% szénhidrátot, 5% fehérjét, 0,2–0,5% zsíros olajat és illóolajat, fokhagymaolajat tartalmaz. Hatóanyagai a vöröshagymáéhoz hasonlóan az *S*-alkil-cisztein-szulfoxidok, továbbá az *alkil-szulfidok*, és a jellegzetes hagymaszaghoz a fitoncíd-hatású allicintartalom is hozzájárul.

Az *ánizs* illata a köménymagéra emlékeztet, de annál erősebb, íze pedig édeskesen aromás. Érzékszervi tulajdonságait a 2–6% illóolaj-tartalmának köszönheti, amely 80–90% *anetolt*, valamint *ánizsaldehidet*, *ánizssavat* és *esztragolt* is tartalmaz.

A *gyömbér* sajátságos illatú és csípős, kesernyész íű fűszernövény; kesernyész ízét a *zingeron* nevű ketonnak, illetve más, nagyobb molekulatömegű ketonoknak köszönheti. Illóolaja főként *monociklikus szeszkviterpénekből* áll, amelyek mellett megtalálható oxidált származékuk, az aromás szénhidrogénekhez tartozó *kurkumén*.

A *koriander* az ernyős virágzatú zergefű barnássárga színű, 3–5 mm átmérőjű, kemény magja. Kellemes illatát a 0,2–1% illóolaj-tartalmának köszönheti, amelynek fő komponense (60–70%) a *linalool*, amelyen kívül még számos terpén is van benne.



A *petrezselyem* az a fűszernövény, amelynek mind a levelét, mind a gyökerét használjuk. Zöldje illóolajat, karotinoidokat és vitaminokat tartalmaz. Jellegzetes aromáját a terpénszármazékoknak köszönheti.

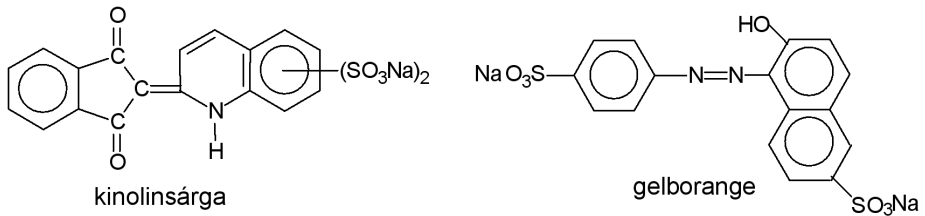
A *szegfűbors* egy trópusokon honos fa nem egészen érett, ráncos héjú, vörösbarna színű, bors nagyságú termése. A szegfűszeg és a fahéj keverékére emlékeztető illatú, gyengén égető ízű fűszer. Illóolajat, zsíros olajat és gyantát tartalmaz.

A *szerecsendió* egy trópusi örökzöld cserje termésének 2–3 cm hosszú, 2 cm vastag, tojásdad alakú, ráncos, szárított magbelsője. Erős illata és jellegzetes íze felvágva vagy reszelve azonnal jelentkezik; keményítőt, fehérjét és zsíros olajat, valamint 2–8% illóolajat tartalmaz. Ételek ízesítésére csak kis mennyiségben célszerű használni, mert nagyobb adagban hallucinogén, szinte kábítószer hatású, ugyanis illóolajának jellemző komponense, a *miriszticin*, a szervezetben *meszkalinszerű aminszármazékká* alakul át.

## 10.4. Mesterséges színezékek

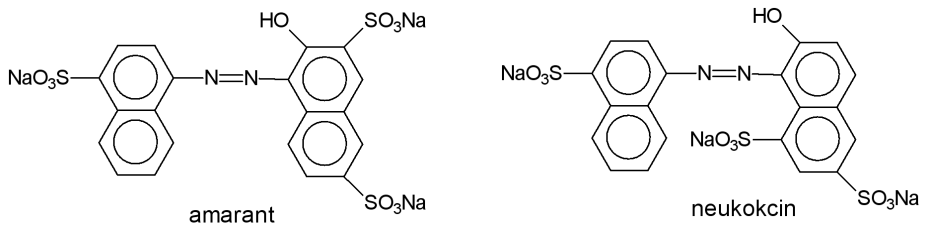
Az élelmiszeriparban a nyersanyagok feldolgozása, illetve a termékek tárolása alatt fellépő színveszteségek és színváltozások kiegyenlítésére gyakran használunk színezékeket. Erre különösen szükség van a tartósítóiparban, mert a konzerválási műveletek gyakran az eredeti színezőanyag elbomlását okozzák. Az élelmiszereket azonban nem szabad olyan célból festeni, hogy ezzel a nyersanyag rossz tulajdonságait elfedjék vagy a vásárlót megtévesszék az élelmiszer minőségével kapcsolatban. Ma már az élelmiszerek színezésére csak a teljesen közömbös anyagok használatát engedélyezik. A *sárga szín* intenzitásának növelésére kinolinsárga és tartrazin nevű festékeket, a narancssárga színűre festéskor a gelborange adagolását javasolják (10.14. ábra).

*Piros színt* amarant (naftolvörös), neukokcin, azorubin és eritrozín nevű színezékek felhasználásával érhetünk el (10.15. ábra). Színre ható adalék az egyes húsipari termékek pácolására használatos nitrit és a nitrát is. A *hús piros színét a mioglobinn* nevű fehérje *adja*, amely azonban hő hatására megbarnul. A hőkezelt húskészítmények kívánatos vörös színét csak adalékanyagokkal lehet elérni. A hőkezelt hús színének közvetett kialakítására bizonyos termékeknél a nátrium-nitrit használható, amelyből savanyú kémhatású közegben nitrogén-oxid keletkezik, amely *a mioglobinnal piros nitrozó-mioglobint képez*, amely főzés után is meg-



10.14. ábra. Sárga színt adó vegyületek

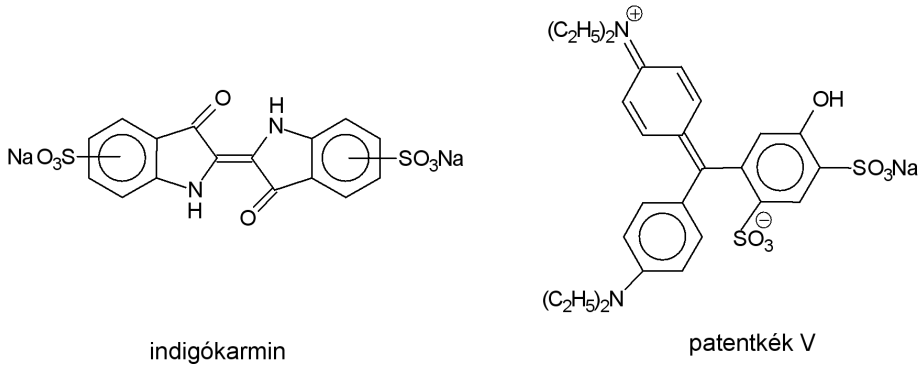
őrzi a színét. A hosszú érlelési idejű húskészítmények színének kialakításához kálium-nitrátot is lehet használni, amely adalék a húsban lévő mikroorganizmusok hatására nitritté redukálódik, így fejtve ki hatását.



10.15. ábra. Vörös színt adó vegyületek

A kék színezésre az indigókarmin és a patentkék V használható (10.16. ábra). Cukrok fehérítésére engedélyezték az indantrénkéket és az ultramarinkéket is. Élelmiszer-ipari célokra a fekete szín kialakítására használható a brillantfekete, és néhány élelmiszer fekete színezése szénporral (aktív szénnel) is megoldható. Az előzőekben felsorolt színezékekből az alábbi színkeverékek állíthatók össze:

- zöld szín sárga és kék színezékekkel,
- ibolyaszín vörös és kék színezékekkel,
- narancssárga szín vörös és sárga színezékekkel,
- csokoládébarna szín vörös, sárga és fekete színezékekkel,
- rumbarna szín vörös, sárga és kék színezékekkel.



10.16. ábra. Kék színt adó vegyületek

## 10.5. Állományjavító adalékok

Az élelmiszeripari termékek gyakran nagy víztartalmú, illetve zsírtartalmú anyagok, jellegük azonban esetenként megkívánja, hogy ennek ellenére szilárd vagy félszilárd halmazállapotúak maradjanak. A nagy víztartalmú anyagok konzisztenciájának fenntartására gélképző szereket, a zsíradéktartalmú rendszerek stabilizálására emulgeálószerket használnak. Ezek az állományjavító anyagok lehetnek szénhidrát és fehérje alapú gélképzők, szervesetlen állományjavító anyagok, valamint emulgeátorok.

### 10.5.1. Szénhidrát alapú gélképzők

A *pektin* a legelterjedtebb élelmiszer-állományjavító adalék. *Láncmolekulái galakturonsav részekből épülnek fel, amelyeknek egyes karboxilcsoportjait metil-alkohol észteresíti*, illetve kalcium-, nátrium- vagy káliumionokkal kapcsolódik. Azokat a termékeket, amelyekben a karboxilcsoportoknak több mint fele (55–75%) észteresítve van, erősen észterezett pektineknek nevezzük, míg a gyengén észterezett pektinekben ez az arány 5–45%. A pektingél térhálós szerkezetű. A pektint általában oldat alakjában adagolják. Adott pektintartalom mellett annál jobb a kocsonyásítóképesség, minél nagyobb a pektin molekulatömege. A kereskedelmi készítményeknél a molekulatömeg 10–300 ezer dalton között van. A léalma feldolgozásánál a jobb lékinyerés miatt pektinbontó enzimet kell alkalmazni.

Az agar a tengeri vörösmoszatokban képződik, ahonnan forró vízzel kivonják, és tisztítás után szálastermékként hozzák forgalomba. Olyan *heterogén poliszacharid*, amely főként  $\beta$ -D-galaktopiranóz és 3,6-anhidro- $\alpha$ -L-galaktopiranóz részekből épül fel váltakozó 1–4 és 1–3 kötésekkel. A láncmolekula kismértékben kénsavval észtereszítve van. Az agar hideg vízben gyakorlatilag oldhatatlan, forró vízben viszont kolloid oldata jön létre, amely lehűlés közben 40 °C körül kocsonyává dermed. Az agar igen jó gélképző, már 0,2%-os oldatából is kocsonya keletkezik. Az agart édesipari zselék, desszertek, lekvárok, fagyaltok, joghurtok és mikrobiológiai táptalajok készítésére használják. Vegetáriánusok számára készülő termékekben *helyettesítheti az állati adalékot*. Az agar az élelmiszerekben nem növeli az energiatartalmat, mert gyakorlatilag emészthetetlen.

Egyes tengeri vörösmoszatok, vörösalgák az agarhoz kémiaileg hasonló kémiai anyagokat, ún. *karragenátokat* termelnek. Ezek is galaktánok, amelyeknek öt változatát ismerjük. *Valamennyi D-galaktózból és 3,6-anhidro-D-galaktózból épül fel*, amelyek részben 2-, 4-, 6-szulfát vagy 2,6-diszulfát alakban vannak jelen. Forró vízben valamennyi karragenátmódosulat oldható, lehűtve általában gélt képeznek. Élelmiszerek előállításánál a karragenátok gélképző, viszkozitásnövelő, emulgeáló és stabilizáló hatását hasznosítjuk. A tejiparban rendkívül kedvelt, mert tejjel már 0,2%-os oldatban is gélt képez. Gyümölcsjoghurtok, fagyaltok, krémsajtok, pudingok, cukrászipari zselék, krémekek és halkocsonyák készítésénél 0,01–1,0%-os arányban adagolják. A karragenátok közös jellemzője, hogy nem emészthetők, ezért különösen alkalmasak kis energiatartalmú élelmiszerek előállítására. Mesterséges édesítőszerrel kombinálva *diabetikus dzsemek is készíthetők belőle*.

A tengeri barnamoszatok sejtfalában keletkező uronsav-polimerek, az alginok alkáli-, magnézium- és kalciumsóinak keverékei az *alginátok*. *Felépítésükben 1–4 kötéssel kapcsolódva  $\beta$ -D-mannuronsav és  $\alpha$ -L-guluronsav vesz részt*. E két komponens aránya az egyes moszatoknál más és más. Az élelmiszeriparban a vízdoldható alginátokat viszkozitásnövelésre és stabilizálószerként, a kalcium-alginátokat pedig kocsonyasítók adalékként használjuk. Az alginátok származéka a propilén-glikol-alginát, a kiváló stabilizáló adalék, amelyet a rostos gyümölcsitalok, a sörhab és a salátaöntetek állományjavítására lehet használni.

A *keményítőt* állományjavító adalékként keletkezési helyéről kivontan és tisztítottan vagy természetes kísérőivel együtt használjuk. A keményítő szobahőmérsékleten vízben nem oldódik, nem duzzad, 60 °C

*körüli értéken* azonban *csirizesedés indul meg*. Ennek első fázisában a keményítőszemcsék még megtartják jellegzetes alakjukat és réteges szerkezetüket, csak nagymértékben megduzzadnak és áttetszővé válnak. A második szakaszban megszűnik a szemcsék belső rendezettsége, tartós forralással a szemcsék teljesen szétesnek, keményítőszál keletkezik, és a kihűlő csirizoidat kocsonyás szerkezetet vesz fel. A keményítőt az élelmiszeriparban és ételek készítésekor adalékként használják. A pudingporok alapanyaga is keményítő, amit ízesítő- és színezőanyagokkal egészítenek ki. A keményítőgélek jellegzetes és nemkívánatos tulajdonsága a *retrogradáció*, a *gél előregeedésére való hajlam*. Ez a jelenség a gél kihűlése után azonnal megkezdődik, de észrevehető jelei csak 12–48 óra múlva jelentkeznek, amikor pl. a kenyérbél megkeményedik és morzsálékkossá válik.

A keményítő eredeti tulajdonságait fizikai, kémiai és enzimés eljárásokkal, illetve ezek kombinációjával módosítani lehet. A *duzzadó keményítőt* úgy készítik, hogy a burgonyából vagy kukoricából származó keményítő kevés vízzel készített szuszpenzióját forró hengerek között, vékony rétegben átnyomják, aminek hatására a keményítőszemcsék elcsirizesednek és egyúttal gyorsan megszáradnak. Az így kapott termék *hideg vízben is oldódik*, és kellő koncentráció esetén éppúgy *géllé duzzad*, mintha az eredeti keményítőt főztük volna. A *savval módosított keményítő* úgy készül, hogy a natív keményítő vizes szuszpenzióját sósavval, kénsavval vagy foszforsavval kissé megsavanyítják, és a csirizesedési hőmérsékletnél alacsonyabb hőfokra hevítik. A savas kezelés hatására elsősorban az amilopektin elágazási helyein lévő  $\alpha$ -1-6-glikozidos kötések, de kisebb mértékben mindkét keményítőkomponens  $\alpha$ -1-4 kötései is hidrolizálódnak. Az így kapott keményítőszármazékok hideg vízben kevésbé, *forró vízben viszont jól oldódnak*, ezért ezeket a termékeket oldható keményítőnek is nevezzük. A natív keményítőt alkalikus nátriumhipoklorit oldattal, a csirizesedési hőmérsékletet el nem érően melegítve, ún. *oxidált keményítőt* kapunk. Az eljárásnál részben az  $\alpha$ -1-4-kötések hidrolizálódnak, részben a *glükózrészek hatodik szénatomján lévő alkoholos hidroxilcsoportok oxidálódnak* karboxilcsoporttá. Gélt nem képeznek, és retrogradációt sem mutatnak.

A *keményítő-éterek* előállításánál a natív keményítő 30–40%-os szuszpenzióját elegyítik lúgos közegben a megfelelő reagenssel. Így etilén-oxiddal *hidroxi-etil-keményítőt*, propilén-oxiddal *hidroxi-propil-keményítőt* kapnak. A szubsztitúció mértékét a reakció körülményeinek változtatásával tág határok között lehet szabályozni. Monoklór-ecet-

savval *karboxi-metil-keményítőt* lehet előállítani, amely hideg vízben és etanolban azonnal duzzad. *Keményítő-észtereket* úgy állítanak elő, hogy az amilóz- és amilopektin-láncban lévő glükózmaradékok második és harmadik szénatomján lévő szekunder, továbbá a hatodik szénatomján lévő primer *alkoholos hidroxilcsoportot szervesen és szervetlen sa-vakkal észtereszítik*. A *keményítő-monofoszfátokat* úgy állítják elő, hogy keményítőt hevítenek csekély mennyiségű nátrium-ortofoszfáttal vagy nátrium-tripolifoszfáttal 120–160 °C-ra. *Keményítő-acetátot* ecetsavan-hidriddel vagy vinil-acetáttal lúgos közegben végrehajtott észterezéssel nyerhetünk. Keményítő-észtereket a fentiekén kívül adipinsavval, citromsavval, borostyánkőssavval és nagyobb szénatomszámú zsírsavakkal is készíthetünk. A keményítő-észterek előnyös állományjavító hatásúak.

Az erőteljes mechanikai hő- és savhatásokkal szemben a legnagyobb ellenállást a *keresztkötésekkel térhálósított keményítő-éterek és -észterek* mutatják. A *dikeményítő-glicerint* natív keményítőből, lúgos közegben, csekély epiklórhidrin segítségével állítják elő. Semlegesítés után a melléktermékeket vízzel eltávolítják, majd a glicerín-éter kötésekkel térhálósított keményítőt megszárazítják. A térhálósított észterek közül a *dikeményítő-foszfát* és a *dikeményítő-adipát* a legfontosabb. Az előbbit nátrium-trimetáfoszfáttal vagy foszfor-oxikloriddal, az utóbbit adipinsav-anhidriddel lehet létrehozni a térhálósított keményítőszármazékokból. A keresztkötések viszonylag ritkák, csak minden kétszázadik-ezredik glükózmaradék között alakulnak ki. Ez is elegendő azonban ahhoz, hogy a duzzadt keményítő eredeti viszkozitása tartós hőkezelés, erőteljes megmunkálás vagy savas kezelés után is megmaradjon. A térhálósított keményítőszármazékok az emésztőcsatornában a natív keményítőhöz hasonló módon bomlanak le. Használatukat minden országban engedélyezik.

A *cellulóz-éterek* olyan cellulózsármazékok, amelyekben a láncmolekula egyes glükózrészeinek hatodik szénatomján lévő primer alkoholos hidroxil-, továbbá esetleg a második és harmadik szénatomon lévő szekunder *alkoholos csoportok képeznek étert alkil-, hidroxialkil- és karboxi-alkil-gyökökkel*. Vannak egyszerű éterek, amelyekben csak egy, és kevert éterek, amelyekben különböző szubsztituensek kapcsolódnak a cellulózláncához. A kereskedelmi forgalomba kerülő cellulóz-éterek általában 0,4–1,2 éterezettségi fokúak, ami azt jelenti, hogy glüközegységenként ennyi hidroxilcsoportjuk van szubsztituálva. A sokféle cellulóz-éter közül legfontosabb a *karboxi-metil-cellulóz* (CMC) és nátriumsója, amelyek ionos vegyületek. A karboxi-metil-cellulóz íz- és

szagmentes, semleges kémhatású, jól tárolható, laza, fehér por. A mikroba számára rossz táptalaj. Lineáris molekuláinak polimerizációs foka 400–2000 közötti, éterezettségi foka 0,4–0,9 között van. Elsősorban *csökkentett tápértékű, telítettségi érzést keltő termékek előállításához használják*. A cellulóz-éterek közül a CMC mellett a nagymértékben szubsztituált *metil-cellulóz*nak is van jelentősége, sőt az élelmiszeriparban állományjavítóként használják a hidroxipropil-cellulózt, a metil-etil-cellulózt és a hidroxipropil-metil-cellulózt is.

Az *egyéb, szénhidrát alapú gélképzők* közé tartozik a *gumiarábikum*, az egyes trópusi akácfélék megmetszett kérgéből kicsurgó váladék, amelyet levegőn megszárítanak. Kémiaailag hasonló összetételű poliszacharidok elege, amelyeknek molekulatömege 260 ezer és 1,2 millió dalton között van. Hidrolízisük során D-galaktóz, D-glükuronsav, L-arabinóz és L-ramnóz keletkezik. Szerkezetét tekintve  *$\beta$ -D-galaktózmaradékokból álló, 1-3-kötésekkel kapcsolódó főláncból áll*, amelyhez a galaktóz hatodik szénatomján az előbb említett, monoszacharidokból felépülő oldallánc kapcsolódik. Az élelmiszeriparban testesítő, emulgeáló és stabilizáló adalék.

A *tragant* növényi gumi, amit egyes pillangós növények választanak ki. Az élelmiszeriparban egyes salátaöntetek stabilizálására (0,4–1,2%), jégkrémekhez (0,5%) és cukrászsütemények díszítésének elkészítésére használják. A *szentjánoskenyérmag-liszt* 88%-a olyan poliszacharid, amelynek főlánc 1–4-kötésekkel kapcsolódó  *$\beta$ -D-mannopiranoz-részekből áll*. Minden negyedik-ötödik mannóanmaradékhoz oldalláncként 1–6-kötéssel  *$\alpha$ -D-galaktopiranoz-rész csatlakozik*. Az élelmiszeriparban testesítő és stabilizáló adalékként használják. *A kevés sikért tartalmazó tészták vízkötő képességét rendkívüli módon javítja*.

A *guárgumi* a hüvelyesekhez tartozó guárnövény magjából őrölt liszt. Fő alkotórésze a guarán, amely 1–4-kötésekkel kapcsolódó  *$\beta$ -D-mannopiranoz-főláncból* és minden második lánctaghoz 1–6-kötéssel kapcsolódó  *$\alpha$ -D-galaktopiranoz-maradékból áll*. Állományjavítóként használják az élelmiszeriparban. A *xantán* a *Xanthomonas* baktériumok által képzett,  $10^6$  daltonnál nagyobb molekulatömegű poliszacharid. A xantánban a cellulózszerűen összekapcsolódó *glükóanmaradékok  $\beta$ -1-4-kötésekkel alkotják a főláncot*, amelyben minden második glükózrészhez oldalláncként acetilezett mannóz, glükuronsav és esetenként piroszőlősav is csatlakozik. A xantánt az élelmiszeriparban diétás gyümölcskészítmények, szörpök és húskészítmények előállítására használják. A *dextrán* glükózrészekből  *$\alpha$ -1-6-kötésekkel felépülő láncot*, és

ehhez 1–3 kötésekkel kapcsolódó rövid glükózláncot tartalmaz. Az élelmiszeriparban fagylaltok, italok, édességek és sütőipari termékek adalékanyaga lehet.

### 10.5.2. Fehérje alapú gélképzők

A *zselatin* lineáris polipeptid, amelynek molekulatömege 10–200 ezer között változik. *Felépítésében főként a lizin, a prolin, a hidroxiprolin, a glutaminsav és az alanin vesznek részt.* Az élelmiszeripari célú zselatint tisztított csontokból, inakból és bőrhulladékból állítják elő, a kollagén forró vízzel vagy 5%-os sósavoldattal való hidrolízise, majd kioldása, besűrítése és szárítása révén. Lényegében tehát a zselatin íztelen, szagtalan és színtelen, étkezési célokra alkalmas, tiszta enyv. Jó minőségű zselatin esetén az 1%-os koncentrációjú oldat géllé dermed. A gél szilárdsága a zselatin koncentrációjától, valamint az oldás és hűtés körülményeitől függ. Kocsonyásítóképessége kisebb, mint az agaré vagy a karboxi-metil-cellulózé. A zselatint az élelmiszeriparban egyes húsipari termékek (kocsonyák, sajtok, sonkakészítmények), továbbá aszpikok, fagylaltok, gyümölcszselék és mikrobiológiai táptalajok készítésére használják.

A *kazein* a tejfehérje fő alkotórésze, amely a tehéntejben az összes fehérje mintegy 78–80%-át teszi ki. Kémiai szerkezetét tekintve foszofoprotein; a tejben kalciumsójának kolloid oldata található. A kazein 75%  $\alpha$ -kazeinből, 22%  $\beta$ -kazeinből és 3%  $\gamma$ -kazeinből áll. Ezek a kazeinfrakciók sem egységes anyagok, hisz elektroforézissel vagy izoelektromos fókuszálással több fehérjefrakcióra lehet szétbontani őket. A tejben lévő kazeinből kétféle módon keletkezhet gél: *kicsapathatjuk savval, és oltóenzimmel is, parakazeinné hidrolizálva.* Mindkét esetben a fehérjerészecskék kapcsolódása révén kialakuló gélszerkezet a tej folyékony fázisát teljesen magába zárja. A kazein izoelektromos pontján (pH = 4,5–4,6) oldhatatlanná válik, mert a karboxilcsoportjainak disszociációja visszaszorul, a molekula negatív töltése csökken, és a hidratáció kisebb mértékű lesz. Közben a kalciumionok tejsav hatására főként kalcium-laktát alakjában leválnak a kazeinmolekuláról. Az oltóenzim segítségével kialakított kalcium-parakazeinát gél alkalmazására a sajtgyártás a legjobb példa. A kialakuló alvadék szilárdságát kalciumionok bevitelével és savanyítással növelni lehet. A tejből kicsapott vízoldhatatlan kazein lúgos kémhatású vegyszerekkel oldatba vihető. *Az oldhatóvá tett kazein sója, a nátrium-kazeinát, amely fehér*



porként kerül forgalomba. *Húskészítményekhez 1–3%-ban adagolva javul a vízkötő képesség, és zsíremulgeáló hatása is van.*

A szója magvaiból a fehérjetartalmat ki lehet vonni, amely állományjavító adalékként használható. A növényi eredetű fehérjék közül a *szójafehérje konzisztenciajavító hatása és aminosav-összetétele is a legkedvezőbb*, tehát a szójafehérje adagolása táplálkozás-élettani szempontból is ajánlható. A szójafehérje-izolátum 90%, a koncentrátum 70%, a texturált szójafehérje-készítmények pedig 50% fehérjetartalmúak. Hazánkban is *rendszeresen adagolják húskészítményekhez, elsősorban húspép alapanyagú készítményekhez, például a párizsihoz, a virslihez és a krinolinhoz.*

### 10.5.3. Szervetlen állományjavító adalékanyagok

A *konyhasó* az ízhatáson kívül növeli az izomfehérjék duzzadóképességét és vízkötő kapacitását. A *kondenzált foszfátok* vagy *polifoszfátok* részben *segítik az izomfehérjék vízkötését*, másrészt hatásukra a hideg húsból készült pép állománya meglágyul, a meleg húsból készült péphez válik hasonlóvá. A tejiparban az *ömlesztett sajtok előállítására sókeveréket használnak*, amelynek fontos alkotórésze a nátrium-polifoszfát, valamint a citromsavas, borkósavas és tejsavas nátriumsó. Hatásukra a kalcium komplex alakjában kötődik, és olyan fehérje-zsír emulzió jön létre, amely stabilizált íz és illat mellett kenhető marad.

### 10.5.4. Emulgeátorok

Az emulziók olyan diszperz rendszerek, amelyeket két vagy több, egymással nem elegyedő folyadék oly módon képez, hogy *a nagyobb arányban jelen lévő komponens összefüggő fázisában a másik folyadék kisebb-nagyobb cseppek alakjában oszlik el*. Az emulziók önmagukban nem stabil rendszerek, mert a folyadékok közötti különböző felületi feszültség és sűrűség hatására hamarosan szétválnak. Állandósításuk olyan adalékok segítségével lehetséges, amelyek csökkentik a két, egymással nem elegyedő folyadék határfelületi feszültségét, továbbá növelik a diszperziós közeget képező folyadék viszkozitását. Ezeket az adalékokat emulgeátoroknak nevezzük.

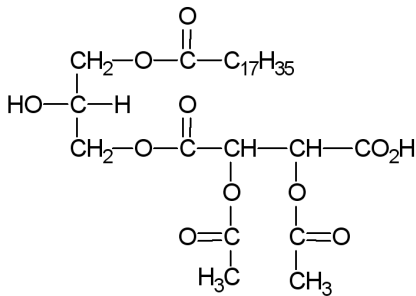
Az *emulgeátorok* kémiai felépítésüket tekintve olyan molekulákból állnak, amelyben *hidrofil és hidrofób csoportok is találhatóak*. Ez a kettős oldékonyság az emulziókban a két fázis határfelületére irányítja

az emulgeátorokat, amelyek itt orientálódnak, és összekapcsolják a két folyadékot. Ha a diszperziós közeg víz, és benne olaj van elosztatva, az emulziót olaj/víz jellegűnek, rövidítve o/v-nek nevezzük. Fordított esetben víz/olaj, rövidítve v/o emulzióról beszélünk. A legismertebb o/v emulzió a tej, a tejszín, a majonéz és számos húsipari vörösáru. A v/o emulziók legfontosabb képviselői a vaj és a margarin.

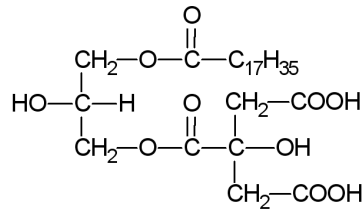
Eredetüket tekintve az emulgeátorok lehetnek természetes vagy mesterséges anyagok. A legismertebb *természetes emulgeátorok* a foszfolipidekhez tartozó *lecitin* és *kefalin*. Bennük a foszfátrész erősen hidrofil, a zsírsavláncok viszont határozottan lipofilek. Elsősorban az o/v emulziók stabilizálására alkalmasak. Nagyobb mennyiségben a tojássárgájában, az olajos növényi magvakban és egyes élesztőgombákban képződnek. A kereskedelemben kapható nyers lecitint szójaolajból állítják elő. Csokoládéhoz, édesipari töltelékekhez és lisztes árukhoz, húskrémekhez, fagyaltokhoz és jégkrémekhez adagolják 0,2–1%-ban. A *természetes emulgeálószerekhez* tartoznak az egyes fehérjék is, amelyekben a hidrofil rész dominál, ezért főleg az o/v emulziók stabilizálására alkalmasak.

A legrégebben ismert *mesterséges emulgeátorok* a mono- és digliceridek, amelyek a glicerinnel egy vagy két zsírsavval képzett észterei. Lipofil jellegük miatt elsősorban a v/o emulziók stabilizálására alkalmasak. Különböző, nagy zsiradéktartalmú krémek, salátaöntetek, margarin és majonéz előállításához, valamint sütőipari termékek öregedésének gátlására használják. A *mono- és digliceridek szabad alkoholos hidroxiljait különböző szerves savakkal, elsősorban hidroxisavakkal észteresíteni lehet* (10.17. ábra). Ezekben az észterekben megnövekszik a hidrofilcsoportok aránya, így o/v emulziók stabilizálására is alkalmassá válnak. Sok változatuk van forgalomban, amelyek többsége szabad karboxilcsoportot tartalmaz, ami savas kémhatást idéz elő.

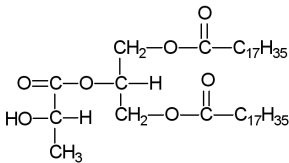
A tejsav, illetve a két tejsav kapcsolódásából keletkező *laktil-tejsav* zsírsavakkal képzett észterei is jó élelmiszeripari emulgeátorok. Közülük a sztearil-laktiltejsav, illetve ennek nátrium- és kalciumsója a legfontosabb (10.18. ábra). A *cukorészterek* is kettős oldékonyságú molekulák, amelyek jó emulgeátorok. Az élelmiszerek előállítása során közülük a szacharóz és a laktóz 14, 16 és 18 szénatomos zsírsavakkal képzett mono- és diészterei terjedtek el. A szacharóz-mono-sztearátot o/v emulziók stabilizálására és instant porok oldhatóságának javítására használják. A cukorészterekkel rokon vegyületek a szorbitán-észterek. A szorbitán a szorbit anhidridje. Zsírsavakkal 150–200 °C-ra hevítve 1,4 és



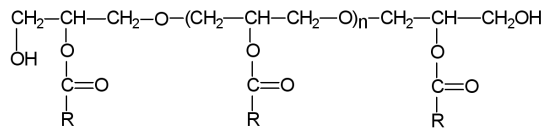
diacetil-borkősav-monosztearát



citromsav-monosztearát



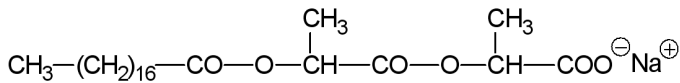
tejsav-disztearát



poliglicerin-észter

10.17. ábra. Glicerid-észter emulgeátorok

1,5 szorbitán-észterek keletkeznek belőle. A mesterséges élelmiszeripari emulgeátorok közé tartoznak még a különböző polioxietilén-vegyületek.



10.18. ábra. A sztearil-laktil-tejsav Na-sója

A természetes és mesterséges emulgeátorok oldhatósági viszonyai a bennük lévő hidrophil és lipofil csoportok arányától függően különböznek, ennek megfelelően használati területük is eltérő. A megfelelő emulgeátor kiválasztásának elősegítésére különféle mérőszámokat dolgoztak ki, amelyek közül legismertebb a *HLB-skála* (hidrophil-lipofil-egyensúly), amelynek értékei 0-tól 20-ig terjednek. *A kevésbé poláros molekulák HLB-száma kicsi, a polaritás növekedésével a HLB-szám is növekszik* (10.1. táblázat). A 0–9 HLB-értékű emulgeátorok az olajban, a 11–20 közöttiek a vízben oldódnak. A skála közepén a 10-es érték azt jelenti, hogy a hidrofób és a hidrophil csoportok száma közel azonos.

**10.1. táblázat.** *Néhány emulgeátor HLB-értéke*

| Megnevezés                           | HLB-érték |
|--------------------------------------|-----------|
| Szorbitán-trioleát                   | 1,8       |
| Szorbitán-trisztearát                | 2,1       |
| Etilén-glikol-zsírsavészter          | 2,7       |
| Glicerín-disztearát                  | 3,0       |
| Propilén-glikol-zsírsavészter        | 4,5       |
| Szorbitán-monosztearát               | 4,7       |
| Glicerín-monosztearát                | 5,3       |
| Lecitin                              | 5,9       |
| Dietilén-glikol-monolaurát           | 6,5       |
| Szorbitán-monolaurát                 | 8,6       |
| Polioxietilén-szorbitán-trisztearát  | 10,5      |
| Diacetilborkősav-glicerid            | 11,0      |
| Ca-sztearoil-2-laktilát              | 13,0      |
| Polioxietilén-szorbitán-monosztearát | 14,9      |
| Na-oleát                             | 18,0      |
| K-oleát                              | 20,0      |

Az emulgeátorok megválasztásánál a HLB-értékek az alábbi eligazítást nyújtják: habzásgátláshoz 0–3 HLB, v/o emulgeáláshoz 3–8 HLB, o/v emulgeáláshoz 8–18 HLB, mosószerhez 11–15 HLB, zavarosodásgátláshoz 15–18 HLB-értékkel rendelkező adalékok javasolhatók. Az emulgeáló hatás az adagolási aránytól és a rendszer hőmérsékletétől is függ. Minél nagyobb az emulzió diszperzitásfoka, annál több emulgeáló adalékra van szükség, mert annál nagyobb a két fázis határfelülete.

## 10.6. Tápértéket növelő adalékok

A különféle élelmiszerek előállításához az alábbi esetekben használnak fel tápértéket növelő adalékokat:

- Az élelmiszer nyersanyaga eredetileg tartalmazza az adalékok komponenseit, de ezek a feldolgozási műveletek alatt elbomlottak vagy elvesztek.

- Az egyes élelmiszerek alkalmasak arra, hogy velük speciális céllal nagy tápértékű vagy élettanilag fontos komponenseket vigyünk be az étrendbe.
- Vannak olyan élelmiszerek is, amelyekből egyes élettanilag nélkülözhetetlen alkotóelemek (pl. vitaminok) teljesen hiányoznak, de zavartalan emésztésükhöz és hasznosításukhoz ezekre szükség lenne.

A tápértéket növelő adalékok alkalmazását nagy körültekintéssel, az egészségügyi hatáság engedélyének megszerzését követően lehet végezni. A termékek csomagolásán a dúsítás tényét és mértékét fel kell tüntetni, és az adatok valóságát analízissel rendszeresen ellenőrizni kell.

### 10.6.1. Vitamindúsítás

A vitamindúsításhoz a kiindulási alapot a vitaminszükségleti adatok jelentik, amelyeket a kérdéses élelmiszer várható átlagos fogyasztásával kell egybevetni. Figyelembe kell venni, hogy a vitaminok nagyon reakcióképes és ezért instabil anyagok, tehát a készterméken deklarált értéknél többet kell adagolnunk, hisz *a technológiai műveletek és a tárolás alatt elkerülhetetlen a vitaminveszteség*. Gyakorlati tapasztalatok alapján A-vitaminból 30%-kal, C-vitaminból 20–30%-kal, B<sub>1</sub>-vitaminból 20%-kal, míg a többi vitaminnál mintegy 10%-kal nagyobb mennyiséget kell a szükségletnél adagolni. Mivel az adagolandó vitaminok tömege a készülő élelmiszerek mennyiségéhez viszonyítva csekély, ezért célszerű ezt valamilyen hordozóanyaggal összekeverve, előkeveréket előállítani, amelyet már könnyebb egyenletesen eloszlatni a nyersanyagokban, illetve a félkész termékekben. *A vitamindúsításra a technológiai folyamatoknak azt a szakaszát kell kiválasztani, amelyet már nem követnek erőteljes fizikai és kémiai behatások*, és a késztermékek csomagolását is úgy kell kialakítani, hogy az védelmet jelentsen a vitamintartalom számára. A vitaminok érzékenységét a különböző környezeti tényezőkkel szemben a 10.2. táblázat mutatja:

Vitaminok élelmiszeripari felhasználásánál figyelembe kell venni, hogy egyes vitaminoknak jellegzetes illata, íze, színe és mellékhatása van. A B<sub>1</sub>-vitamin például határozottan élesztőízű és -illatú anyag. A B<sub>2</sub>-vitamin keserű ízű, sárga színű vegyület, a nikotinsav pedig érzékeny embereknél bőrpírt és viszketést okoz, ezért az élelmiszerekbe mindig az amidját adagolják, amelynek nincs ilyen másodlagos hatása. Külföldön *rendszeresen vitaminozzák a fehér búzalisztet, amely a héjré-*

**10.2. táblázat.** A vitaminok érzékenysége a környezeti tényezőkkel szemben

| Megnevezés                       | Fény | Hő | Levegő és oxidálóanyagok | Redukálóanyagok | Savak | Lúgok | Nedvesség |
|----------------------------------|------|----|--------------------------|-----------------|-------|-------|-----------|
| Retinol (A <sub>1</sub> )        | ++   | +  | ++                       | -               | +     | -     | -         |
| Kolekalciferol (D <sub>3</sub> ) | ++   | +  | ++                       | -               | +     | +     | -         |
| Tokoferol (E)                    | +    | +  | +                        | -               | +     | +     | -         |
| Fillokinon (K)                   | ++   | -  | +                        | -               | -     | ++    | -         |
| Tiamin (B <sub>1</sub> )         | +    | ++ | -                        | -               | -     | ++    | +         |
| Riboflavin (B <sub>2</sub> )     | ++   | -  | -                        | +               | -     | ++    | -         |
| Nikotinsavamid (PP)              | -    | -  | -                        | +               | -     | +     | -         |
| Piridoxin (B <sub>6</sub> )      | +    | -  | -                        | +               | +     | +     | -         |
| Pantoténsav                      | -    | +  | -                        | -               | ++    | ++    | +         |
| Folsav                           | +    | +  | ++                       | ++              | +     | +     | -         |
| Biotin (H)                       | +    | -  | +                        | -               | +     | +     | -         |
| Kobalaminok (B <sub>12</sub> )   | +    | -  | +                        | ++              | ++    | ++    | +         |
| Aszkorbinsav (C)                 | +    | +  | ++                       | -               | -     | ++    | +         |

++ = nagyon érzékeny, + = érzékeny, - = nem vagy alig érzékeny

szek eltávolítása miatt szinte teljesen elveszíti eredeti vitamintartalmát. Az Egyesült Államokban pl. 1 kg fehér liszthez 4,2 mg B<sub>1</sub>-vitamint, 2,5 mg B<sub>2</sub>-vitamint és 30,3 mg nikotinsavat adnak. Egyes vitaminokat nem a tápérték növelése, hanem más technológiai cél érdekében adagolnak az élelmiszerekhez. Így pl. az aszkorbinsav lisztjavító szer, a karotinoidek és a riboflavin pedig természetes színezékek lehetnek.

### 10.6.2. Fehérjekomplettálás

A felnőtt ember fehérjeszükséglete az életkortól és a fizikai megterheléstől függően napi 80–110 g. Vegyes étrend esetén ez a fehérjemennyiség elegendő esszenciális aminosavat tartalmaz, egyoldalú étrend esetén azonban még a kellő fehérjefogyasztás mellett is *esszenciális aminosavhiány léphet fel*. Amint korábban már volt szó róla, egy felnőtt ember számára esszenciális a fenil-alanin, a metionin, az izoleucin, a treonin, a leucin, a triptofán, a lizin és a valin. A felsoroltakon kívül az arginint és a hisztidint is az esszenciális aminosavak közé sorolhatjuk az emberi szervezet bizonyos fejlődési szakaszaiban, amikor fokozott fehérjeszintézis játszódik le. Azokat a fehérjéket, amelyek *az esszenciális aminosavakat kellő mennyiségben és megfelelő arányban tartalmazzák* az ember számára, *teljes értékű fehérjéknek* nevezzük. Ilyenek pl. a hús, a tojás és a tej fehérjéi. A *növényi eredetű fehérjék* azonban nem ilyenek, mivel ezekből *a lizin, a metionin, a treonin és a triptofán kisebb-nagyobb mértékben hiányzik*. A kevés teljes értékű fehérjét fogyasztók életműködéseiben rendellenességek léphetnek fel, ezért a túlnyomóan növényi eredetű élelmiszereket fogyasztóknál a fehérjetartalom aminosavkészletét *komplettálják*, azaz a *hiányzó esszenciális aminosavakkal kiegészítik*. Hazánkban a komplettálásra a gabona alapú élelmiszerek esetén lenne szükség, mert a búza és a rozs fehérjéi kevés lizint, metionint és treonint tartalmaznak.

A komplettálás *aminosav-készítmények* vagy kedvező aminosavkészlettel rendelkező *természetes fehérjék* felhasználásával történhet. Bár nálunk ez utóbbi változatot részesítik előnyben, a tiszta aminosavakkal való élelmiszer- és takarmánykiegészítés céljára az utóbbi időben rendkívüli módon megnövekedett az aminosavak termelése. Ételízesítőkhöz L-glutaminsavból használnak fel legtöbbet, a fehérje biológia értékének javítására pedig alkalmazzák a metionin-, lizin-, treonin- és izoleucinkiegészítést is. *Az aminosavak előállíthatók kémiai szintézissel, fehérjehidrolizátumokból való izolálással és mikrobiológiai fermentációval*. A felhasználásnál figyelemmel kell lenni arra, hogy az L-sztereoizomer aminosavak keserű ízűek, a lizin pedig rendkívül hajlamos redukáló cukrokkal, táplálkozási szempontból értéktelen, barna színanyagok létrehozására. Japánban a *rizskészítményekhez lizint és metionint, a kenyérhez lizint, a szójatermékekhez pedig metionint adagolnak*. A tiszta aminosavakból világszerte gyógyászati célra infúziós oldatot készítenek.

Európában inkább a *természetes fehérjeforrásokkal való fehérjekomplettálás* terjedt el. Erre a célra a különböző szójakészítmények alkalmasak, mert *a szójafehérje sok lizint és az átlagosnál több treonint tartalmaz*. Hátránya a viszonylagos alacsony metionintartalom. A szója táplálkozási szempontból kedvezőtlen antinutritív anyagokat is tartalmaz (tripszin inhibitor, *ureáz* enzim), amelyeket a fehérjekomplettálásra szánt szójafehérjéből el kell távolítani, illetve inaktiválásuk szükséges. Hazánkban szójával elsősorban a búzalisztból készült termékeket szokták feljavítani. Az állati eredetű fehérjeforrások közül a tejfehérje és a vérsavófehérje a legfontosabb komplettáló adalék. Az izomzat gyors regenerálására szolgálnak az *enzimekkel részlegesen lebontott tejfehérjét tartalmazó élelmiszerek*.

A fehérjekomplettálás eredményességét biológiai vagy kémiai módszerekkel lehet megítélni. A *biológiai módszerekkel* való biológiaiérték-meghatározás a kísérleti állatok tömegének módosulása, a vérparaméterek megváltozása, az enzimek aktivitásának növekedése vagy csökkenése alapján hoz ítéletet. Gyorsabb eredményre vezetnek a *kémiai módszerek*, amelynek során meghatározhatjuk a fehérje aminosav-összetételét, és az aminosav-összetételt hasonlíthatjuk a teljes értékű fehérjéhez, olyan *kémiai indexeket számolva*, amelyek *számszerűen tájékoztatnak a vizsgált élelmiszer-fehérje táplálkozási értékéről*. Számos ilyen módszer terjedt el a gyakorlatban, amelyek közül legjobban használható a *Morup–Olesen-féle biológiaiérték-számolás*, amelynek vonatkoztatási alapja a burgonya és a tojás 2 : 1 arányú keverékének aminosav-összetétele. Szinte valamennyi számítási módszer figyelembe veszi a *limitáló aminosavak hasznosuláskorlátozó hatását*. Újabbban meghatározzák a hasznosítható esszenciális aminosavak mennyiségét, sőt mód van a *D-sztereioizomer aminosavak mennyiségének mérésére* is. A kémiai index segítségével a növényi eredetű élelmiszerek fehérjekomplettálását matematikai úton ugyan meg lehet tervezni, az adalékok tényleges felhasználhatóságát azonban csak az élőlényekkel végzett kísérletekkel lehet eldönteni.

### 10.6.3. Mikroelem-, makroelemkiegészítés

Az élelmiszerek általában elegendő mennyiségben tartalmaznak ásványi anyagokat, így a vegyes étrend gyakorlatilag fedezi a szervezet mikroelem- és makroelemszükségletét. Korábban már említettük, hogy a vérnyomás kedvező szinten tartása érdekében a táplálékban felvett



kationoknál az alábbi arányt célszerű elérni:  $(\text{Na}+\text{Ca})/(\text{K}+\text{Mg}) = 1$ . A jelenlegi étrendi szokások mellett ez az érték a kívánatosnak több mint kétszerese, amelynek csökkentése elsősorban a *konyhasó-felhasználás mérséklésével*, valamint a *zöldség- és gyümölcsfogyasztás növelésével* érhető el. Javítani lehet ezt az arányt még a káliummal és magnéziummal dúsított gyümölcs alapú italokkal is. Forgalomban vannak olyan gyümölcscsörpök és -nektárok, amelyekben a kálium és a magnézium általában szerves savakhoz kötve található. Az utóbbi években forgalomba kerültek olyan *izotóniás italok* is, amelyeknek *fogyasztását sokat izzadó emberek számára ajánlják*. Az emberi izzadság literenként 1000 mg nátriumot, 1000 mg kloridot, 300 mg káliumot, 30 mg kalciumot és 3 mg magnéziumot tartalmaz. Ha az izzadsággal elveszített ásványi anyagokat nem pótolják, a fokozódó ásványianyag-vesztés izomgörcshöz vezethet. Ennek megelőzésére alkalmasak az *izotóniás italok* (10.3. táblázat), amelyek *az ásványi anyagokon kívül gyorsan hasznosítható energiaforrásként cukrokat, továbbá vitaminokat is tartalmaznak*. Energiatartalmuk 2000 kJ/l, ozmózisnyomásuk megegyezik a vérével, ami elősegíti a vitaminok, illetve a makro- és mikroelemek gyors felszívódását.

**10.3. táblázat.** *Egy izotóniás ital biológiai szempontból fontos alkotórészei*

| Megnevezés               | Mennyiség, mg/l |
|--------------------------|-----------------|
| B <sub>1</sub> -vitamin  | 1,4             |
| B <sub>2</sub> -vitamin  | 1,6             |
| B <sub>6</sub> -vitamin  | 2,2             |
| B <sub>12</sub> -vitamin | 0,003           |
| Folsav                   | 0,4             |
| Niacin                   | 18,0            |
| Pantoténsav              | 7,0             |
| C-vitamin                | 60–180          |
| E-vitamin                | 15,0            |
| A-vitamin                | 1,5             |
| NaCl                     | 1000            |
| K <sup>+</sup>           | 300             |
| Ca <sup>2+</sup>         | 100             |
| Mg <sup>2+</sup>         | 30              |

Vashiány megelőzésére 50–130 mg/kg vasat tartalmazó lisztet, kenyeret, tésztát, illetve rizst hoznak forgalomba, amelyekben adalékként Fe(II)szulfátot, Fe(II)glükonátot és Fe(II)glicerofoszfátot használnak. A szervezet a szervetlen és a szerves vasvegyületeket egyaránt hasznosítani tudja. Végezetül itt is meg lehet említeni a konyhasó jódozását, amelynek részleteit már korábban tárgyaltuk, a kalciummal és szelénnel kiegészített kenyeret, a cinkes Túró Rudit és a megnövelt kalciumtartalmú kalcisajtót.

## 10.7. Néhány tartósítószer és mesterséges színezék meghatározása

A 10. fejezetben tárgyalt vegyületek közül az antioxidánsok meghatározását a 4.9.5. fejezetben ismertettük. Ebben a részben néhány tartósítószer, mesterséges színezék és édesítőszer meghatározásának elveit ismertetjük.

### 10.7.1. A bor kénessavtartalmának meghatározása

A borok kénessavtartalmát jodometriás titrálással határozzuk meg, ami alkalmas szabad és részben kötött kénessavtartalom meghatározására is. A jodometriás meghatározási módszer a kénessavtartalom mellett a borban jelen lévő egyéb, jódot redukáló anyagokat is méri, ezért ha nagy pontosságú mérésre van szükségünk, akkor a meghatározásnál a kénessav mellett az egyéb redukálóanyagok mennyiségét is figyelembe kell venni.

A meghatározás során  $25\text{ cm}^3$  1M nátrium-hidroxid-oldathoz  $50\text{ cm}^3$  bort folytatunk egy  $200\text{ cm}^3$ -es *Erlenmeyer*-lombikba, a lombikot dugóval zárjuk, és 15 percen át állni hagyjuk. Ezt követően egy-két kristály kálium-jodidot, néhány csepp keményítőoldatot adunk hozzá és a kivált jódot kálium-hidrogén-jodát-oldattal megtitráljuk. A titrálásra fogyott mérőoldat térfogatából a kénessav mennyisége számolható.

A szabad kénessavtartalom meghatározása során mindent az előzőekben leírtak megfelelően végzünk azzal a különbséggel, hogy a bort a kálium-jodid hozzáadása előtt nátrium-hidroxid-oldattal nem kezeljük. A titrálás során fogyott mérőoldat térfogatából a szabadkénessav-

tartalmat számítással határozzuk meg, amelynek során az összes kénesav mennyiségéből kivonjuk a szabad kénessav mennyiségét.

### 10.7.2. A hangyasavtartalom meghatározása

Amennyiben a tartósított élelmiszerekben csak hangyasav található, akkor annak mennyisége titrálással közvetlenül is meghatározható, az esetek többségében azonban – mivel a mintában más savak is jelen vannak – a vízgőz-desztillációval nyert desztillátumból határozzuk meg a hangyasavat. A vizsgálat során a termékből nyert vízgőz-desztillátumban bróm-ecetes eljárással a hangyasavat szén-dioxiddá oxidáljuk, majd a hangyasav-tartalomra fogyott brómmal egyenértékű nátrium-tioszulfát-oldat mennyiségéből kiszámoljuk a hangyasavtartalmat.

A bróm-ecetsavas eljárás a hangyasavat és a szorbinsavat együttesen méri, ezért ha csak a hangyasavat akarjuk meghatározni, akkor a kénssavval megsavanyított desztillátumból a szorbinsavat éteres kirázással el kell távolítani. A vizes fázisból a hangyasavtartalom meghatározható.

### 10.7.3. A benzooesav-tartalom meghatározása

A benzooesavat m-dinitro-benzooesavvá nitráljuk, majd m-diamino-benzooesavvá redukáljuk, amelynek ammónium sója sötétvörös színű. A szín fotometráálásával a benzooesav-tartalom kalibrációs görbe segítségével meghatározható.

A meghatározás során a törzsoldatot *Carrez I* és *Carrez II* oldat segítségével derítjük, majd a derített oldatból a benzooesavat éteres extrakcióval eltávolítjuk. Az éteres fázisból a benzooesavat nátrium-hidroxiddal vizes fázisba vesszük át, majd a vizes fázisban lévő benzooesavat nitrálóeleggyel 20 percig forró vízfürdőn tartjuk. Ezt követően hidroxil-amin-klórhidráttal, illetve 15%-os ammóniaoldattal az m-dinitro-benzooesavat m-diamino-benzooesavvá redukáljuk. Ennek következtében az oldat a benzooesav mennyiségétől függően sötét rózsaszínű vagy piros lesz. A fotometrálást a hidroxil-amin-klórhidrát hozzáadása után pontosan félóra múlva végezzük, 540 nm hullámhosszon. A kalibrációs görbével való összehasonlítás után a termék benzooesav-tartalmát százalékban adjuk meg.

#### 10.7.4. A szorbinsav-tartalom meghatározása

A szorbinsav a barbitursavval sárga, nitrozo-benzollal éteres oldatban pedig zöld színt ad, ezek azonban más vegyületekkel is adják ezen színreakciókat, ezért nem specifikusak a szorbinsavra. A 2-tio-barbitursav viszont oxidatív közegben a szorbinsavra jellemző és érzékeny reakciót ad, a szorbinsav ugyanis a kettőskötés mentén lánchasadás közben oxidálódik, miközben malonaldehid és oxi-akrolein képződik. A keletkezett aldehid két molekula 2-tio-barbitursavval piros színű vegyületet ad, amelynek abszorpciós maximuma 502 nm-nél található. A reakció érzékenysége olyan, hogy 1  $\mu\text{g}$  szorbinsav 1  $\text{cm}^3$  oldatban kimutatható.

#### 10.7.5. Mesterséges színezékek meghatározása

Az élelmiszerek színe elsősorban a nyersanyagok és adalékanyagok színéből tevődik össze. A hőkezeléssel tartósított termékek egy részénél, a konzerveknél mesterséges színezékek adagolásával pótolják a hő hatására elbomlott eredeti színeket. A mesterséges színezékek kimutatásánál az első lépés azok kivonása a vizsgálandó élelmiszerekből. A színezékek kémiai összetételétől függően alkalmazhatnak vizes kirázást, alkoholos vagy acetonos extrakciót, esetleg apoláros oldószerekkel is elvégezhetjük a színezőanyagok extrakcióját. A kivonat mesterséges élelmiszer-színezékeit leggyorsabban vékonyréteg-kromatográfiával elemezhetjük, de szóba jöhet meghatározásuknál a nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia is.

A vékonyréteg-kromatográfias meghatározás során a mesterséges színezékeket 105 °C-on, 10 perces hőkezeléssel aktivált cellulóz alapú rétegen választják szét. A szétválasztás során általában az alábbi három futtatószer-elegyet használják:

- 2,5%-os nátrium-citrát-oldat – 25%-os ammónium-hidroxid oldat, 4 : 1 arányú elegye,
- propanol – etil-acetát – víz, 6 : 1 : 3 arányú elegye,
- tercier butanol – propionsav – 4%-os kálium-klorid-oldat, 50 : 12 : 38 arányú elegye.

Az alkalmazott futtatószerekkel az amarant, a neukocin, az eritrozín, a tartrazín, a savsárga, a narancs, az indigókarmin, valamint a brillantfekete színezék egymástól szétválaszthatók és az  $R_f$ -érték alapján beazonosíthatók. Amennyiben az egyes futtatószer-elegyben a foltok nem válnak tökéletesen el egymástól, akkor a probléma a másik két

futtatószer-elegy használatával nagy valószínűséggel orvosolható, hisz a különböző festékanyagok Rf-értékei más futtatószer-elegy alkalmazása esetén egészen eltérőek lehetnek. A cellulóz alapú réteg mellett az előzőekben felsorolt színezékek szilikagél lemezekben is elválaszthatók egymástól, amelynek során futtatószerként az amid-alkohol – etil-alkohol – ammónia 10 : 10 : 1 és az acetecet-észter – piridin – ammónia 5 : 2 : 1 arányú elegye használatos.

#### **10.7.6. A szacharin és a ciklamát kimutatása és meghatározása**

A meghatározás során az élelmiszerek vizes oldatából a mesterséges édesítőszeret etil-acetáttal kivonjuk, a kivonatot vákuumban bepároljuk, a maradékot pedig ammónia – víz – etil-alkohol elegyében feloldjuk. A mesterséges édesítőszeret vékonyréteg-kromatográfiásan elválasztjuk, és a standard oldatokkal összehasonlítva azonosítjuk.

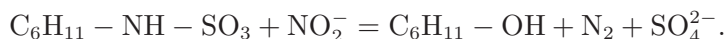
A vékonyréteg-kromatográfiás meghatározás során a 0,25 mm rétegvastagságú szilikagélre felvitt kivonatot n-butyl-alkohol – ammónia – víz, 40 : 20 : 40 térfogatú elegyével a kromatogramot kifejlesztjük. Ezt követően a réteget megszáritjuk, majd UV-lámpa 254 nm-es fényében a 0,5 Rf-nél jelentkező fluoreszkáló szacharinfoltot berajzoljuk, majd a vékonyréteg lapot 5%-os szén-tetrakloridos brómoldattal, majd dimetil-formaldehid és etil-alkohol 1 : 1 arányú elegyében oldott 0,25%-os fluoreszcein oldattal bepermetezzük. A ciklamát rózsaszínű foltja 0,3–0,4 Rf-értéknél fog megjelenni. Ha a vékonyréteget N-(1-naftil)-etilén-diamin-dihidroklorid etil-alkoholos oldatával is bepermetezzük, akkor a rózsaszín háttér világossárgára változik, a ciklamátfolt jobban láthatóvá válik, a dulcin pedig 0,7-es Rf-értéknél barnás színű foltként tűnik elő.

#### **10.7.7. A szacharin meghatározása nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával**

Szénsavas üdítőitalokból a CO<sub>2</sub>-ot rázogatással eltávolítjuk, a szén-savmentes folyadékot szűrjük, és az így előkészített minta 5–10 µl-ét visszük a nagy hatékonyságú folyadékkromatográf analitikai oszlopára. Az elválasztást C<sub>18</sub>-as oszlopon, 5%-os ecetsavban oldott 10 tf%-os metanol eluenssel, fordított fázisú rendszerben végezzük, és a szacharint UV 254 nm-en detektáljuk. A szacharin mennyiségi kiértékelése kalibrációs görbével történik.

### 10.7.8. A ciklamátok mennyiségi meghatározása

A ciklamátok sósavas oldatban nátrium-nitrit hatására szulfátképződés közben a következő reakcióegyenlet szerint bomlanak:



A keletkező  $\text{SO}_4^{2-}$ -ion bárium-klorid jelenlétében bárium-szulfát csapadék formájában kiválik, a csapadék mennyisége pedig gravimetriásan meghatározható.

## 10.8. A tartósítószer, az antioxidánsok, az ízesítőanyagok, a mesterséges színezékek, az állományjavító-anyagok és a tápértéket növelő anyagok összefoglalása

A tartósítószer az élesztők, a penészek és a baktériumok életműködését már kis koncentrációban is gátolják. Adszorpcióval megkötődnek a mikroorganizmus felszínén, majd a sejtmembránon áthaladva a protoplazma enzimfehérjéit módosítják, megzavarva a mikroba anyagcseréjét. A legfontosabb szervetlen tartósítószer a kén-dioxid, a kénessav, a kénessavas sók, valamint a piroszulfid. A szerves tartósítószer közül a legismertebb a hangyasav, a propionsav, a szorbinsav, a benzoésav, a p-hidroxi-benzoésav és észterei, a szalicilsav, a piroszénsavas észterek, a difenil és o-fenil-fenol. Tartósításra használhatók ezenkívül még bizonyos antibiotikumok és fitoncidok is.

Az antioxidánsok az oxidációt katalizáló fémnyomok megkötésével, valamint a zsiradék oxidációjának gátlásával megakadályozzák annak romlását. Az antioxidánsok egyrészt megkötik a romlást előidéző szabad gyököket, másrészt a peroxidokat hidroxivegyületekké redukálják. A legfontosabb természetes antioxidánsok a tokoferolok, a karotinoidok és az aszkorbinsav; a mesterséges antioxidánsok közül legjelentősebbek a galluszsav észterei és a fenolos antioxidánsok (BHA, BHT).

Az ízesítő és zamatosító alkotórészek javítják egyes élelmiszerek élvezeti értékét, növelik az élelmiszer eredeti íz- és aromakészletét, esetleg átformálják azt. A szénhidrát alapú, édes ízű adalékok mellett egyre nagyobb szerepük van az energiamentes természetes és mesterséges édesítőszernek. A sós ízt okozó nátrium-klorid kiváltására csökkentett

nátriumion-tartalmú anyagokat hoznak forgalomba. A keserű ízű vegyületek az alkaloidok, a glikozidok és a cserzőanyagok, a savanyú íz pedig a hidrogénion és a disszociálatlan sav együttes koncentrációjának függvénye. A fűszerek adják ételeink jellegzetes ízét és zamatát, amelyek nélkül ma már az élelmiszerek elképzelhetlenek.

A mesterséges színezékeket a feldolgozás során, illetve a termék tárolása alatt fellépő színvesztések ellensúlyozására használják. Olyan, a fogyasztó számára teljesen közömbös anyagok tartoznak e csoportba, amelyek segítségével a színskála bármelyik színét elő lehet állítani.

A nagy víztartalmú anyagok konzisztenciájának fenntartására, a nagy zsírtartalmú rendszerek stabilizálására állományjavító anyagokat használunk, amelyek lehetnek szénhidrát és fehérje alapú gélképzők, szervetlen állományjavító anyagok és emulgeátorok. A szénhidrát alapú gélképzők közül a pektin, az agar, az alginátok, a keményítő és származékai, valamint a cellulózszármazékok a legfontosabbak. A legismertebb fehérje alapú gélképző a zselatin, a kazein és a szójafehérje. Szervetlen állományjavítók a konyhasó és a polifoszfátok, míg az emulgeátorok közül természetes eredetűek a lecitin és a kefalín, valamint a mesterségesen előállított mono- és digliceridek, a laktil-tejsav-, a cukor- és a szorbitán-észterek használatosak az élelmiszer-előállítás folyamán.

Az élelmiszerek tápértékét vitamindúsítással, fehérjekomplettalással, makro- és mikroelemkiegészítéssel lehet növelni.

A bor kénessavtartalmát jodometriás titrálással, a hangyasavtartalmat brómecetes átalakítást követően jodometriásan, a benzoésav-tartalmat redukciót követően fotometriásan, a szorbinsav-tartalmat 2-tiobarbitursavval fotometriásan, a szacharin- és ciklamáttartalmat vékonyréteg-kromatográfiával, UV-detektálással, illetve gravimetriásan határozhatjuk meg. A mesterséges élelmiszer-színezékeket leggyorsabban vékonyréteg-kromatográfiával elemezhetjük, de szóba jöhet meghatározásuknál a nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia is.

## MÉRGEZŐ ANYAGOK

Az élelmiszer-tudomány számára ma már nemcsak az élelmiszer-nyersanyagok természetes mérgező komponensei és a megromlott táplálékban lévő toxinok, hanem a környezetből származó idegen, mérgező hatású anyagok is gondot jelentenek. *Minden olyan anyag mérgező az emberi szervezetre, amely már kis adagban is ártalmas, tehát átmenetileg vagy tartósan kóros állapotot alakít ki, és amely súlyos esetben halált is okozhat.* Hangsúlyozni kell a kis adagot, mert a konyhasó is halált okozhat, ha 3 g/testtömeg-kg koncentrációban jut az emésztőrendszerbe. A mérgező anyagok a feldolgozott nyersanyagok természetes alkotórészeiként, a káros mikroorganizmusok toxinjaiként, a vegyszeres növényvédelem maradékaiként, a rosszul alkalmazott technológia során a berendezésről vagy a környezetből eredő szennyezésként juthatnak a szervezetbe.

A mérgező anyagok a *tápcsatornán, valamint a légutakon és a bőrfelületen keresztül juthatnak be a szervezetbe.* Akkor károsak, ha felszívódnak; minél kisebb adagban okoznak mérgezést, annál erősebb mérgek. A mérgező tulajdonság számszerű kifejezésére az  $LD_{50}$  érték szolgál, amely azt a *milligrammban kifejezett, szájon keresztül beadott mérge mennyiséget jelenti testtömeg-kg-ra vonatkoztatva, amelytől a kísérleti állatok 50%-a elpusztul.* Az  $LD_{50}$  alapján (mg/kg) az egyes mérgező anyagok a következőképpen csoportosíthatók:

| mg/kg       |                           | jelölése |
|-------------|---------------------------|----------|
| 1–50        | erős mérgező,             | +++      |
| 51–500      | mérgező,                  | ++       |
| 501–5000    | gyenge mérgező,           | +        |
| 5000 felett | mérgejelzés nélküli anyag |          |

Vannak azonban olyan mérgezőanyagok is, amelyek az  $LD_{50}$  értéknél kisebb mennyiségben olyan, irreverzibilis változásokat okoznak, amelyek az anyag kiürülése után is megmaradnak, és *ismételt bevitel esetén*



a károsodás összegződik. Más anyagok a különböző szövetekben elraktározódhatnak, újabb adag felszívódásával a mérég felhalmozódik, és bizonyos szint után mérgezés lép fel.

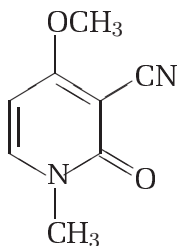
A mérgeanyagokkal kapcsolatban kialakultak azok a tűrési határértékek, amelyek az egyes élelmiszerekben a még elfogadható toxintartalmat jelentik. Ez a mérge mennyiség országonként különböző. A megengedettnél több mérgező anyagot tartalmazó élelmiszerek detoxikálása (mérgetelenítése) csak ritkán eredményes; az esetek többségében az ilyen tételket meg kell semmisíteni, mert takarmányozási célra sem használhatók.

## 11.1. Természetes mérgek

Vannak olyan növényi és állati eredetű élelmiszerek, amelyek természetes összetételükben is tartalmaznak mérgező anyagokat. A toxikus vegyületek kémiai szerkezetük alapján lehetnek alkaloidok, aminosavszármazékok, illóolajok, valamint antinutritív anyagok. Ezen utóbbiak nem közvetlenül mérgező hatásúak, de rendszeresen bejutva a szervezetbe, káros elváltozásokat okoznak.

### 11.1.1. Mérgező alkaloidok

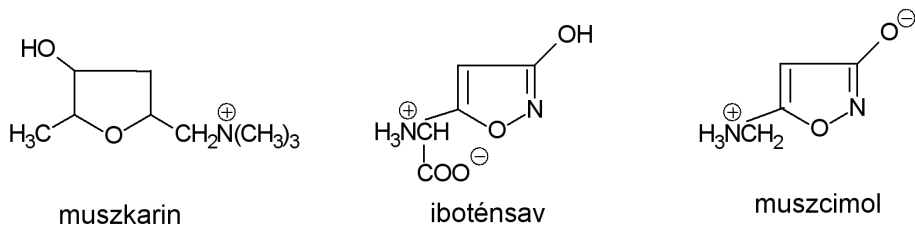
E fejezetben csak azokat az alkaloidokat tárgyaljuk, amelyek mérgezőek és a táplálékban is előfordulnak. A ricinin a ricinusnövény magjában lévő mérgező, piridinvázis alkaloid, amely ugyancsak a ricinusmagban előforduló mérgező fehérjével, a ricinnel együtt hányást és rosszulletet okoz (11.1. ábra). A ricinusmagolaj méregmentes, a ricinin és a ricin az olajpogácsában marad vissza, amelyet ezért állati takarmányozásra csak különleges hőkezelés után lehet használni.



11.1. ábra. A ricinin

A különböző csillagfürtfajok magvaiban mintegy húszféle keserű ízű mérgező *lupin-alkaloidot* találtak. Ezek *kis mennyiségben izgatják a simaizmot, nagyobb mennyiségben viszont bénító hatásúak. Közülük a lupinin, a lupanin, a spartein és az angosztifolin a legfontosabb.* A csillagfürt keserű ízű magvai táplálkozási és takarmányozási célokra alkalmatlanok, és az utóbbi időkben kidolgozott méregtelenítési és keserteletlenítési eljárások (gőzölés, pörkölés) sem vezettek megfelelő eredményre. Az utóbbi évtizedekben azonban nemesítéssel sikerült *alkaloidamentes édes csillagfürtöt* nemesíteni, amelynek dióízű lisztje egyes édesipari termékek készítésekor hasznosítható.

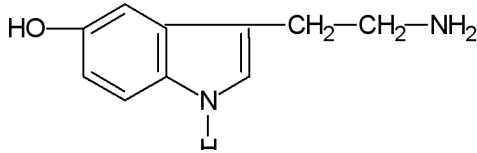
Európában több mint 160 olyan gombafaj fordul elő, amelyek nyersen fogyasztva mérgezőek, és nagyobbik részük hőkezeléssel sem méregteleníthető. A *gombamérgek* kémiai összetételük szerint *lehetnek alkaloidok* (11.2. ábra), mint amilyen pl. a légyölő galócában és más, mérgező gombákban található *muszkarin, iboténsav és muszcinol*. A muszkarin az idegrendszerre hat, 20–30 perces lappangási idő után izzadás, hányinger és hasmenés formájában jelentkezik. A muszkarin szerkezetileg hasonlít a kolinhoz, így zavarja az idegingerek átvitelénél fontos kolin-acetil-kolin átalakulást, és nagyobb mennyiségű mérreg szervezetbe kerülése esetén halálos is lehet. Az iboténsav és a muszcinol izooxazol-származékok.



11.2. ábra. Gombaalkaloidok

Az utóbbi évtizedekben felfedeztek olyan *pszichotrop hatású gombaalkaloidokat*, amelyek *hallucinációt idéznek elő*. Ilyen, indolvázias alkaloid a *pszilocin, a pszilocibin, a szerotonin* (11.3. ábra) és *bufotenin*. A bufotenin a mérgező gombákon kívül a varangyos béka bőrváladékában is megtalálható. A pszilocin és a pszilocibin a mexikói kábító gombában képződik, amelynek felhasználásával az elmúlt évszázadokban hallucinációs vallási szertartásokat rendeztek. A szerotonin (5-hidroxi-

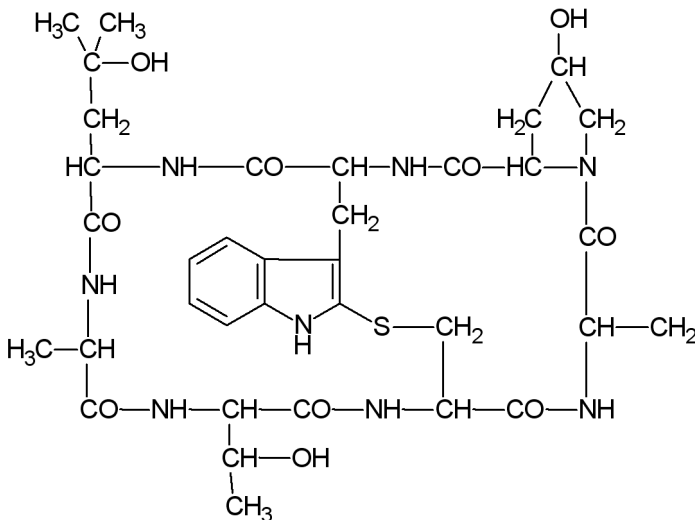
triptamin) pszichikai stimuláló hatása miatt depresszióellenes gyógyszerek készítéséhez is felhasználható.



11.3. ábra. A szerotonin

### 11.1.2. Mérgező aminosav-származékok

A mérgező anyagok ezen csoportjába a legveszélyesebb ciklopeptid gombamérgek tartoznak. A *fallotoxinok* gyorsabban ható, de kevésbé mérgező anyagok, az *amatoxinok* lassabban ható, de erősebb mérgek. Az ellenük való védekezést megnehezíti, hogy a mérgezési tünetek csak a mérreg felszívódása után 6–30 óra múlva jelentkeznek. A mérgezés elsősorban a májat és a vesét károsítja.



11.4. ábra. A falloin

A *fallotoxinok a gyilkos galóca gyorsan ható toxinjai*. A falloidin csoportba tartozó gombamérgek: a falloin (11.4. ábra), a falloidin, a fallacidin és a fallin. A falloin kettős gyűrűt alkotó, hét aminosavból álló peptid, amelyek közül azonban csak négy tartozik a fehérje eredetű aminosavhoz, a másik három D-konfigurációjú. Ezek az  $\alpha$ -aminosavak önmagukban természetesen nem, *csak gyűrűvé kapcsolódva mérgezőek*. Az aminosavgyűrűt olyan tioéter kötés hidalja át, amely egy triptofán és egy cisztein között alakul ki. Mérgező hatására jellemző, hogy az egereken mért LD<sub>50</sub> értéke 1–2 mg/kg. A mérgező hatást fokozza, hogy a szervezetben való lebontódása rendkívül lassú, hisz *az emésztőenzimek a zárt peptidláncot nem tudják megbontani*, a toxint hatástalanítani.

Az *amatoxinok* szintén a gyilkos galócában keletkező, *legerősebb gombamérgek*, amelyek hatása csak hosszabb lappangási idő után jelentkezik. Kémiai szerkezetüket tekintve közönséges és különleges aminosavból felépített, *nyolc tagból álló ciklopeptidek*. Mind a falloidinok, mind az amanitinok *hőállóak, ezért főzéskor sem inaktiválódnak*, metilalkohollal azonban a gyilkos galócából kivonhatók. Az amatoxinok veszélyességét jellemzi, hogy egyetlen gyilkos galóca elfogyasztása is halált okozhat.

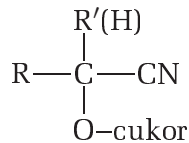
A *lektinek* olyan, *növényi eredetű fehérjék, illetve glikoproteinek*, amelyek az emberi vérben a *vörösvértesteket kicsapják, agglutinálják*. Kevés kivételtől eltekintve glikoproteinek, amelyek molekulatömege 20–140 ezer dalton között van. Fehérjerészüket főként dikarbon- és hidroxiaminosavakból épül fel, és nem tartalmazzak metionint. *Az emésztőcsatorna proteázai nem képesek lebontani őket*. A szénhidrát rész glükóz-, mannóz-, arabinóz-, xilóz- és hexózamin részeket is tartalmaz, amelynek aránya a molekula tömegének 4–5%-a. A magasabb rendű növényekben, elsősorban a *hüvelyesek és gabonák magvaiban több száz lektint mutattak ki*. A babból és a ricinusból származó lektin mérgező, a borsóban található viszont nem. A *toxikus változatok gátolják a tápanyagok felszívódását* a bélfal sejtjeiben, ezzel a sejtek fehérjeszintézisét akadályozzák (antinutritív hatás). A mérgezés rosszul érezet, hasi panaszokat és merevgörcsöt okoz, és súlyosabb esetekben halálos is lehet. *A vegyületek hőlabilisak*, 10–15 perces főzés vagy sütés hatására denaturálódnak, mérgező hatásukat elvesztik.

A *fazin* a kertibab magvaiban található, *toxikus lektin*. Akkor okoz mérgezést, ha valaki zöldbabot, babot vagy bablisztet nyersen eszik. A fazin 98–138 ezer dalton molekulatömegű glikoprotein, amelynek szénhidrát részében glükózamin és mannóz található. A *ricin* (amely a ri-

cinin alkaloiddal együtt idézi elő a toxikus hatást) két peptidláncból áll, amelyek S–S kötéssel keresztül kapcsolódnak egymáshoz. Az egyik alegységet *haptomernek* nevezik, amely a megtámadott szervezet sejtjeinek felületén a galaktóztartalmú glikozidokhoz kötődik. Ez lehetővé teszi a másik peptidlánc, az effektor alegység behatolását a sejtbe, amely ott a fehérjeszintézist gátolja. Halálos adagja egerekre csupán 12 µg/testtömeg-kg.

### 11.1.3. Mérgező glikozidok

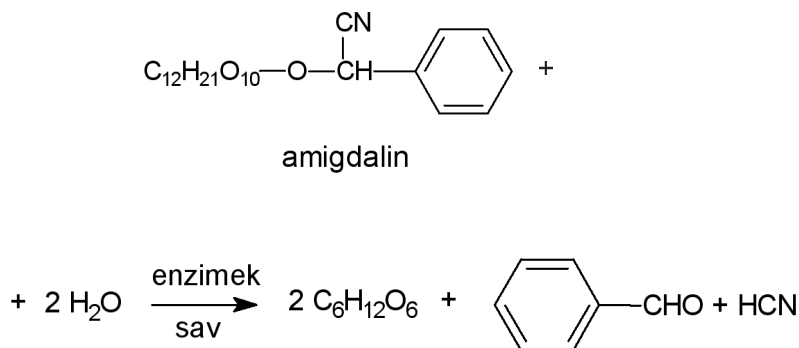
A természetben előforduló mérgező glikozidokat a cukorrészhez kapcsolódó aglikon kémiai szerkezete, összetétele alapján csoportosíthatjuk. A *ciántartalmú glikozidok* (11.5. ábra) savas vagy enzimikus hidrolízissel aldehidre vagy ketonra, cián-hidrogénre és egy vagy két molekula cukorra bonthatók. Legismertebb képviselői ennek a mérgező vegyületcsoportnak az *amigdalín* és a *fazeolunatin*.



11.5. ábra. Ciántartalmú glikozidok szerkezete

Az *amigdalín* a keserű mandula magvaiban keletkezik, ahonnan az elnevezést is kapta. Megtalálható a csonthéjas gyümölcsök és a citrusfélék magvaiban; híg sávval főzve vagy enzimek hatására két molekula glükózra, benzaldehidre és *cián-hidrogénre bomlik*. A keserű mandula fogyasztása után fellépő mérgezés az amigdalínból a gyomorsav hatására felszabaduló cián-hidrogén következménye (11.6. ábra). A természetben az amigdalint mindig bontóenzimek kísérik, ezért a fenti átalakulások a mandula felaprított és vizes szuszpenziójában is lejátszódnak. A csonthéjas gyümölcsökből főzött pálinkák csekély HCN-tartalma az amigdalín enzimikus lebontásának következménye.

A *fazeolunatin* a holdbab, a rangunbab és a len magvában található, ciántartalmú glikozid. Savas és enzimikus hatásra cián-hidrogén válik belőle szabaddá. A holdbabnak csak nemesített fajtáit használják étkezési célokra, amelyek kilogrammonként max. 150 mg ciántartalmú glikozidot



11.6. ábra. Az amigdalín lebontása

tartalmaznak. Egynapi áztatással és a szokásos főzéssel már méregmentessé tehető.

A szteránvázas glikozidok csoportjába az aglikon lehet egyszerű szteránvázas vegyület, nitrogéntartalmú szteroid alkaloida vagy a szteránvázzal rokon triterpénváz. Az e csoportba tartozó toxikus vegyületek közül a szolanin, a tomatin és a szaponinok a legismertebbek. A szolanin az egyes burgonyafélék szerveiben keletkező, mérgező anyag. A közönséges burgonya gumói általában csak 0,002–0,01% között tartalmaznak szolanint, ami emberre és állatra egyaránt ártalmatlan. Mérgezési veszély éretlen, zöld vagy öreg, világos helyen tárolt kicsírázott burgonya elfogyasztásakor áll fenn, mert az ilyen burgonya szolanintartalma elérheti a 0,06%-ot. A burgonyacsírában a koncentráció akár egy nagyságrenddel is több lehet, ezért a mérgezés elkerülésére a zöld héjú vagy kicsírázott burgonyát főzés előtt vastagon meg kell hámozni, mert a szolanin főként a gumók felületén koncentrálódik. A főzéshez sok vizet kell használni, és a főzővizet ki kell önteni.

A tomatin a paradicsomnövény gyökerében és levelében található, gombaellenes és bakteriosztatikus glikozid, amelynek oldatával lepermetezett burgonyalevelet a burgonyabogár lárvái sem eszik meg. Aglikonja egy szteroid-alkaloid, a tomatidin, amelynek cukorrésze egy tetraszacharid.

A szaponinok a növényvilágban nagyon elterjedt glikozidok, vízben kolloidálisan oldódnak, és felületi feszültséget csökkentő hatásuk miatt szappanszerű habot képeznek. Aglikonjuk felépítése alapján lehetnek szteránvázat tartalmazó szteroid-szaponinok és kisebb jelentőségű, öt

gyűrűs, *aliciklusos triterpénszármazékok*. A szaponinok a vérbe kerülve mérgező hatásúak, mert *a vörösvérsejteket feloldják*. Az emésztőcsatornán keresztül kevésbé veszélyesek, mert *koleszterinnel oldhatatlan, nem mérgező komplexeket képeznek*. A szójalisztnben lévő keserű szaponinok rossz ízűek, és gátolják az emésztőcsatorna *tripszin- és kimotripszin-aktivitását*. A szója szaponinmentesítését nedves állapotban való hevítéssel, gőzöléssel és alkoholos extrahálással lehet elvégezni. A konkoly és a vadgesztenye is jelentős szaponintartalmú.

Szaponinok vannak továbbá a szappangyökérben és az édesgyökérben is. A szappangyökér az ipari szaponinkészítmények nyersanyaga. *Az édesgyökér szaponinja, a glicirrizin, nem mérgező*, a medvecukor, valamint egyes keserű gyógyszerek, továbbá alkoholos italok édesítőszer.

*A mustárolaj-glikozidok* (szinigrin, szinalbin) olyan glükozinolátok (tioglikozidok), amelyek a fekete- és a fehérmustár magjában, a tormában, a repcében, a vöröshagymában, a karalábéban és még néhány káposzta- és répafajtában keletkeznek. Enzimes hidrolízissel mustárolajra, glükózra és kálium-hidrogén-szulfátra bonthatók.

A mustárolaj-glikozidok *nagyobb koncentrációban* mind az *emésztőrendszeren*, mind a *bőrfelületen keresztül izgató, mérgező anyagok*. A mustárolaj-glikozid-tartalmú növényekből előállított élelmiszerek rendeltetésszerű használata azonban veszélytelen. Néhány glükozinolátból *goitrin* nevű vegyület szabadul fel, amely *gátolja a pajzsmirigyben a jódfelvételt* és ezáltal a hormontartalmú tiroxin képződését is. Ez a folyamat jódszegény étrend esetén golyva kialakulásához vezethet.

#### 11.1.4. Mérgező illóolaj-komponensek

Több növényi eredetű illóolajról bebizonyosodott, hogy mérgező hatású alkotórészeket is tartalmaz. A *szafrol* fanyar illatú folyadék, amely kisebb mennyiségben a csillagánizsban, a babérolajban és a szerecsendióban, nagyobb arányban pedig a kámforolajban található. Az élelmiszerben nem kívánatos, mivel *májrákot okoz*. A *miriszticin* a szerecsendió termésében fordul elő nagyobb mennyiségben. A fenoléterek csoportjához tartozik, *a szafrol metoxiszármazéka*. Mérgező hatását a *máj és a vese károsításával*, hallucinogén tünetek előidézésével, valamint a biogén aminok lebontásának késleltetésével éri el. A tünetek a szerecsendió nagyobb mennyiségű fogyasztásával jönnek elő.

A *kumarin* szénára emlékeztető, kellemes illatú, fényérzékeny, kristályos anyag; sokféle fű- és herefaj virágjában, illetve leveleiben, a sza-

gos mügében, a somkóróban, a datolyában, valamint a levendulaolajban található, rendszerint glikozidos kötésben. *A májat károsítja*, ezért kumarint és kumarintartalmú növényrészeket az élelmiszerekhez nem szabad adni.

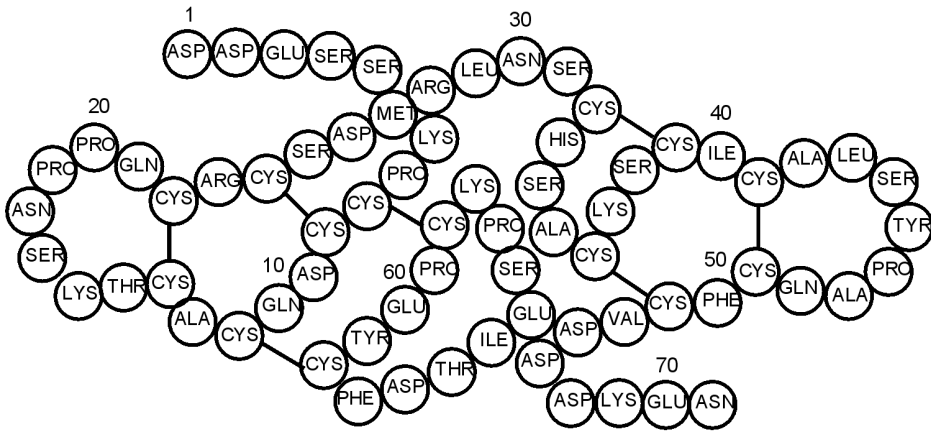
#### 11.1.5. Antinutritív anyagok

A növényi eredetű élelmiszerek gyakran tartalmaznak olyan alkotórészeket, amelyek a belőlük készített ételek emésztését és felszívódását megnehezítik, csökkentve ezzel a tápanyagok hasznosulását. Ezeket a vegületeket *antinutritív anyagoknak* hívjuk, amelyek rendszeres *fogyasztása* az egyéni érzékenységtől függően kisebb-nagyobb mértékű *egészségkárosodásra* vezethet. A *hőérzékeny antinutritív anyagok* közé tartoznak a *tripszin- és kimotripszin inhibitorok*, amelyek összetételüket tekintve fehérjék, és elsősorban hüvelyesek magvaiban, továbbá gabonamagvakban és burgonyában képződnek. Molekulatömegük 6–64 ezer dalton között van. Egy növényben egyidejűleg többféle antinutritív anyag is jelen lehet. A *burgonyában* például legalább *10 inhibitor* van jelen, amelyek molekulatömegükben, izoelektromos pontjukban és hőstabilitásukban különböznek egymástól.

A *tripszin- és kimotripszin-inhibitorok* a vékonybélben a *tripszin-*nel** és a *kimotripszin-*nel** inaktív komplexeket képeznek, korlátozva ezzel a táplálékkal felvett fehérjék hidrolízisét, hasznosulását. Jelenlétükkel a *hasnyálmirigyet fokozott működésre készítetik*, ami végül hasnyálmirigy-megnagyobbodásra, majd -gyulladásra vezethet. Ezeket az inhibitorokat *hőkezeléssel inaktíválni lehet*. Termikus stabilitásuk függ a molekula méretétől és a diszulfidhidak számától. Az egyik legstabilabb tripszininhibitor a szójában lévő *Bowman–Birk-féle*, amelynek molekulatömege 7900 dalton, 71 aminosavból épül fel, és hét diszulfidhidat tartalmaz (11.7. ábra). Szárazon hevítve 105 °C-on, vizes oldatban 10 perces forralás után is megőrzi aktivitásának nagy részét. Az ugyancsak a szójából izolált *Kunitz-féle tripszininhibitor* lényegesen hőlabilisabb; 90 °C-nál irreverzibilisen denaturálódik, molekulatömege 21 500 dalton, 181 aminosavból áll, és két diszulfidkötést tartalmaz.

A *proteázinhibitorok fajlagossága rendkívül változatos*. Specifikusságuk a különböző proteázokra és az izodinámiás enzimekre (azonos hatás, de más eredet) is kiterjedhet. Ezekkel szemben ismerünk olyan inhibitorokat is, amelyek kétféle enzimet, pl. a *tripszint* és a *kimotripszint* is hatástalanítják. Ilyen anyag például a *Bowman–Birk-inhibitor*; a *bur-*





11.7. ábra. A Bowman–Birk-féle inhibitor szerkezete

gonyában lévő antinutritív anyagok viszont csak a szerin-proteázokat gátolják. A proteázinhibitorok elsősorban a növényvilágban képződnek, de van néhány állati és mikrobiális változatuk is. Közülük legismertebb a tojásfehérjében lévő *ovomukoid* és *ovoinhibitor*, amelyek ugyan egyszerű főzésnél megtartják aktivitásuk egy részét, de a humán *tripszint* nem gátolják. Az inhibitorok egészségkárosító hatásának felismerése szükségessé tette az *élelmiszer inhibitortartalmának limitálását* (11.1. táblázat). Ezt különösen fontossá tette a szójakészítmények használatának elterjedése, mert a nyers szója az egyik legfőbb, antinutritív anyagot tartalmazó termék. Közvetlen emberi fogyasztásra hazánkban csak olyan alapanyagok használhatók fel, amelyekben a tripszininhibitor-aktivitás milligrammonként 10 alatt van. A többi hőérzékeny antinutritív anyag (lektinek, golyvaképző anyagok, antivitaminok, *ureáz* enzim) a szokásos konyhai hőkezeléssel hatástalaníthatók.

A *hőrezisztens antinutritív anyagok* közül a *fitinsav* az egyik legfontosabb. Táplálkozás-élettani szempontból azért antinutritív anyag, mert a létfontosságú *makro- és mikroelemekkel stabil komplexeket képez, megakadályozva ezzel a fémek felszívódását* a tápcsatornából. Fitinsavban gazdag étrend fogyasztása esetén angolkór, valamint a cinkhiány miatt a nemi érés késleltetése léphet fel. Néhány élelmiszer fitintartalmát a 11.2. táblázat mutatja. A hőrezisztens antinutritív anyagok közé tartoznak az  *$\alpha$ -galaktozil-oligoszacharidok*, amelyek az emésztő rendszerből az  *$\alpha$ -(1,6)-galaktozil-kötéseket bontó* enzimek hiánya miatt nem szívód-

**11.1. táblázat.** Egyes élelmiszerek tripszininhibitor-aktivitása

| Megnevezés             | TIU/mg minta |
|------------------------|--------------|
| Nyers szója            | 104          |
| Extrudált szója        | 20           |
| Texturált szója        | 2            |
| Szójaizolátum (Purina) | 4            |
| Fehér bab              | 20           |
| Barna bab              | 12           |
| Fekete bab             | 7–8          |
| Lóbab                  | 12           |
| Lencse                 | 3            |
| Sárgaborsó             | 2–3          |
| Búzaliszt              | 2–3          |
| Búzakorpa              | 1,5–2        |

nak fel. Változatlan formában jutnak a vastagbélbe, ahol a bélflóra baktériumai hidrolízisüket követően gázok (szén-dioxid, hidrogén, metán) keletkezése közben bontják le őket, *kellemetlen felfúvódást, hasi puffadást okozva*. E csoportba tartoznak még a *favizmusfaktorok*, mint amilyen például a lóbabban található *vicin* és *konvicin*. Ezen anyagok a vörösvértesteket irreverzibilisen károsítva *hemolitikus anémiát okoznak*.

A különböző *cseranyagok* növényekben képződnek, és kémiai összetételüket tekintve nagyon változatosak. A tápcsatornába jutva *fehérjeki-csapó tulajdonságukkal gátolják a fehérjék emészthetőségét*. A cseranyagok hüvelyesek és cereáliák magvaiban, egyes hüvelyesek leveleiben, valamint a szőlő termésében találhatóak. Hőállóak, ezért még kétórás főzés után is megmarad az eredeti cseranyagtartalom fele. A *fitoösztrogén* anyagok közös élettani hatásuk alapján kerültek a *hőrezisztens antinutritív anyagok* közé. Az ösztrogén anyagok a szexuálhormonális egyensúlyt befolyásolják. Szójatartalmú ételek rendszeres fogyasztása esetén például lényegesen több ösztrogénaktivitású anyagot viszünk be a szervezetünkbe, mint ami a húsipari termékekben a hozamfokozók következtében előfordulhat. Az ösztrogének vizes-alkoholos mosással eltávolíthatók a szójából.

**11.2. táblázat.** *Néhány élelmiszer fitinsavtartalma*

| Megnevezés             | Fitinsav, g/100g |
|------------------------|------------------|
| Búzaliszt              | 0,05–0,2         |
| Búzakorpa              | 1,5–1,6          |
| Búzacsíra              | 0,08–0,09        |
| Barna kenyér           | 0,14             |
| Sárgaborsó             | 1,1–1,2          |
| Lencse                 | 0,5–0,8          |
| Bab                    | 0,7–2,0          |
| Szója                  | 1,1–1,5          |
| Szójaizolátum (Purina) | 0,4              |
| Texturált szója        | 0,9–1,1          |

## 11.2. A mikroorganizmusok által termelt mérgek

A mikroorganizmusokkal fertőzött élelmiszereket a bennük elszaporodott baktériumok és a penészek toxinjai teszik mérgezővé. A mikroorganizmusok által termelt mérgek lehetnek exotoxinok vagy endotoxinok. *Az exotoxinokat a mikrobák életműködésük során juttatják a környezetükbe, az endotoxinok viszont csak a mikrobasejtek elhalása után szabadulnak fel.*

### 11.2.1. Baktériumtoxinok

Az élelmiszerekbe jutott kórokozók kétféle módon veszélyeztetik a fogyasztók egészségét. Az *élelmiszer-fertőzést* okozó mikrobák a szervezetbe jutva az emésztőcsatornában elszaporodnak, és jellegzetes megbetegedéseket váltanak ki. *Élelmiszer-mérgezés* esetén az élelmiszerben termelt toxinok okozzák a kóros tüneteket. Az első esetben tehát az emberi szervezetben, az utóbbinál az élelmiszerben játszódik le a baktérium nagyarányú elszaporodása.

A *botulizmus* a legveszélyesebb ételmérgezés, amelyet egy szaprofita anaerob baktérium, a *Clostridium botulinum* törzsei okoznak. A spórák a talajból szennyeződéssel kerülnek az élelmiszerbe, ott gyorsan elszaporodva *botulotoxin* nevű *exotoxint* termelnek, ami *idegméreg*. E toxikus fehérje hat komponensből áll, amelyek közül az A típus molekulatömege

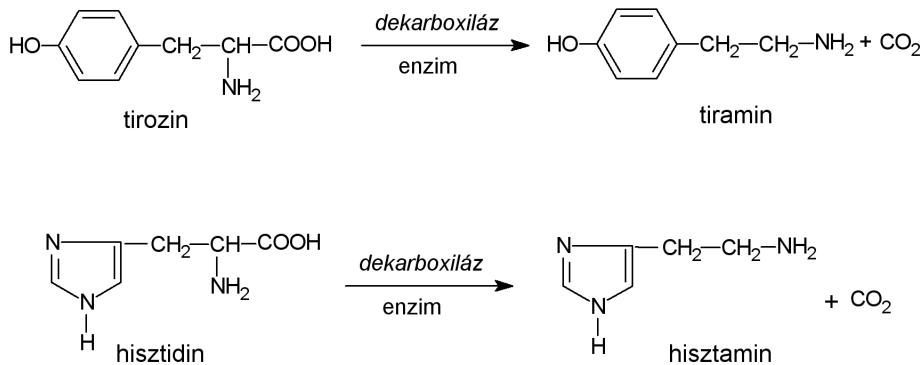
900 ezer–egymillió dalton között, a B típusúé 60 ezer dalton körül van. Mérgező hatása igen nagy;  $1 \mu\text{g}$  A típusú botulotoxin az ember halálát okozhatja, ugyanis megbénítja a szívműködést és a légzést. A toxint termelő mikroorganizmusok általában kolbászban, füstölt, illetve sózott húsookban és halakban, továbbá hús- és ételkonzervekben szaporodhatnak el. Legveszélyesebbek a rosszul hőkezelt konzervek, amelyekben a baktériumok spórái nem pusztulnak el, és a légmentes zárás anaerob viszonyokat teremtet. A botulotoxinnal fertőzött étel elfogyasztása után 12–14 órán belül fejfájás, rosszullet, hányás, hasmenés és súlyos bénulási tünetek jelentkeznek. A halált a légzési központ bénulása okozza. A botulotoxin hőérzékeny fehérje, ezért a házi készítmények alapos főzésével és átsütésével védekezhetünk ellene.

A sztafilokokkuszos ételmérgezést a nyaranként az élelmiszerekben elszaporodó *Staphylococcus aureus* törzsek idézik elő. Ezek a baktériumok széles hőmérséklet- és pH-határok között összetett méreganyag-tartalmú enterotoxint termelnek. Az enterotoxinok hőálló, hosszabb főzéssel sem hatástalanítható, a gyomorsavnak és az emésztőnedveknek is ellenálló, gyorsan felszívódó polipeptidok. A mérgezési tünetek 2–6 órával a toxintartalmú étel elfogyasztása után lépnek fel, erős hányinger, gyomorgörcsök és hasmenés formájában. A székleletben gyakran vér is kimutatható. Láz nem szokott jelentkezni. Az élelmiszerek elsősorban ott fertőződhetnek, ahol a feldolgozást kézzel végzik, a baktérium ugyanis a környezetben szinte mindenütt jelen van. Az élelmiszerekkel közvetlenül foglalkozó személyek kezének tisztaságára ezért különös gondot kell fordítani.

Szalmonellás ételfertőzés esetén 12–24 óra múlva hányás, hasi görcsök, hasmenés és magas láz jelentkezik. A fertőzést a *Salmonella enteritidis* által termelt endotoxinok okozzák. E bélbaktériumok egyes típusai egészen enyhe vagy tünetmentes lefolyású eseteket okoznak, máskor viszont a fertőzés megközelíti a hastífusz súlyosságát. Főként a húsos, tojásos és tejes ételek okoznak szalmonellás megbetegedést. A szalmonellás ételfertőzések ellen a tisztasági rendszabályok gondos megtartása az egyetlen védekezési lehetőség.

A proteáztermelő baktériumok hatására az élelmiszerek fehérjetartalma aminosavakra bomlik, amelyek közül egyesek dekarboxileződnek. Ennek során az emberi szervezetben káros biogén aminok keletkeznek. Ezek közül a hisztamin (11.8. ábra) erős értágító, a bőr és főként az arc kipirulását okozó vegyület, amely rosszulletet és erős vérnyomás-

*ingadozást is kiválthat.* Jelentős szerepe van a nem friss, fehérjetartalmú ételek fogyasztása után jelentkező allergiás megbetegedésekben.



**11.8. ábra.** A tiramin és a hisztamin keletkezése

A *tiramin*, amely a tirozinból dekarboxileződéssel keletkezik, *vérnyomást fokozó vegyület* (11.8. ábra). *Egyes sajtok érése közben is keletkezik*, azonban az ezek fogyasztásával a szervezetbe jutó mennyiség enzimesen oxidálódik, így gyorsan hatástalanná válik. Néhány nyugtató ezt a lebontást gátolja, amikor is a tiramin veszélyes vérnyomás-emelkedést okozhat.

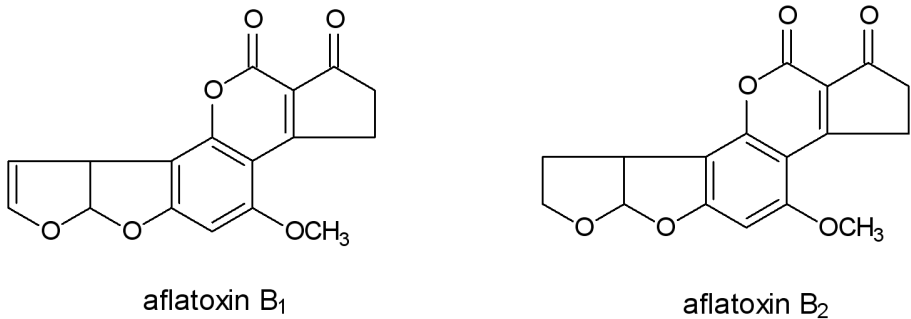
Összefoglalva tehát elmondható, hogy a hisztidinből keletkezett *hisztamin* az állati szövetekben, a parajban és a borban, a tirozinból keletkező *tiramin* sajtokban és halkonzervekben, a lizinből keletkező *kadaverin* és az ornitinből keletkezett *putreszcin* a romlott húsookban, az argininből keletkezett *agmatin* a sajtokban, a szerinből keletkező *etanolamin* a foszfatidokban fordul elő.

### 11.2.2. Mikotoxinok

Az élelmiszerek penészesedése nemcsak undorkeltő hatású, hanem a mikroszkopikus gombák által termelt mérgező anyagok, a mikotoxinok keletkezése miatt is káros. A *mikotoxinok egyes penésztörzsek másodlagos anyagcseretermékei*, amelyek mérgező hatása elérheti a legerősebb mérgekéét, és egyeseknek rákkeltő hatásuk is van. A mikotoxinok által okozott megbetegedést *mikotokózisoknak* nevezzük. A mikotoxinok kémiai szerkezetük alapján lehetnek kumarin-, malonát-, mevalonát- és

acetátszármazékok, továbbá telítetlen laktonok. Mai tudásunk szerint a mérgező és a karcinogén anyagcseretermékek létrehozására képes penészgombafajok száma több mint 200, és ezek mintegy százféle mikotoxint termelnek. A mikotoxin-képződés veszélye elsősorban a trópusi és a szubtrópusi környezetben lévő növénytermékeket fenyegeti, amelyek a trópusokról származó takarmány-alapanyagok (földimogyoró, gyapotmagliszt) vásárlásával kerülnek hazánkba, és hazai viszonyaink között is kialakulhatnak ezek a mérgező anyagok.

1960-ban Angliában több mint 100 ezer kis pulyka pusztult el az *Aspergillus flavus* fajhoz tartozó törzsek által termelt *aflatoxin-mérgezésben*. A toxinról bebizonyosodott, hogy nemcsak májkárosodást okoz, hanem rákkeltő hatása is van. Az *Aspergillus flavus*on kívül az *Aspergillus parasiticus*, sőt néhány *Penicillium* törzs is termel aflatoxinokat. Ezen penészek növekedési optimuma 30 °C körüli, nagy páratartalmú közegben van, ezért az *aflatoxin-képződés főleg trópusi környezetben következik be*. Elsősorban földimogyoróban, gyapotmagban, rizsben, kukoricában, szójában, gabonamagvakban és más takarmánynövényekben mutattak ki aflatoxint. A penészekben 14, szerkezetileg rokon változata képződik, amelyek közül legfontosabbak a B<sub>1</sub> és B<sub>2</sub> (11.9. ábra), a G<sub>1</sub> és G<sub>2</sub>. Valamennyien difurán-kumarin származékok, vízben jól oldódnak és hőállóak. A B betűjelű toxinok UV fényben kék színnel, a G betűjelűek zöld színnel fluoreszkálnak.



11.9. ábra. Az aflatoxin B<sub>1</sub> és B<sub>2</sub>

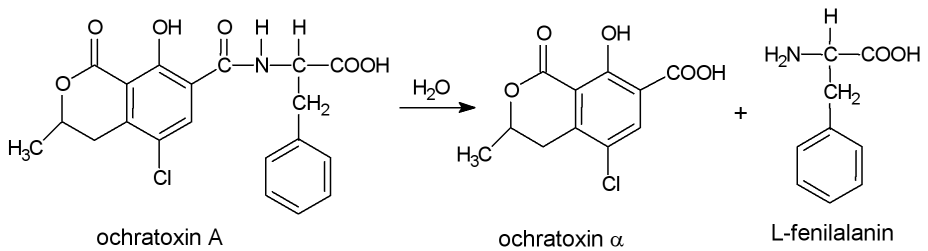
A tejtermelő háziállatok által a takarmánnyal elfogyasztott aflatoxinok néhány százaléka hidroxilált formában a *tejben* is megjelenik, amelyeket M<sub>1</sub> és M<sub>2</sub> *változatoknak* neveznek. Mivel az aflatoxin M<sub>1</sub> és M<sub>2</sub> is toxikus, fennáll a veszélye annak, hogy nemcsak a penészes takarmányt

fogyasztó állat hullik el, hanem a *tünetmentes állat tejétől az ember is mikotoxikózt kaphat*. A legmérgezőbb aflatoxin a B<sub>1</sub> és M<sub>1</sub>, majd sorrendben a G<sub>1</sub>, az M<sub>2</sub>, a B<sub>2</sub> és a G<sub>2</sub> módosulat következik. *Mérgező hatásukat a sejtekben lejátszódó fehérjeszintézis és az enzimműködés megzavarásával fejtik ki*. Kísérleti állatokon májrákot is okoztak. Az állatok érzékenysége az aflatoxinokkal szemben nagyon különböző: legveszélyesebb a naposkacsára, a kis pulykákra, valamint a halakra; a többi háziállat közül leginkább a sertés, legkevésbé a juh érzékeny rá.

Az aflatoxin nemcsak penészes étellel kerülhet az emberi szervezetbe, hanem a fertőzött takarmánnyal etetett állatok húásával és tejjével is. *Az élelmiszerek maximális aflatoxin-tartalmát 30 µg/kg, néhány országban 5–20 µg/kg szinten szabták meg*. Az aflatoxin-tartalmú élelmiszerek és takarmányok méregtelenítése nehéz. A fizikai eljárások közül a nedves hőkezelés és az extrahálás, a kémiaiak közül az ammóniás, lúgos inaktíválás jöhet számításba. Felfedeztek továbbá néhány aflatoxin-elbontó baktériumot is. Az aflatoxint termelő penészgombák gyakran *szterigmatocisztint* is termelnek, amely *májrákot előidéző, világossárga színű mikotoxin*.

Az *ochratoxinokat* az *Aspergillus ochraceus* állítja elő, de más *Aspergillus* törzsek és *Penicilliumok* is termelik a toxint. Ezek a penészek a természetben a meleg éghajlati övek talajában és az ott termesztett növényekben nagyon gyakoriak. Az ochratoxinok az aflatoxinhoz hasonlóan mérgezőek, de azokkal ellentétben karcinogén hatásuk nem bizonyított. *Fehérjékhez kapcsolódva felhalmozódnak a vesében, a májban és az izmokban; elsősorban a veseműködést zavarják*. A három (A, B, C) változat közül az ochratoxin A (11.10. ábra) keletkezik a legnagyobb mennyiségben, és ez egyben a legmérgezőbb is. Olyan *hidroxikumarin-karbonsav-származék, amelyhez peptidkötéssel L-fenil-alanin kapcsolódik*. Az ochratoxin B nem tartalmaz klórt, az ochratoxin C pedig az ochratoxin A etilészter-származéka. Az ochratoxinokról a fenil-alanin *karboxipeptidáz*sal vagy *kimotripsinnel* lehasítható (11.10. ábra). A kapott származékok ugyancsak toxikusak. Az ochratoxinok nemcsak az emésztőrendszerből, hanem a bőrön keresztül felszívódva is kifejthetik hatásukat.

A *patulin* a *Penicillium* és az *Aspergillus* törzsek anyagcsere-terméke, amelyek alacsony hőmérsékleten is képesek a toxin termelésére. Ezek a penészek a gyümölcsökön, zöldségféléken, gabona- és húсарukon egyaránt megtalálhatók, ezeknek a törzseknek azonban csak kis hányada képes a patulin termelésére. A patulin, amely *szerkezetét tekintve telítetlen lakton, karcinogén és mutagén hatású*. A kereskedelemről származó al-



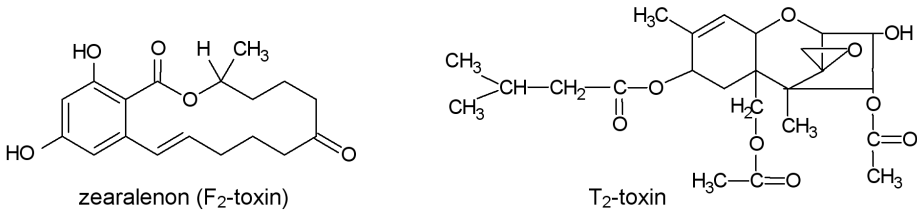
**11.10. ábra.** Az ochratoxin A hidrolízise

malevekben és almaborokban több esetben kimutattak patulint. Ez arra figyelmeztet, hogy az alma feldolgozásakor feltétlenül ki kell válogatni az ún. barnaromlásos gyümölcsöket, mert ezt az elváltozást a patulin-termelő gombák okozzák. Az élelmiszeripari termékek *méregtelenítése a patulin hőstabilitása miatt nagyon nehéz*, kén-dioxid adagolásával, illetve az almaborok aktív szén kezeléssel értek el némi eredményt.

A *Fusarium* nemzetségbe tartozó gombák többféle olyan mikotoxint termelnek, amelyek mind élelmezés-egészségügyi, mind állat-egészségügyi szempontból fontosak. Legismertebb ezek közül a *zearalenon* ( $F_2$ -toxin) és a *trichotecén-mikotoxinok*. A zearalenon, kémiai szerkezetét tekintve *rezorcilsav-lakton*, ösztrogén hatású anyag, amely elsősorban a sertéseknél okozott nagy károkat. Laktonszerkezete miatt *rákkeltő hatást is tulajdonítanak neki*. A *trichotecén-toxinok szeszkviterpenoid vegyületek, amelyek trichotekánvázat tartalmaznak*. Több mint 30 vegyület tartozik ebbe a csoportba, amelyek közül a  $T_2$ -toxin a legismertebb (11.11. ábra). Ismertebb trichotecén-toxin még a *diacetoxiscirpenol* (DAS) és a *dezoxinivalenol* vagy vomitoxin (DON), valamint a néhány éve felfedezett *fumonizinek* ( $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ .stb.), amelyek közül humán-egészségügyi szempontból a fumonizin  $B_1$  ( $FB_1$ ) a legjelentősebb, mivel rákkeltő hatásának bizonyult. A *Fusarium*-gombák a mérsékelt és a hideg égővi talajok termőfelszínén élnek, különösen nagy páratartalmú nyarakon fertőzik a szemes terményeket, majd a mikotoxinok termelésének mértéke a termények további tárolási módjától függ. Így pl. nedves, hideg ( $0-4\text{ }^\circ\text{C}$ ) környezetben képződik a legtöbb méreganyag, ezért a *Fusarium-toxinoktól származó megbetegedések elsősorban tavasszal jelentkeznak*. A fertőzött takarmánnyal a toxinok bejutnak az állati szervezetbe, ahol nemcsak az állatok egészségét károsítják, hanem eredeti



vagy metabolizált formában az állati szövetekben, illetve szervezetben *akkumulálódnak*, amelyek elfogyasztása után *az emberi szervezetbe is bejuthatnak*.



11.11. ábra. Zearalenon és trichotecén-mikotoxinok

A *Fusarium*-toxinok az emberi szervezetben hányást, hasmenést, gyulladásokat, vérzékenységet okoznak. A vérképzés súlyos zavara is előállhat, ami általános rosszulléttel kezdődik, és orvosi beavatkozás nélkül halálos kimenetelű is lehet. A mérgezés esetenként szédüléssel, végtagrágással és hasi fájdalmakkal jár, súlyos esetben tudatzavart, majd halált okoz. A *Fusarium*-toxinok a sütés és a főzés hőmérsékletén nem bomlanak el, és a kémiai hatásokkal szemben is ellenállóak. A fertőzött gabonák évekig toxikusak maradnak. Az ilyen termények *nem detoxikálhatók*, tehát sem takarmányként, sem élelmiszerként nem hasznosíthatók. A *Fusarium*-toxinok elleni védekezés egyetlen lehetősége a megelőzés, a helyes agrotechnika és a megfelelő terménytárolási módszerek alkalmazása.

Egyes *Aspergillus* fajok neurotoxikus, ún. *tremorgén* anyagokat is termelnek, amelyek vagy bénítólag hatnak a központi idegrendszerre, vagy hosszabb ideig tartó remegést, reszketést idéznek elő. Ilyen ciklikus peptidszerkezetű tremorgén toxint termel pl. az *Aspergillus flavus*, az *Aspergillus fumigatus*, az *Aspergillus ustus* és az *Aspergillus clavatus*. Ezekben a tremorgén toxinokban mindig található indolrész, azaz triptofán, amely a bioszintézis egyik kiinduló anyaga. A fumitremorgénekben ezenkívül egy szubsztituált, triptofánból és prolinból álló diketopiperazinváz is felismerhető. A triptokivalin és a triptokivalon tetrapeptidok triptofánból, antranilsavból, valinból és metilalaninból vagy alaninból épülnek fel. Egyes *Penicillium* fajok is termelnek tremorgén neurotoxinokat, és feltételezhető, hogy az egyes, háziállatokon kitört idegrendszeri megbetegedések is ilyen gombák anyagcseretermékeire vezethetők vissza.

### 11.3. Peszticidok

A mezőgazdaságban használatos vegyi anyagok egy része a táplálkozási láncsal eljuthat az emberi szervezetbe is, ahol mérgező hatást fejthet ki. A növényi, állati és mikroba kártevők ellen alkalmazott vegyszerek élelmiszerekbe kerülő részét nevezzük *szermaradékoknak*, peszticid anyagoknak. A visszamaradó hatóanyagok csak akkor lehetnek veszélyesek, ha a növényvédő szereket a megengedettnél nagyobb koncentrációban használták, vagy ha nem tartották be az élelmezés-egészségügyi várakozási időt. A növényvédő szerek három legnagyobb csoportja a következő:

- rovarölő szerek vagy inszekticidok,
- gombaölő szerek vagy fungicidok és
- gyomirtó szerek vagy herbicidok.

A peszticidok fogalmkörébe még a következő hatóanyagcsoportok is beletartoznak: atkaölő szerek, fonalféregölő szerek, csigairtó szerek és rágcsáló elleni szerek.

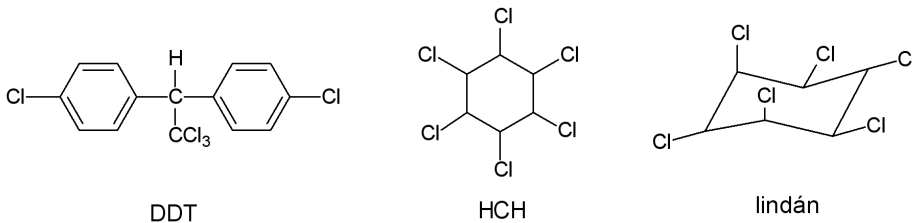
#### 11.3.1. Inszekticidok

A növényvédő szerek legnagyobb arányban, mintegy 60%-ban, kártevő rovarok elleni készítmények, azaz inszekticidok. Korábban erre a célra a rendkívül veszélyes arzénvegyületeket, illetve a nikotint alkalmazták, amelyeket ma már teljesen kiszorítottak a klórozott szénhidrogének és a szerves foszforvegyületek. A növényekre permetezett rovarölő szerek különböző mértékig hatolnak be a növényi szövetekbe. Ennek alapján megkülönböztetünk:

- felületi hatású szereket, amelyek csak azokon a növényi részekben fejtik ki hatásukat, amellyel érintkeznek,
- mély hatású szereket, amelyek kisebb-nagyobb mértékben áthatolnak a növényi szöveteken, és
- felszívódó szereket, amelyeket a növényi szervezet nedvkeringési rendszere távol eső, nem permetezett részekbe is elszállít.

A *klórozott szénhidrogének* alkalmazása a DDT rovarölő hatásának felfedezése után terjedt el. Széles hatásspektrumuk és hosszú hatástartamuk miatt először a közegészségügy területén, majd a mezőgazdaságban is kedvelté váltak. *Az eredeti anyagok és bomlástermékeik stabilitása azonban rendkívül veszélyes*, mert hosszú ideig megmaradnak a talajban és a növényekben, innen bejutnak az állati és emberi szervezetbe, ahol

a zsírszövetben felhalmozódnak, és káros elváltozásokat, esetleg rákot is okozhatnak. A klórozott szénhidrogének veszélyesek a méhekre és a halakra is. A fentiek miatt az 1970-es években a növényvédő szerként rendkívül eredményesen alkalmazott klórozott szénhidrogének nagy részét szinte valamennyi országban betiltották.

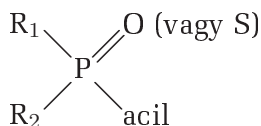


11.12. ábra. Klórozott szénhidrogének

A DDT (diklór-difenil-triklór-etán) a rovarok többsége számára kontakt és gyomorméreg, atkákra azonban alig hat (11.12. ábra). Egyes rovarfajokban rezisztencia is kialakulhat ellene. Melegvérűekre és az emberre közvetlen mérgező hatása viszonylag kicsi, viszont felhalmozódik a zsírszövetekben és kiválasztódik a tejjel. A DDT-vel rokon szerkezetű vegyület a *metoxiklór*, amely nem dúsul fel a szövetekben, és a tejjel sem választódik ki. A *hexaklór-ciklohexán* (HCH) a benzol addíciós klórozásával állítható elő (11.12. ábra). Biológiai hatása csak a  $\gamma$ -izomernek, az ún. *lindánnak* van. Szagtalan, viszonylag nagy illékonyságú, ezért nemcsak kontakt és gyomorméreg, hanem légzési méreg is. Valamennyi kártevő rovarra hat, sőt nagy gőznyomása miatt talajfertőtlenítő szerként is használható. A monociklikus diénszármazékok közé tartozik az *endo-szulfán*, amely széles spektrumú rovarölő szer, a méhekre azonban nem veszélyes. A policiklikus diénszármazékok közül az *aldrin* és a *dieldrin* jelentős. Az aldrin rovarölő hatása még a DDT-ét is felülmúlja.

A *szerves foszforvegyületek* több száz változata rovarölő hatású, amely változatokat az alábbi általános képlettel lehet leírni (11.13. ábra).

A képletben az  $R_1$  és  $R_2$  lehet alkil-, alkoxi- vagy másodrendű aminocsoport. Az acilcsoport lehet szervetlen vagy szerves savmaradék, vagy más savas jellegű csoport. Lényegében tehát a *rovarölő hatású szerves foszforvegyületek foszforsav-észterek* vagy ezzel rokon vegyületek. A foszforsav-inszekticidek mély hatású, esetenként szisztemikus, különböző hatásspektrumú rovarölő szerek. A természetbe kijuttatva gyorsabban bomlanak, mint a klórozott szénhidrogének, és nem halmozódnak

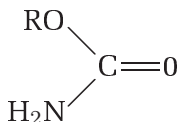


11.13. ábra. A szerves foszforvegyületek általános képlete

nak fel a táplálkozási lánc révén az emberi szervezetben. A melegvérűekre gyakorolt közvetlen mérgező hatásuk viszont sokkal nagyobb, mint a klórozott szénhidrogéneké. A szerves foszforvegyületek megbénítják az acetilkolin-észteráz enzimét, amely minden magasabb rendű állat és az ember idegszövegeiben is megtalálható. Az enzim szerepe az idegvégződéseken képződő és az ideg ingerületnél fontos szerepet játszó acetilkolin hidrolízises bontása. A peszticid az enzimét megbénítja, aminek következtében az acetil-kolin felhalmozódik, és mérgezés következik be.

A fenol-észterek csoportjába azok a foszforsav-észterek tartoznak, amelyeknek az acilcsoportját fenol, illetve fenolszármazékok alkotják. Legfontosabb vegyületek a *paration*, a *metil-paration*, a *fention* és a *diazinon*. Az alkilezett foszforsav-észterek hatóanyagának az acilcsoportját alkilezéssel hozzák létre. Legfontosabb képviselőik a *malation* és a *dimetoát*.

A foszfítszármazékok csoportjába azok a szerves foszforvegyületek tartoznak, amelyek dialkil- és trialkil-foszfitokból alakulnak ki. Legjellegzetesebb képviselőik a *triklórfon*, a *diklórfosz* és a *mevinfosz*. Az előzőekben ismertetett rovarölő hatású szerek mellett a *karbamát*-, a *piretroid-inszekticideket* és a *dinitro-ortokrezolt* érdemes megemlíteni. A *karbamát* típusú rovarölő szerek (11.14. ábra) kémiaiilag a karbaminsav észterei, amelyek a foszfátészterekéhez hasonló mechanizmus szerint, a *kolinészteráz* enzim bénítása alapján, szisztemikusan fejtik ki hatásukat.



11.14. ábra. A karbaminsav-észterek szerkezete

A *piretroidok* eredetüket az inszekticid hatású piretrumra vezetik vissza, amely különféle *krizantémfajták finomra őrölt virágfejeiből készült por*. Ennek a természetes eredetű készítménynek a fő hatóanyagai magas forráspontú észterek. A piretrinek széles hatásspektrumú kontakt inszekticidok, amelyek a rovarokra rendkívül nagy hatással vannak, melegvérűekre viszont teljesen ártalmatlanok. Ma már *szintetikus úton állítják elő a krizantémsav észtereit*, illetve ezek származékait. Ilyen származék a *bioezmetrin*, amely széles spektrumú rovarölő szer, és elsősorban legyek, darazsak, csótányok, hangyák és szúnyogok ellen hatásos.

### 11.3.2. Fungicidok

A fungicidok olyan növényvédő szerek, amelyeket különböző növénykultúrák gombás betegségeinek megelőzésére, a vetőmagvak gombás fertőzöttségének megszüntetésére használnak. A vetőmagvak vizes oldatba, szuszpenzióba mártással vagy jól tapadó poranyag száraz felvitelével *csávázhatók*. Mindkét eljárással olyan nagy mennyiségű mérgező anyag kerül a magvak belsejébe és felületére, hogy azt alapos mosással sem lehet eltávolítani. *Csávázott vetőmagot tehát táplálkozási vagy takarmányozási célokra felhasználni szigorúan tilos!* A mérgezés megelőzésére az ilyen vetőmagot feltűnően megjelölt csomagolásban, elkülönítve kell tárolni. Korábban a *legfontosabb csávázószerkeszerves higanyvegyületek* voltak, amelyek között nedves és porcsávázásra alkalmas változatokat egyaránt találunk. Valamennyi erős mérgező, az emberre már 0,5 g-nál kisebb mennyiségben is halálos lehet. A központi idegrendszert és a vesét károsítják, és veszélyességüket fokozza, hogy a bőrön keresztül is felszívódhatnak.

A *szervetlen gombaölő szerek* közül legismertebbek a réztartalmú szerek. A legrégebben ismert réztartalmú szer a réz-szulfát, amelynek oltott mésszel képzett vegyülete az ún. bordói lé [ $\text{CuSO}_4 \cdot 4 \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ ]. A bordói lé gombaölő hatását néhány tizedszázaléknyi cinkgálic ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), illetve vas-gálic ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) bekeverésével növelni lehet. Ezek a növényvédő szerek napjainkban kevésbé használatosak, helyettük a réz-oxi-klorid-tartalmú szerek, valamint ezek szerves fungicidokkal kombinált készítményei kedveltek.

A kéntartalmú gombaölő szerek nagy részében finom szemcséjű kénpor van. Az elemi kén gyakorlatilag nem toxikus anyag. A szerves gombaölő szerek közül elsősorban a *ditiokarbamátok* és a *ftálimidek* használatosak növényvédő szer hatóanyagaként. A ditiokarbamátok széles ha-

tásspektrumú fungicidek, vas-, cink- és mangánsók vízben oldhatatlan, kevésbé mérgező vegyületek. A ftálimidek két alapvegyülete a ftálimid és a tetraftálimid származéka. Mindkét alapvázban különböző szubsztituensekkel helyettesíthető az NH-csoport hidrogénje. A ftálimid típusú hatóanyagok közül a *faltán* és *kaptán* a legelterjedtebb. Az egyéb szerves fungicidek közül megemlítendő még a *dinokap* és a *benomil* hatóanyag-tartalmú szerek.

### 11.3.3. Herbicidek

A gyomirtó szerek, herbicidek elsődleges rendeltetése, hogy a *kultúrnövényt a gyomosodástól szelektív módon megvédjék*, egyes változataik azonban totális irtószer, amelyek a kezelt területen minden zöld növényt elpusztítanak. A defoliánsok a haszonnövények lombzatát perzselik le. A herbicid hatás jellege szerint megkülönböztetünk *perzselő vagy kontakt felszívódó, illetve szisztemikus és gyökérgárosító szereket*. A hatást a növényi enzimek és hormonok működésének megzavarása váltja ki. A gyomirtó szerek többsége közvetlenül alig vagy egyáltalán nem mérgező, és a szervezetből általában változás nélkül kiürülnek, néhányuk hatása azonban kumulálódhat. Egyes esetekben a termények átveszik a herbicidek kellemetlen szagát és ízét, amelyek az élelmiszeripari és konyhai feldolgozás közben még erősödhetnek is.

### 11.3.4. Állattenyésztési és gyógyászati maradékok

A nagyüzemi állattenyésztés során egyre több olyan takarmányadaleket, valamint állatgyógyászati anyagot használnak, amelyek maradékai, illetve származékai az emberi szervezetbe is eljuthatnak, és ott károsak lehetnek. A takarmányokhoz adagolt *antibiotikumok* elsősorban a bélflóra összetételére és életműködésére gyakorolnak hatást. *Elősegítik a tápanyagok jobb hasznosulását*, amivel gyorsítják az állatok gyarapodását, gazdaságosabbá teszik a termelést. Az antibakteriális adalékok koncentrációja 10–100 mg/kg nagyságrendű a takarmányban, ami lényegesen kisebb a gyógyászati célra szükségesnél. Manapság már csak olyan antibiotikumok használatát engedélyezik ilyen célra, amelyeket az ember- és állatgyógyászatban terápiásan nem alkalmaznak. A fentiek a rezisztencia kialakulása ellen hatnak.

A korszerű antibiotikumokat az is jellemzi, hogy az állatok emésztőcsatornájából nem vagy alig szívódnak fel, ami szintén védelmet

nyújt az ember számára. Állatgyógyászati célra olyan antibiotikumok is használhatók, amelyeket a humán terápiában is alkalmaznak. A gyógykezelés befejezése után azonban *be kell tartani az előírt várakozási időt*, és csak ezután szabad az állatot levágni, illetve a tejet vagy tojást forgalomba hozni.

Az állatok szervezetébe juttatott *hormonhatású anyagok* növelik a táplálékkal felvett nitrogén hasznosítását, ezáltal fokozzák a fehérjeképződést, a tömeggyarapodást. Az anabolitikus hatású anyagokat három csoportra oszthatjuk:

- természetes szexuálhormonok,
- szintetikus szteroidszármazékok,
- szintetikus szteroidszerkezet nélküli vegyületek.

Ezeket az ösztrogénhatású anyagokat takarmánnyal, injekcióval és szöveti implantációval lehet az állati szervezetbe juttatni. Hazánkban és Európa legtöbb országában tilos a hormontartalmú takarmányadalékok használata.

A különböző betegségek megelőzésére és gyógyítására sokféle *állatgyógyászati anyagot* kell az állatok szervezetébe juttatni. A betegségek leküzdésére alkalmas gyógyszerek maradékai nem juthatnak el a táplálkozási láncsal az emberi szervezetbe, ezért az állatok kezelésének befejezése után feltétlenül *be kell tartani az élelmezésügyi várakozási időt*. Az állatgyógyszerek maradékai különböző egészségi károsodásokat idézhetnek elő az ilyen anyagokat tartalmazó termékek fogyasztóiiban.

## 11.4. Egyéb mérgek

Az élelmiszeripar nyersanyagai szállítás, tárolás és feldolgozás közben érintkezésbe kerülhetnek olyan közeggel, amelyből mérgező anyagokkal szennyeződhetnek. A környezetből eredő toxikus anyagok lehetnek fémszennyeződések, műanyagokból eredő mérgek és a szennyezett természeti környezet ártalmas komponensei.

### 11.4.1. Fémszennyeződések

Az élelmiszerek fémtartalma részben a nyersanyagok természetes fémtartalmából, részben a technológiai műveletek közben használatos eszközökről ered. A fémszennyezések tárgyalásakor hangsúlyozni kell, hogy a szervezetet nagyobb mennyiségben mérgező fémek egy ré-

szére mikroelemként feltétlenül szükség van. Vannak azonban olyan fémek, amelyek mikroelemként is toxikusak, és amelyeknek jelenlétét az élelmiszerekben *egyértelműen kedvezőtlennek* ítéljük meg. Ezek közül az *ólom*, a *kadmium* és a *higany* a legjelentősebbek.

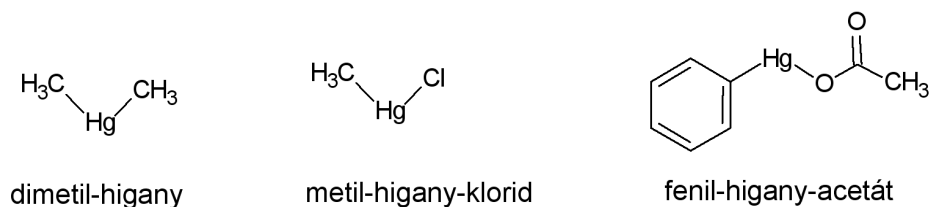
A legtöbb *ólom* az olyan növényi nyersanyagokkal jut az élelmiszerekbe, amelyek a járművek kipufogógázainak ólomtartalmától szennyeződtek. Korábban különösen a nagyforgalmú utak mellett termesztett növényekben, elsősorban a levélzöldségekben volt nagy az ólomtartalom. A talaj az ólmot jól megköti, így a növények szennyezettsége nem növekedik a talajéval arányosan. Az állati szervezetekbe jutott *ólom a májban, a vesében és a csontokban gyűl fel*, így az ezekből készült ételek növelhetik ólomfelvételünket. További veszélyt jelenthetnek a sok ólmot tartalmazó ónnal forrasztott konzervdobozok, ónedények. Jelenlegi viszonyaink között hetente mintegy 0,7–1,2 mg ólom jut a szervezetünkbe, amelynek mintegy 90%-a a táplálékainkból ered, a többi pedig a légköri levegő ólomszennyeződése belégzésének következménye. A szervezetbe jutott ólom mintegy 10%-a szívódik fel, a többi a széklettel kiürül. *A szervezetben maradt ólom erősen toxikus, a hemoglobinszintézist és több enzim működését is gátolja.*

A *kadmium* a mellékvesekéregben akkumulálódva 0,2–0,3 mg/kg koncentráció felett súlyos károsodást okoz, kiürülése a szervezetből nagyon lassú, a felezési időt legalább 10 évre becsülik. A kadmium a növények föld feletti részében nem mobilis, a talajból felszívódott mennyiség nagy része a gyökérben akkumulálódik. Kivétel ez alól a dohány, ahol a levelekben is számottevő mennyiségben mutatható ki, ezért a dohányosok szervezetébe kerülő mennyiség jelentős része a tüdőn keresztül szívódik fel. A mégis felszívódott kadmiumionok könnyen eloszlanak a növényi szövetekben, ezért szennyeződés esetén felületi lemosással nem lehet méregtelenítést elérni. Egyes ehető gombákban, kagylókban, *idősebb állatok veséjében és a májban hajlamos a feldúsulásra*. A szervezetünkbe hetenként bejutó kadmiumot 0,15–0,20 mg-ra becsülik, amelynek több mint 95%-a ételünkben ered. Ennek csak mintegy 5%-a szívódik fel, viszont a belélegzett kadmium 100%-a a tüdőn keresztül eljut a mellékveséhez. Törekedni kell arra, hogy ipari szennyvizekkel, porral ne növeljük környezetünk kadmiumtartalmát. *Különös gonddal kell ellenőrizni a trágyázásra szánt üledékek, iszapok összetételét.*

A belélegzett *higanygőzök*, valamint a táplálékkal felvett szerves és szerves (11.15. ábra) higanyvegyületek rendkívül toxikusak. Az ipari szennyvizeken kívül a higanyvegyületekből készített gombaölő és csává-



zószeres szakszerűtlen kezelése, valamint a higanytartalmú kőszenek elégetése szennyezheti a környezetet. A legsúlyosabb mérgezések a fejlődő országokban fordulnak elő, ahol ma is megtörténik, hogy higanyvegyületekkel csávázott vetőmagot használnak fel takarmányozási, sőt étkezési célokra. Ételeink nyersanyagai közül a halak és a gombák hajlamosak a szerves higanyvegyületek felhalmozására, bennük dimetil-higany, metil-higany-sók és fenil-higany-sók fordulnak elő. Becslések szerint 0,2–0,3 mg higany jut átlagosan hetenként egy ember szervezetébe, amelynek forrásai a gomba- és halételek.



11.15. ábra. Szerves higanyvegyületek

A *fémzennyeződések technológiai megelőzése* érdekében olyan szerkezeti anyagból készült technológiai berendezéseket kell használni, amelyekből mérgező fémmennyiség nem kerülhet az élelmiszerekbe. Nem érintkezhet tehát az élelmiszer ólom-, réz-, cink- és arzéntartalmú ötvözetekkel, valamint felülettel sem, mert *káros elszíneződést, kellemetlen, fémes ízt és nemkívánatos katalitikus hatást okozhat*. Az élelmiszeripari gépeket és berendezéseket az élelmiszerekkel érintkező felületen rozsdamentes acélból, nagy tisztaságú alumíniumból vagy ón-zománc, esetleg lakk védőbevonattal ellátott acélból kell készíteni. Az alumíniumszerszögek felületén keletkező alumíniumvegyületek nem toxikusak, de káros elszíneződést vagy katalízist okozhatnak az élelmiszerekben. Eloxálással vagy lakkbevonattal az alumínium korrózióját csökkenteni lehet. A vasfelületek bevonására csak a 99,9% tisztaságú ónt szabad felhasználni.

#### 11.4.2. Műanyagokból származó mérgek

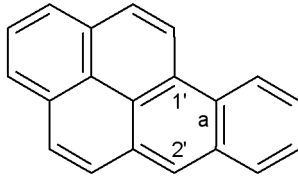
A műanyagok elsősorban a technológiai berendezések szerkezeti anyagaiként, továbbá késztermékek csomagolására használatosak. Alkalmazási lehetőségük azonban korlátozott, mert egyes műanyagok olyan

komponenseket tartalmaznak, amelyek az élelmiszerbe kerülve a fogyasztóra károsak. A műanyagokban a makromolekulák mellett mindig vannak kismolekulájú alkotórészek is, mint amilyen pl. a kiindulási anyag maradékai vagy a különböző lágyítószer, stabilizálók és töltőanyagok. Ezek a komponensek átdiffundálhatnak, átoldódhatnak az élelmiszerekbe, mérgezést vagy rákot okozva. Élelmiszer-ipari termékek csomagolására mérgezési veszély nélkül a következő műanyag fóliák használhatók: kemény PVC, poli(vinilidén-klorid), polietilén, polipropilén, polisztirol, poliészter, poliamid, cellofán és kombinált fóliák.

### 11.4.3. A szennyezett természeti környezet ártalmai

Az ipari telepek, a közlekedés és a fűtés füstgázai, valamint az atomenergia felhasználása kisebb-nagyobb mértékben szennyezi a talajt, a vizet és a levegőt. Ezek az idegen anyagok egyrészt közvetlenül károsítják az emberi szervezetet, másrészt az élelmiszerekbe bejutva fejtik ki hatásukat. A szerves anyagok tökéletlen égésekor *policiklikus aromás szénhidrogének* keletkeznek. Ma mintegy 100 ilyen policiklikus aromás szénhidrogént (PAH) ismerünk, amelyeknek negyede *bizonyítottan rákkeltő hatású*. A poliaromás szénhidrogének közül az 1,2-benzpirén a legfontosabb (11.16. ábra), amely öt kondenzált benzolgyűrűt tartalmaz, s a kőszénkátrány fő rákkeltő komponense. Policiklikus aromás szénhidrogének azonban nemcsak környezeti ártalomként, hanem az élelmiszeriparban szokásos technológiai eljárások következményeként is keletkezhetnek. Zsírok és szénhidrátok  $500\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hevítése esetén jelentős mennyiségű ilyen vegyület keletkezik. A *hús faszenes grillezésekor* tízszer annyi PAH keletkezik, mintha gázlángon készítették volna. Az ipari műveletek közül az olajos magvak oldószeres extrakciójakor ( $1\text{--}10\text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$  az olajban), a húsaruk füstölésekor ( $0,6\text{--}0,7\text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ ), a babkávét pörkölésekor ( $2,0\text{--}2,5\text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ ) is képződik 1,2-benzpirén. A táplálékkal felvett policiklikus aromás szénhidrogének rákkeltő hatása nincs olyan egyértelműen tisztázva, mint a dohányfüst és a tüdőrák esetében, mégis törekedni kell arra, hogy élelmiszereinkben koncentrációjuk ne haladja meg az  $1\text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$  értéket.

A *nitrózaminok* olyan vegyületek, amelyek =N–NO-csoportot tartalmaznak. Elsősorban *szekunder aminokból, de esetenként primer és terciér aminokból is képződnek nitrítékkal*, illetve salétromossavval reagálva. Mintegy 100 ilyen típusú vegyületet ismerünk, amelyek közül 80 bizonyult karcinogénnek. Élelmiszereinkben hat változata fordul elő



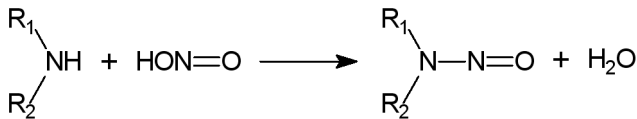
11.16. ábra. 1,2-benzpirén

nagyobb mennyiségben, amelyek közül a *dimetil-nitrózamin a legmérgezőbb és a legelterjedtebb*. A nitrózaminok kétféleképpen juthatnak be az emberi szövetekbe, szervekbe: exogén úton, az ételekkel és endogén úton, az emésztőcsatornában képződve.

*Exogén nitrózaminforrások lehetnek:*

- a pácolt és sült húsok, különösen a faszénen grillezettek,
- füstölt húsárak, halak, sajtok,
- a füstgázokkal szárított malátából főzött sör,
- a nitrogéndús talajokon termesztett dohányból készült cigaretta,
- a gabonapálinka.

A felsorolt példák mutatják, hogy a nitrit- és nitrátsókkal kezelt pácolt, füstölt és erőteljesen hőkezelt fehérjetartalmú élelmiszerek tartalmaznak elsősorban nitrózaminokat  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nagyságrendben.



11.17. ábra. Nitrózaminok képződése

Az endogén nitrózaminok keletkezésének feltételei már a szájban kezdenek kialakulni. A nyál baktériumai az ételek nitráttartalmát nitríté redukálják, majd a gyomor savas környezetében lejátszódik az aminok nitrózóvegyületekké való átalakulása (11.17. ábra). A nitrózaminok erős mérgek, amelyek a szervezet DNS-molekuláinak szerkezetét bontják meg. Már kis koncentrációban is rákkeltők, ami indokolja, hogy törekedjünk a szervezet exogén és endogén nitrózamin-terhelésének csökkentésére. Ehhez a következők járulhatnak hozzá:

- húsfeldolgozásnál a nitrit- és nitrátdagolás korlátozása,

- antioxidáns hatású adalékok használata és
- a zöldségfélék nitráttartalmának mérséklése.

A *poliklórozott-bifenilek* az ipar számos területén adalékanyagként használatosak. Ezek a nehezen lebomló vegyületek beszennyezték a természeti környezetet, vagyis a talajt, az atmoszférát és az élő szervezeteket. A táplálkozási láncsal eljutnak az élő szervezetbe, ahol *a zsírszövetben, a májban, a lépben és az idegpályákban halmozódnak fel*. Élettani hatásuk a klórozott szénhidrogénekéhez hasonló, azaz *közvetlen toxicitásuk csekély, de hosszabb távon karcinogén és teratogén anyagok*. Az állati eredetű élelmiszerek közül a halak, a szalonna, a tej és a vaj, valamint a tojás lipidjeiben 0,2–6,0 mg/kg koncentrációban fordulnak elő a poliklórozott-bifenilek. Közép-Európában szinte minden anya tejében ki lehet mutatni jelenlétüket.

Az ember olyan környezetben él, amely szervezetét *különböző sugárzásokkal* terheli: ezek lehetnek a bioszférában lévő természetes radioaktív nuklidok korpuszkuláris ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) és foton ( $\gamma$ ) sugárzásai, valamint a világűrből érkező kozmikus sugárzások. A környezeti sugárterhelés jelentős része a talajban, valamint az élő szervezetekben jelen lévő K-40 izotópból ered. Ez a  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzó radionuklid a természetben mindenütt a kálium 0,0119%-át teszi ki, és  $1,3 \cdot 10^9$  év felezési idővel 89%-ban kalciummá, 11%-ban pedig argonná bomlik. A K-40-en kívül az ólom és a polónium 210-es tömegszámú radionuklidjának, valamint a  $C^{14}$ -izotópnak van szerepe a növényi és állati eredetű élelmiszerekből származó háttérsugárzásban. *A természetes háttér a 20. század közepe óta olyan sugárszennyezéssel egészül ki, ami az emberi tevékenység következménye*. A mesterséges kontamináció elsődleges forrásai az atomrobbantások és az atomerőmű-balesetek. Az ember által előidézett sugárszennyezés több mint hatvanféle aktív izotópot juttathat a bioszférába, amelyek közül *a stroncium, a cézium, a jód és a szén különböző tömegszámú változatai okozzák a fő veszélyt*, ezek ugyanis hosszabb felezési idejűek, és részben beépülnek az élő szervezetbe.

A II. világháborút követően a légköri atomfegyver kísérletek oly mértékben szennyezték a bioszférát, hogy az már veszélyessé vált minden élőlény számára. A nagyhatalmak által 1963-ban kötött „atomcsend egyezményt” követően a légkör fajlagos aktivitása folyamatosan csökkent, és az 1980-as évek közepére a természetes és a mesterséges eredetű háttérsugárzások összegének szintje oly alacsony mértékre szállt le, amely már nem veszélyeztette az emberiség egészségét. Ezt a kedvező állapotot zavarta meg a csernobili reaktorbaleset, amelynek következté-

ben radioaktív anyagok szóródtak szét a bioszférában. Magyarországon a Nyugat-Dunántúl, Budapest és környéke, valamint Heves és Nógrád megye tízszer több sugárzó anyagot kapott, mint az ország más részei. A radioaktív anyagok először a leveles zöldségekben, növényekben, valamint a legeltetett állatok tejében jelentek meg.

*A szennyezett élelmiszerek sugármentesítése rendkívül nehéz feladat, esetenként lemosással, a felületi réteg eltávolításával és a lebomlási idő kiváráásával lehet részleges eredményt elérni.*

## 11.5. Néhány mérgező anyag kimutatása és meghatározása

A mérgező anyagok olyan sokfélék és olyan változatos kémiai szerkezetűek, hogy analízisük nem köthető valamilyen vegyületek nagyobb csoportját átfogó analitikai módszerhez. Ebben a fejezetben a ciántartalom és az olajos magvak kéntartalmú glikozinolat-tartalmának meghatározásáról, a szója tripszininhibitor-aktivitásának méréséről, a mikotoxinok és az F<sub>2</sub>-toxin analíziséről, a peszticidek kimutatásáról és meghatározásáról, valamint a mérgező fémnyomok elemzéséről közlünk rövid leírást.

### 11.5.1. A cián-hidrogén-tartalom meghatározása

Szeszes italok cián-hidrogén-tartalmát a cián-hidrogén ammónium-hidroxiddal való felszabadítása után argentometriás titrálással határozzuk meg. A végpont meghatározására para-dimetilamino-benzilidén-rodanidot használunk. Színes italok esetén az alkoholtartalom meghatározásakor szokásos desztillációt végzünk, amelynek során a cián-hidrogén az alkoholos fázisba kerül. A vizsgálandó mintából vagy párlatból 50–50 cm<sup>3</sup>-t pipettázunk egy-egy 200 cm<sup>3</sup>-es jódszám lombikba, etil-alkoholos ammónium-hidroxidot és indikátoroldatot adunk hozzá, majd 10 percig állni hagyjuk. Ezt követően a lombikok tartalmát a világossárga színtől a hagymaszín eléréséig ezüst-nitrát-oldattal titráljuk. A cián-hidrogén-tartalmat a titrálásra, illetve a vakpróbára fogyott ezüst-nitrát-oldat térfogatából számítjuk.

### 11.5.2. Olajos magvak kéntartalmú glükozinolát-tartalmának meghatározása

Az olajos magvak tioglikozidjainak enzimes hidrolízisét követően vízgőz-desztillációval eltávolítjuk az izotiocianátokat (ITC), majd ammóniás közegben tiokarbamid-származékká alakítjuk azokat. A keletkezett vegyületeket ezüst-nitráttal reagáltatjuk, az ezüst-nitrát feleslegét pedig ammónium-rodaniddal titráljuk vissza. Az izotiocianát-tartalmat az ezüst-nitrát-oldat fogyásából számítjuk.

Az 5-vinil-2-tio-oxazolidonok (VTO) mennyiségét a vízgőz-desztillációs maradék dietil-éteres extraktjának 220–270 nm hullámhosszon végzett ultraibolya abszorpciójából határozzuk meg. A vegyület 248 nm hullámhosszon adja abszorpció maximumát.

A vizsgálat során kb. 20 g 1 mm-nél kisebb szemcsenagyságúra őrölt mintát n-hexánnal vagy petroléterrel extrahálunk, ezután az oldószergőzöktől mentesített és 0,4 mm-es lyukátmérőjű szitán átszitált őrleményből 2,5 g-t  $103 \pm 2$  °C-on, szárítószekrényben megszáritunk, majd 2 g-ot egy 500 cm<sup>3</sup>-es *Erlenmeyer*-lombikba mérünk. Citrátpuffer és speciális enzimoldat segítségével elvégezzük az izotiocianát hidrolízisét, majd a desztillációt követően a feleslegben adott ezüst-nitrátot ammónium-rodanid-oldattal tartós rózsaszín színig titráljuk. Mivel a repcében az ITC-vegyületek közül a 3-butenil-izotiocianát a fő alkotó, ezért az eredményeket ebben fejezzük ki.

Az ITC-tartalmat gázkromatográfiásan is meghatározhatjuk, amelynek során az enzimes feltárással szabaddá vált izotiocianátokat diklórmetánnal extraháljuk, majd ezt követően ebből a fázisból fecskendezünk az optimális koncentráció elérése miatt 10–100  $\mu$ l-t a gázkromatográf töltetes oszlopára. A rutinszerűen alkalmazott meghatározásnál az izotiocianát csúcsok az alábbi sorrendben jelennek meg: allil-, butil-, 3-butenil-, 4-pentenil-izotiocianát.

Az 5-vinil-2-tio-oxazolidonok (VTO) mennyiségét a desztillálási maradékból határozzuk meg, amelynek során a VTO-tartalmat dietil-éterrel négyszer extraháljuk, majd az összegyűjtött dietil-éteres fázisoknak 248 nm hullámhossznál meghatározzuk az abszorpcióját a vak értékkel szemben. A mennyiségi meghatározáshoz elkészítjük a VTO-kalibrációs görbét, és a VTO mennyiségét mg/g-ban adjuk meg.

### 11.5.3. A szója és a szójatermékek tripszininhibitor-aktivitásának meghatározása

A módszer alkalmas a szója és a szójatermékek tripszininhibitor-aktivitásának meghatározására. A *tripszin* enzim a N- $\alpha$ -benzoil-DL-arginin-p-nitroanilid-hidroklorid (DL-BAPA) mesterséges szubsztrátból sárga színű p-nitro-anilin terméket hasít le. Tripszininhibitor jelenlétében kevesebb sárga színű vegyület keletkezik, így az enzimgátlás mértéke fotometriásan nyomon követhető. A tripszininhibitor az antinutritív növekedésgátló vagy lassító, a táplálék értékesülését rontó anyagok közé tartozik. A proteázgátlás és ezen belül a tripszingátlás a növényvilágban igen elterjedt. A mintegy tízféle ismert proteázgátlás közül a *tripszingátlás* a leglényegesebb. Ennek lényege, hogy a tripszin *nem tudja a bázikus aminosavaknál a fehérjét támadni, mivel az inhibitor a tripszinhez sztöchiometrikusan kötődik*. Hatására a hasnyálmirigy hiper szekréciója indul meg, reverzibilis pankreász-hipertrófia alakul ki a kéntartalmú aminosavak hozzáférhetőségének romlása miatt, fokozódik az endogén nitrogén-vesztés, latens metionin- és cisztinhiány lép fel. Fentiek miatt rendkívül fontos ismerni a szója és szójatermékek tripszininhibitor-aktivitását.

A vizsgálati eljárás során a zsíros mintát hideg eljárással zsírtalanítjuk, miközben zsírtartalmát is meghatározzuk. A liszt finomságúra őrölt, zsírtalanított mintából 2 g-ot analitikai mérlegen főzőpohárba mérünk, majd 70–80 cm<sup>3</sup> desztillált vízben szuszpendálunk. A szuszpenzió pH-ját 1 mólos nátrium-hidroxiddal 9,5–9,8 közé állítjuk be, ezután 100 cm<sup>3</sup>-re kiegészítjük desztillált vízzel, majd az így kapott oldatot három órán keresztül mágneses keverőn kevertetjük. Az előkészített szuszpenzióból, attól függően, hogy kezeletlen vagy kezelt szójáról van-e szó, különböző térfogatú bemérésekkel hígítási sorozatot készítünk. A hígítási sorozat tagjaiból azt az oldatot választjuk a tripszininhibitor aktivitásának meghatározására, amelynek abszorbanciaértéke a szójamintát nem tartalmazó oldat abszorbanciaértékének 40–60%-át adja. Az optimális hígítású oldatból száraz kémcsövekbe hígítási sorozatot készítünk 0,6; 1,0; 1,4 és 1,8 cm<sup>3</sup>-es bemérésekkel, majd a sorozat minden tagját desztillált vízzel 2 cm<sup>3</sup>-re egészítjük ki. Mindegyikhez hozzáadunk 2–2 cm<sup>3</sup> tripszinoldatot, és öt percig 37 °C-on termosztáljuk. Ezt követően 5 cm<sup>3</sup> DL-BAPA oldatot adunk hozzá, összerázzuk, 10 percig 37 °C-on termosztáljuk, majd 1 cm<sup>3</sup> 30%-os ecetsavat hozzáadva a reakciókat leállítjuk. A mintákat ezután száraz kémcsövekbe szűrjük, majd 30 perc múlva 410

nm-en mérjük az abszorbancia értékeket a reagens vakoldattal szemben. A vizsgálathoz szükséges reagens vakodat csak a felhasznált vegyszereket tartalmazza minta nélkül, amelyre a spektrofotométert nullázzuk, szójaminta vakpróba, amely csak a szójamintát és a DL-BAPA reagenst tartalmazza, amelyre kapott abszorbanciaértékre a korrekciókat el kell végezni.

Az adott térfogatú szójaszuszpenziókat tartalmazó elegyek tripszin-inhibitor (a továbbiakban: TIU) értékeit az inhibítort nem tartalmazó, ún. nullás oldat és az inhibítort tartalmazó szójaszuszpenzió elegyek értékeinek a különbségéből számítjuk ki. Az adott térfogathoz kiszámított TIU-értékeket  $1 \text{ cm}^3$  szuszpenzióknak megfelelő értékre számítjuk át, az így kapott értékeket ( $\text{TIU}/\text{cm}^3$ ) az eredetileg bemért szuszpenzió  $\text{cm}^3$ -einek függvényében ábrázoljuk (0,6; 1,0; 1,4; 1,8). A TIU-értékeket összekötő egyenes és az Y tengely metszéspontja adja az  $1 \text{ cm}^3$  szójaszuszpenzió által előidézett gátló hatást TIU-egységben kifejezve. Az eredmény pontosabban számítható a lineáris regresszióval kapott egyenes egyenletéből ( $y = a + b \cdot x$ ), amelyből  $x = 0$  esetén az „a” érték adja az  $1 \text{ cm}^3$  szójaszuszpenzió által előidézett gátló hatást. Az eredetileg bemért szójaminta mennyisége, a szójaszuszpenzió hígításának, valamint a vizsgált anyag olaj- és víztartalmának ismeretében a vizsgált anyag TIU-értékét  $1 \text{ mg}$  zsíros, légszáraz anyagra vonatkoztatva adjuk meg. A párhuzamos meghatározások eredményei között megengedett legnagyobb eltérés az eredmény 10%-a.

#### 11.5.4. A mikotoxinok meghatározása

##### 11.5.4.1. A mikotoxinok meghatározása kémiai módszerekkel

A mikotoxikológiai vizsgálat magában foglalja egyrészt a mikológiai és a mikrobiológiai vizsgálatokat, másrészt a kémiai analíziseket, továbbá a biológiai és immunkémiai tesztek is. A vizsgálatok közül e fejezetben csak a kémiai analízisekre szorítkozunk.

A mintavételi szabványok előírásai szerint vett átlagmintát szükség szerint maximum  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -on, kíméletesen szárítjuk, majd szilárd minták esetén őrléssel, szerv- és szövetminták esetén kvarchomokkal vagy vízmentes nátrium-szulfáttal való eldörzsöléssel biztosítjuk a kellő homogenitást, míg a folyékony mintákat általában közvetlenül használjuk fel az analízisekhez. Ezt követően a vizsgálandó mikotoxinokat szerves oldószerek (etil-acetát, acetonitril, metanol, aceton) vagy szerves oldószere-



víz elegyek használatával kivonjuk, amely kivonás történhet *Soxhlet*-extrakcióval, rázatással, gyors fordulatú homogenizátorral és ultrahang-fürdővel. A nyers toxintartalmú extraktumot szerves folyadék-folyadék extrakcióval, speciális szerves oldószer-lúgoldat extrakcióval, oszlop- és rétegekromatográfiával, illetve ezen eljárások kombinációjával tisztítani kell. A kimutatások és meghatározások standard mikotoxinok felhasználásával, rétegekromatográfiával vizuálisan (a mikotoxinok fluoreszcenciája, valamint vegyszerekkel láthatóvá tétele után), illetve denzitometriás értékelés alkalmazásával, gáz- és folyadékkromatográfiás módszerekkel, továbbá ultrabolya- és infravörös spektrofotometriás, mágneses rezonanciaspektroszkópiás és tömegspektrometriás technikákkal, valamint ezek kombinációjával végezhető.

#### 11.5.4.2. Az $F_2$ -toxin-tartalom vizsgálata vékonyréteg-kromatográfiával

A vizsgálati mintát etil-acetáttal, *Soxhlet*-készülékben extraháljuk, a nyers kivonatot hexán-acetonitril, majd speciális kloroform-lúg folyadék-folyadék extrakcióval tisztítjuk. A tisztított kivonatot kétdimenziós rétegekromatográfiás kifejlesztés után UV, illetve látható fényben vizsgáljuk, az  $F_2$ -toxin fluoreszcenciája, illetve színreakcióval láthatóvá tétele révén.

A mérés során a megfelelő szemcseméretűre megőrölt mintából 20 g-ot *Soxhlet*-készülékben etil-acetáttal nyolc órán át extrahálunk, majd az extraktumot rotációs gyorsbepárlóval bepároljuk. A maradékot 50 cm<sup>3</sup> hexánban feloldjuk, majd 50 cm<sup>3</sup> és azután még 25 cm<sup>3</sup> acetonitrillel kirázzuk. Az acetonitriles fázisokat bepároljuk, majd a maradékot 25 cm<sup>3</sup> kloroformmal vesszük fel. Ezt kétszer 10 cm<sup>3</sup>, 1 térfogatnyi 0,2 mol/dm<sup>3</sup> sósavoldattal tompított 10 térfogat 1 mol/dm<sup>3</sup> nátrium-hidroxid-oldattal óvatosan kirázzuk. Az egyesített lúgos fázisok pH-ját 0,67 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú foszforsavoldat és 0,1 mol/dm<sup>3</sup> nátrium-hidroxid-oldat felhasználásával 9,5-re állítjuk be. Ezt követően 3 x 15 cm<sup>3</sup> kloroformmal kirázzuk, majd az egyesített kloroformos fázisokat vízmentesítés után bepároljuk. A maradékot acetonnal kvantitatíve speciális fiolákba visszük át, a mintákat nitrogénáramban bepároljuk, és a maradékot 200 µl acetonban vesszük fel. Ezt megfelelően, 100–100 µl-t használunk fel a réteg- és a gázkromatográfiás elemzésekhez.

A rétegekromatográfiás elválasztást Kieselgel G készrétetre minta, standardok (a felhasználandó standard koncentrációja 0,1 µg/ µl) és

minta + hozzáadott standard felvitele mellett, kétdimenziós kifejlesztéssel végezzük. Az első irányban toluol–etilacetát–hangyasav = 6 : 3 : 1, a második irányban kloroform–aceton = 9 : 1 arányú elegyekkel végezzük a futtatást. Az értékelés UV fényben 254 és 365 nm-en közvetlenül, majd az 1%-os 4-metoxi-benzol-diazonium-fluoroborát-oldattal, valamint 0,1 mol/dm<sup>3</sup> nátrium-hidroxid-oldattal, továbbá 0,05 mol/dm<sup>3</sup> kénsavval való bepermetezés után, látható fényben történik.

#### 11.5.4.3. Az F<sub>2</sub>-toxin meghatározása gázkromatográfiával

Az előző fejezetben leírtak szerint kivont és tisztított F<sub>2</sub>-toxintartalmú acetonos oldatból 100 μl-t használunk a gázkromatográfiás analízishez. Ezt a mennyiséget nitrogénáramban ismételtelen bepároljuk, majd 30 percen keresztül 50 μl szililező reagenssel szililezzük. Az így kapott mintából 1–3 μl-t injektálunk a gázkromatográfba. Az analízishez 0,25–0,50 μg/μl koncentrációjú standard oldatot használunk fel, szintén szililezett formában. A gázkromatográfiás elemzés körülményei az alábbiak:

- kolonna: 2 mm belső átmérő, 1 m hosszú üveg, 3% OV-17 töltettel,
- hőmérséklet T<sub>I</sub> = 275 °C, T<sub>D</sub> = 305 °C, T<sub>K</sub> = hőmérséklet-program 150 °C/perc, 8 °C/perc emeléssel 260 °C-ig, 3 perc hőmérséklettartás,
- nitrogénáramlási sebesség: 17,5 cm<sup>3</sup>/perc, hidrogénáramlási sebesség: 30,5 cm<sup>3</sup>/perc, levegőáramlási sebesség = 300 cm<sup>3</sup>/perc.

Ilyen kromatográfiás körülmények között a zearalenon szililezett származéka 16 perces retenciós idővel detektálható.

#### 11.5.5. A peszticid- és herbicidmaradványok meghatározása

Az élelmiszer-egészségügyi szempontból még megengedhető peszticid- és herbicidmaradvány-szinteket szigorú előírások szabályozzák, ezért az ilyen típusú anyagok kimutatása és mennyiségi meghatározása az élelmiszer-vizsgálatok fontos része. Mivel mg/kg, esetleg csak μg/kg koncentrációjú anyagokat kell meghatározni, az analitikai eljárás legtöbbször rendkívül bonyolult, a meghatározást mindig tisztítás és esetenként koncentráció előzi meg. Ilyen kis koncentrációk mérésére szinte csak olyan, nagy hatékonyságú eljárások jöhetnek számításba, mint a vékonyréteg-kromatográfia, a gázkromatográfia vagy az utóbbi időben a nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia. Jó, ha a nagymű-

szerekhez tömegspektrométer is csatlakoztatható, mert így a vegyületek azonosításának biztonsága növelhető.

A minta előkészítése során a kivonás az egyik legfontosabb művelet, amelynek segítségével olyan oldatot kapunk, amely a vizsgálni kívánt szermaradványt tartalmazza. A kivonás után az extraktumot lehetőleg kíméletesen, minél kisebb koncentrációra kell bepárolni, majd a kivonat tisztítása következik. Erre legalkalmasabbak a különféle oszlopkromatográfiás módszerek, melynek során az oszloptöltet alumínium-oxid vagy szilikagél, az eluáló szerek pedig szerves oldószerek, illetve azok elegyei.

A minőségi és mennyiségi meghatározás során a vékonyréteg kromatográfiás módszerek az uralkodók, amelyeknél a foltok előhívását a következőképpen végezhetjük:

Kén-, illetve klórtartalmú szerek esetében a kromatogramot ezüst-nitrát-2-fenoxi-etanolal bepermetezzük, majd 10 percre UV-lámpa alá helyezzük, ezt követően a kén-, illetve klórtartalmú szerek sötétbarna foltként jelennek meg a világos háttérben.

Tiofoszfátok esetében a kromatogramot ezüst-nitrát-brómfenolkék reagenssel kezeljük, negyedóráig 80 °C-on tartjuk, a lehűlést követően pedig 5%-os citromsavoldattal permetezzük be. A tiofoszfátok sárga háttérben, kék foltként jelennek meg.

A foszfátészterek meghatározásakor a kromatogramot 80%-os etanolban oldott 0,1%-os vas(III)-klorid-oldattal kezeljük, majd szárítás után a kromatogramot 80%-os etanolban oldott 1%-os szulfoszalicilsav-oldattal permetezzük be. A foszfátészterek fehér foltként jelentkeznek, ibolyás háttérben.

Az előzőekben nem említett peszticidek és herbicidek esetében is megtalálhatók azok a speciális reagensek, amellyel a szermaradvány kimutatható, mennyisége a vékonyréteg-kromatográfia adta pontossággal becsülhető. Ha pontosabb meghatározásra van szükségünk, akkor alkalmazhatjuk a gázkromatográfiás eljárást, ahol a csúcsok azonosítása a retenciós idők, illetve a tömegspektrométer jelei alapján elvégezhető.

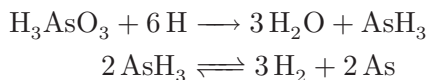
### 11.5.6. A különböző fémnyomok kimutatása

Szinte minden fémnek megvan az a speciális reagense, amellyel csak rá jellemző színreakciót ad, és amelynek segítségével az illető fém nyomnyi mennyisége is kimutatható. Az élelmiszerekben jelen lévő szennyező fémnyomok kimutatásához először a szerves anyagokat roncsolással el kell távolítani, hogy a fémtartalom zavartalanul megha-

tározható legyen. A roncsolás során a vizsgált élelmiszert salétromsav-, kénsav- vagy perklórsavoldattal mindaddig hevítjük, amíg az összes szerves anyagot el nem roncsoltuk. A roncsolást akkor tekinthetjük befejezettnek, ha víztiszta, gyengén fehér vagy sárga színű oldatot kapunk, amelyből közvetlenül vagy megfelelő hígítás után végezhetjük el a különböző fémek kimutatását.

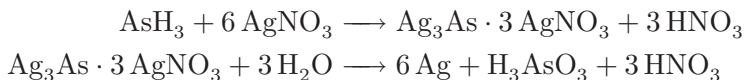
A törzsoldatból az *óntartalmat* a fenil-fluoronnal végzett reakcióval mutatjuk ki, amelynek során az ón(IV)ionok a reagenssel narancsszínű komplexet képeznek. Az *alumínium* a 8-hidroxi-kinolinnal sárga színű komplex vegyületet képez, amelynek színintenzitása az alumíniumtartalommal arányos. A *vastartalom* kimutatása során az oldathoz hidroxil-amin-hidrogén-kloridot adunk, amely a háromértékű vasat kétértékűvé redukálja. A vas(II)ion a  $\alpha, \alpha'$ -dipiridillel 6-os pH-nál vörös színűvé ad, amelynek színintenzitása a vas koncentrációjával arányos. A *réztartalom* kimutatására a roncsolás után kapott oldathoz lúgosítás után Na-dietil-ditiokarbonátot adunk, amely sárga színű rézkomplexet eredményez. A színes vegyületet szén-tetrakloriddal kirázva a módszert mennyiségi meghatározással is lehet fejleszteni, hisz a színintenzitás a réz koncentrációjával arányos. Az *ólomtartalom* kimutatása során ditizon-oldatot adunk a mintához, aminek hatására vörös színű fémkomplex keletkezik, amelynek színintenzitása az ólom mennyiségével arányos.

Az arzén kimutatására a *Marsh-féle* próba és a *Gutzeit-próba* alkalmas. A *Marsh-próba* során az oldható arzénvegyületeket a naszcensz hidrogén  $\text{AsH}_3$  gázzá redukálja, amely hevítés során összetevőire disszociál.



Az elemi arzén kiválásából az arzéntartalomra tudunk következtetni.

A *Gutzeit-próba* során az arzénvegyületből naszcensz hidrogénnel előállított  $\text{AsH}_3$  gáz a tömény ezüst-nitráttal átitatott szűrőpapíron sárga foltot idéz elő, ami vízzel megcseppentve megfeketedik. A lejátszódó reakció a következő:



A kivált fekete ezüsből az arzén jelenlétére lehet következtetni. A próbát úgy végezzük, hogy a kémcsőbe néhány darabka tiszta, granulált cinket teszünk, hozzáadjuk a vizsgálandó oldat néhány cseppjét,

majd kénsavat és réz-szulfátot adunk hozzá. A kémcső száját a savcseppek visszatartására vattadugóval bedugjuk, majd tiszta, fehér szűrőpapírt helyezünk rá, amit gumigyűrűvel rögzítünk. A kifeszített szűrőpapír közepére egy csepp 50 tömeg%-os ezüst-nitrát-oldatot cseppentünk, amelyen arzén jelenlétében barna vagy fekete gyűrűvel szegélyezett, citromsárga színű folt keletkezik. A sárga folt vízzel való megnedvesítésekor megfeketedik. Hasonló összeállítással vakpróbát is készítünk, amely az arzéntartalmú (vizsgálandó) oldat kivételével minden más egyéb vegyületet tartalmaz. A szűrőpapírok színét rövid időközönként összehasonlítjuk.

A többi fémre is kidolgoztak hasonló módszereket, sőt ezen módszerek közül többet mennyiségi analízisre alkalmas eljárássá fejlesztettek, amelyeket a különböző fotometriás nyomelemzési módszerek tárgyalnak.

Napjainkban már nem elég az összmennyiség mérése, ezért az említett módszereken és eljárásokon kívül egyre nagyobb jelentősége van a különböző vegyületformák, illetve eltérő oxidációs állapotok kimutatásának, hisz ezek biológiai hatása különböző. A fémm nyomok kimutatására használt legújabb módszerek között meg lehet említeni még a röntgenfluoreszcenciát, az ICP-t, az ICP-MS-t, a HPLC-ICP-MS-t, és egyre nagyobb jelentősége lesz a szubmikro méréstartományokban is alkalmazható módszereknek.

## 11.6. A mérgező anyagok összefoglalása

A mérgek az emberi szervezetre már kis adagban is ártalmasak, átmenetileg vagy tartósan kóros állapotot alakítanak ki, és súlyos esetben halált is okozhatnak. A mérgező anyagok a nyersanyagok természetes alkotórészeiként, mikroorganizmusok toxinjaiként, növényvédőszer-maradékként, technikai vagy környezeti szennyezésként juthatnak a tápcsatornába, a bőrfelületen vagy légutakon keresztül a szervezetbe.

A természetes mérgek kémiai szerkezetük alapján lehetnek alkaloidok, aminosav-származékok, illóolajok és antinutritív anyagok. Ezen utóbbiak nem közvetlenül mérgező hatásúak, de rendszeresen bejutva a szervezetbe, káros elváltozásokat okozhatnak. A mérgező alkaloidok közül legismertebbek a ricinin, a lupin-alkaloidok, továbbá a gomba-mérgek (muszkarin, iboténsav, muszcimol), és az utóbbi években pszichotróp hatású gombaalkaloidokat is felfedeztek. A mérgező aminosav-

származékok közül legjelentősebbek a fallo- és amatoxinok, a lektinek és a fazin. A mérgező glikozidok lehetnek ciántartalmúak (amigdalín, fazeolunatin), szteránvázások (szolanin, tomatin, szaponin) és mustárolaj glikozidok (szinigrin, szinalbin). A mérgező illóolaj-komponensek legjellegzetesebb képviselői a szafrol, a miriszticin és a kumarin. Az anti-nutritív anyagok közül a tripszin- és a kimotripszininhibitorok, a fitinsav, az  $\alpha$ -galaktozil-oligoszacharoidok, a vicin és a konvicin, a cseranyagok és a fitoösztrogének bírnak gyakorlati jelentőséggel.

A mikroorganizmusok által termelt mérgek lehetnek baktériumtoxinok és mikotoxinok. A baktériumtoxinok által okozott élelmiszer-mérgezők közül legsúlyosabb a botulizmus és a sztafilokokkuszos étel-mérgezés, gyakran előfordul a szalmonellás ételfertőzés, és a biogén-aminok is súlyos egészségkárosodást okozhatnak.

A mikotoxinok közül hazánkban legnagyobb jelentőséggel a *Fusariumok* által termelt zearalenon- és trichotecén-mikotoxinok bírnak, de súlyos mérgezést okozhatnak az aflatoxinok, az ochratoxinok és a patulin, valamint egyes neurotoxinok, amely utóbbiak bénítólag hatnak a központi idegrendszerre.

A peszticidek egy része a táplálkozási láncsal eljuthat az emberi szervezetbe is, ahol mérgező hatást fejthet ki. Az inszekticidek közül legveszélyesebbek a klórozott szénhidrogének, a szerves foszforvegyületek, a fenol-észterek és a foszfitszármazékok. A fungicidek közül a ditiolkarbamátok és a ftálimidek veszélyesek, a herbicidek pedig jobbra csak kellemetlen szagot és ízt okoznak az élelmiszeripari feldolgozás során.

Az állattenyésztési és gyógyászati maradékok közül veszélyesek lehetnek az antibiotikum-maradványok, amelyek a rezisztencia kialakulását segíthetik elő, és a hormonhatású anyagok, amelyek megzavarhatják az emberi szervezet hormonháztartását.

Fentiekén túl jelentőséggel bírhatnak még a környezetből eredő toxikus fémszennyeződések, a műanyagokból kioldódó mérgek és a szennyezett természeti környezet ártalmas komponensei. A fémszennyeződések közül legjelentősebb az ólom, a kadmium és a higany, amely utóbbi főleg szerves higanyvegyületek formájában kerül az élelmiszerbe. A csomagolásra használt műanyagból mérgező monomerek, stabilizálók és töltőanyagok oldódhatnak ki. A szennyezett környezetből policiklikus aromás szénhidrogének, nitrózaminok, poliklórozott-bifenilek kerülhetnek élelmiszereinkbe, és környezetünk különböző sugárzásai is nemkívánatos elváltozásokat okozhatnak.

A fejezet végén a mérgező anyagok közül a ciántartalom meghatározásról, az olajos magvak kéntartalmú glükozinolát-tartalmának elemzéséről, a szója tripszininhibitor-aktivitásának méréséről, a mikotoxinok és az F<sub>2</sub>-toxin analíziséről, a peszticidek kimutatásáról és meghatározásáról, valamint a mérgező fémnyomok elemzéséről található rövid leírás.

## CSOMAGOLÓANYAGOK

A csomagolás védi a terméket a környezeti szennyeződésektől, lehetővé teszi a fogyasztási igényeknek megfelelő egységekben való forgalmazást, megkönnyíti az önkiszolgáló üzletekben való árusítást, és információt közöl a termékről. A fogyasztó szempontjából legfontosabbak az élelmiszerekkel közvetlenül érintkező csomagolóanyagok, amelyek lehetnek üveg, fém, papír vagy műanyag, valamint ezek kombinációi. *Csomagolóanyagoknak* hívjuk valamely termék burkolatának elsődleges elemét, amelyet általában csomagolóeszközzé alakítanak. *Csomagolóeszközöknek* nevezzük a termék befogadására alkalmas, meghatározott anyagú, szerkezetű és alakú, rendszerint ipari tevékenység keretében előállított, ideiglenes védőburkolatot. *Záróképességnek* nevezzük az egyes csomagolóhártyák ellenállását a különböző anyagok áthatolásával szemben; így beszélhetünk víz-, gőz-, gáz- és aromazáró képességről. E fogalmaknak a fordítottja az *áteresztőképesség*; diffúzió révén jutnak át az anyagok a csomagolóhártyák egyik oldaláról a másikra. *Szelektív diffúzió*n értjük azt, hogy az anyagkeverékek különböző alkotórészeinek diffúziós sebessége egyazon burkolóhártyán át nem azonos, némelyek a hártyán gyorsan, mások viszont csak alig hatolnak keresztül. Az *aromatorzulás* a szelektív diffúzió következménye, amelynek hatására az aromaanyagok együttes összhatása megváltozik, a megszokott aroma idegenszerűvé, sokszor kellemetlenné válik. *Aromavesztés*en az aromaanyagok együttes mennyiségének arányos csökkenését értjük. *Hőállóságnak* azt a hőmérsékletet nevezzük, amelyet a csomagolóanyag fizikai jellemzőinek változása nélkül, tartósan elvisel. A *hegesztési hőmérsékleten* a burkolóhártyák oly mértékben meglágyulnak, hogy egymáshoz szorítva összetapadnak, összehegednek. Fontos tulajdonsága a csomagolóanyagoknak ezenkívül még a bomlási hőmérséklet, a hidegtűrés, az öregedés, a nyújthatóság és a szakítási szilárdság.



## 12.1. Üveg

Az élelmiszerek csomagolására egyik legrégebben alkalmazott anyag az üveg, amely kémiai szempontból szilícium-dioxid és fémionok keverékének olvadéka. A célnak megfelelően összeállított anyagkeveréket 1400–1600 °C-on megolvasztják, majd formázzák. Az üveg tökéletesen víz- és gázzáró anyag, a szokásos élelmiszer-összetevők nem támadják meg, nem korrodálódik. Készíthető *hőálló üveg* is, amely lehetővé teszi a csomagolt termék pasztörözését. A felsoroltakon kívül az üveg további előnye, hogy a benne forgalmazott termék jól látható, a fogyasztó közvetlenül tájékozódhat az áru minőségi jellemzőiről. Az üveg hátránya nagy tömege és törékenysége. A hőkezelt élelmiszerek csomagolására használt üvegek fontos jellemzője a hőállóság, amely akkor megfelelő, ha az öt percen át 100 °C-on tartott üveg 60 °C-os vízbe merítve nem reped meg.

## 12.2. Fémlemezek

A fémlemezek az üveghez hasonlóan aroma-, gáz- és gőzzáróak, valamint fényzáróak is, és a mechanikai és hőhatások is kevésbé károsítják azokat. Hátrányuk a korrodálódás és az átláthatatlanság.

### 12.2.1. Acéllemez

Az acéllemez a korrózió és a rossz forraszthatóság miatt megfelelő bevonattal kell ellátni, amire az ón és a króm a legalkalmasabb. Az *ónozott acéllemez* előállításakor az acéllemez mindkét oldalát bevonják ónréteggel. Az ón ellenállóvá teszi az acéllemez a korrózióval szemben, jó forraszthatóságot és tetszetős külsőt biztosít számára. Tökéletesen pórusmentes ónozást csak vastag ónréteggel lehetne elérni, ami drágítaná a csomagolóanyagot, ezért a vékonyan ónozott *acéllemez lakkréteggel is bevonják*. Az élelmiszerekkel érintkező felület lakkozására az aranylakkot használják, amely egészségre ártalmatlan, hőre keményedő epoxi műgyanta. Az ónozott acéllemez felhasználható különböző konzervek és italok, valamint granulátumok és porszerű anyagok csomagolására. A *krómozott lemez*  $3\text{--}5\cdot 10^{-5}$  mm vastagságban krómmal bevont, hidegen hengerelt acéllemez. Felhasználási területe megegyezik az ónozott acéllemezével.

### 12.2.2. Alumínium

A 99,5%-os tisztaságú alumíniumból különböző vastagságra hengerelt lemezeket és fóliákat készítenek. Az alumínium felületén olyan tömör oxidréteg alakul ki, amely az enyhébb korrozív hatásokkal szemben védelmet biztosít. Az alumíniumdobozokat 0,1–0,5 mm vastagra hengerelt lemezből alakítják ki. Felületét a felhasználás céljától függően lakkozzák; a hőkezeléssel tartósított élelmiszerek részére a felületet polipropilénréteggel vonják be. Az alumíniumtubusokat tej- és húskészítmények, fűszerek és kis kiserelésű dzsemek csomagolására használják. Készítenek ezenkívül az alumíniumból tálcákat, illetve formákat is, amelyek különösen alkalmasak a fagyasztva tárolt élelmiszerek csomagolására. Nagyon széles körben elterjedt az alumíniumfólia használata is, amely teljesen gáz-, gőz- és aromazáró vagy csak nagyon kis mértékben engedi át azokat. Hátránya, hogy kicsi a szakadási nyúlása, szakítószilárdsága és hajlítószilárdsága.

### 12.3. Papír

A papír növényi rostokból előállított, hajlékony lap. A papír alapú csomagolóanyagokat a késztermék  $\text{m}^2$ -tömege alapján osztályozzák. A papír különböző formában használható fel csomagolóanyagként; készítenek a papírból tasakokat, zacskókat, zsákokat és kartondobozokat. A kezeletlen papírok egy része rossz gőz-, gáz- és aromazáró, az olaj és a zsír áthatol rajtuk, víz hatására pedig elszakadnak. Ilyen, kezeletlen papír pl. a közönséges csomagolópapír, a superior csomagolópapír, a selyempapír, a nátronpapír és a pergamenpapír. Ez utóbbi jobb aromazáró képessége miatt alkalmas fűszerek, kávé, tea stb. csomagolására. A kezelt papírokat mechanikai kezeléssel (krepp csomagolópapír, golyóspapír, hullámpapír, simított papír) és vegyi anyagokkal való felületi vagy belső kezeléssel állítják elő, amely kezelés megváltoztatja a papír víz-, aroma- és zsíráteresztő képességét, növeli szakítószilárdságát és feldolgozhatóságát. Ilyen papírok a paraffinozott, a fémgőzölt, a lakkozott és a pergamenpapír; ezen utóbbi a zsiradékot nem ereszti át, és a víz és az aroma is nehezen hatol át rajta.

## 12.4. Műanyagok

A műanyagok vegyipari módszerekkel előállított, *óriás molekulájú szerves anyagok*; az élelmiszeriparban műanyag eszközök, csomagolóanyagok és lakkbevonatok előállítására használják őket. A műanyagokat a felépítésükben részt vevő anyagok alapján alapanyagokra, valamint segéd-, illetve adalékanyagokra oszthatjuk. A kiindulási alapanyagok szerint megkülönböztethetünk természetes alapanyagból készülő és mesterséges alapanyagú műanyagokat. A természetes makromolekuláris műanyagok lehetnek kaucsuk (gumi), cellulóz (cellofán, celluloid) és fehérje alapanyagúak (műszaru). A mesterséges alapanyagú műanyagokat a gyártás módja szerint feloszthatjuk polikondenzációs, polimerizációs és poliaddíciós műanyagokra.

A műanyagokat feldolgozási tulajdonságaik alapján hőre lágyuló vagy *termoplasztikus*, valamint hőre keményedő vagy *termoreaktív* csoportokba sorolhatjuk. A hőre lágyulók magasabb hőmérsékleten képlékenyek, megfelelő feldolgozási eljárásokkal alakíthatók, szobahőmérsékletűre lehűtve alaktartók, majd ismételt felmelegítéssel újra képlékennyé tehetők. A hőre keményedő műanyagok magasabb hőmérsékleten szintén képlékennyé válnak és alakíthatók, de térhálós szerkezetük megváltozásával megkeményednek, és azután már ismételt felmelegítés során sem lesznek képlékenyek. Az élelmiszeriparban csak olyan műanyagok használhatók, amelyek a felhasználás körülményei mellett *nem toxikus hatásúak, és nem rontják az élelmiszer élvezeti értékét, eltarthatóságát*.

### 12.4.1. Csomagolásra alkalmas fontosabb műanyagok

A *cellulózszármazékok* közül legfontosabb a *celofán*, amely gyártásának alapanyaga a tiszta cellulóz (a tisztítóeljárástól függően szulfít-, nátron- vagy szulfátcellulóz). A továbbiakban a cellulózból viszkózoldatot állítanak elő, amelyben a cellulózmolekula bizonyos mértékben lebomlik. Ebből a viszkózoldatból készítik a hárttyát, amely víztiszta vagy legfeljebb gyengén sárgás színű, *száraz állapotban papírszerű fogású, erősen gyűrődő, nedves állapotban viszont puha*. Nagy vízgőzáteresztő képessége lakkozással csökkenthető. A lakkozott, kezelt felületű celofán aromazáró képessége is igen kedvező, ezért fagyasztott élelmiszerek csomagolására is jól alkalmazható, valamint jelentős a cellulóz alapú műbelek előállításánál is.

Műszakilag és gazdaságilag igen fontos *polietilén*, az etilén polimerizációjával készülő, többnyire homályos, tejszerűen áttetsző és a polimerizáció fokától függően viaszos fogású vagy kemény fólia. Vízgőzátteresztő képessége kicsi, ezért a nedvességgel szemben jó védelmet nyújt, aromazáró képessége megfelelő. A zsírtartalmú anyagokkal kölcsönhatásba lép, amelynek során a zsír bediffundál a műanyagba, és onnan még mosó-, illetve tisztítószerrel sem távolítható el. *Kemikáliákkal szemben ellenálló, hő hatására könnyen olvadó, nagy hidegtűrésű, termoplasztikus műanyag.* Kémiai tulajdonságait a polimerizációfok és a molekulaszerkezet (amely lehet lineáris vagy elágazó) jelentős mértékben meghatározza. A kis sűrűségű és lágy polietilént elsősorban fóliák és bevonatok gyártására használják, jó hőállósága miatt a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$   $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti tartományban. A nagy sűrűségű polietilén jó tisztíthatósága és viszonylag kis tömege miatt alkalmas tárolótartályok, valamint papír jellegű fóliák előállítására.

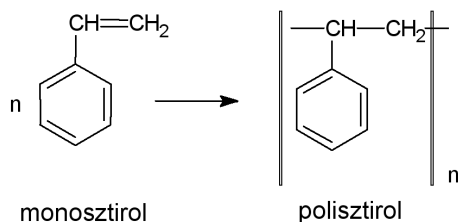
A *polipropilén* a polietilénhez hasonlóan termoplasztikus polimerizációs műanyag. A polimerizáció során lineáris polimerizáció megy végbe metilcsoport-oldalláncokkal. A polietilénnél jobb az aromazáró képessége, az olajat nem engedi át, és teljesen átlátszó, hőállósága nagyobb, a hideggel szembeni ellenálló képessége viszont kisebb, mint a polietiléne.

A *polibutilén* hőre lágyuló műanyag, amely a butilén polimerizációs terméke. Elég nagy nyújthatóságú, kevésbé átlátszó műanyag, amelyet ott alkalmaznak, ahol az optikai tulajdonság nem lényeges.

A *PVC* a vinil-klorid polimerizációs terméke, fehér színű, kissé homályosan áttetsző, hőre lágyuló műanyag, amelyet kemény és lágyított minőségben gyártanak. A kemény PVC-ből palackokat, tartálybevonó lemezeket készítenek, és felhasználják még zsírok és olajok, az ecet és a szénsavmentes ásványvíz csomagolására is. A lágyított PVC élelmiszerek csomagolására csak akkor használható, ha lágyítására hosszabb szénláncú ftalátokat vagy fiziológiai szempontból közömbös lágyítót, pl. citromsav-észtereket alkalmaznak. A PVC-ből készítenek zsugorfóliákat is, amelyek fokozzák a termék tetszetősségét, és csökkentik a csomagon belül a páralecsapódás lehetőségét.

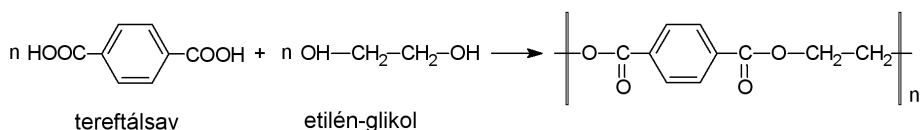
A *poli(vinilidén-klorid)* a vinilidén-klorid polimerizációs terméke, amelynek vízgőz- és aromazáró képessége kiváló, szakítószilárdsága nagy, és hőre lágyul. Ellenáll a zsíroknak, az olajoknak, a savaknak és a lúgoknak, valamint az ultraibolya sugarakat is teljesen kiszűri.

A *polisztirol* (12.1. ábra) a sztírol polimerizációjával készülő, hőre lágyuló, víztiszta, fényálló, könnyen színezhető műanyag, amely hajlításra pattanva törik. Főként olyan dobozok, tálak, poharak és tégelyek készítésére használják, amelyek nincsenek 70 °C-nál nagyobb hőmérsékletnek kitéve.



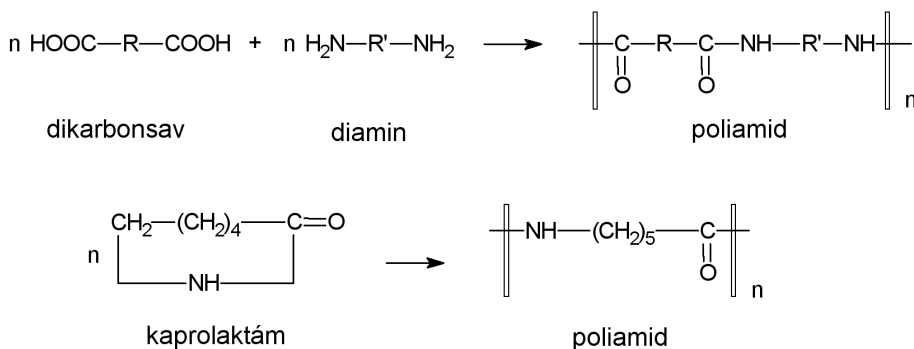
12.1. ábra. A polisztirol képződése

A *poliészterek* többértékű alkoholokból, több-bázisú savakból, illetve oxikarbonsavakból, *polikondenzációval előállított vegyületek*. A poliésztereknek három fő csoportja ismert: a lineáris poliészterek, a telítetlen poliészterek és a módosított poliészterek. Az élelmiszerek csomagolása szempontjából a *politereftálsav-észter* (12.2. ábra) és a *polikarbonát* érdemel említést. A politereftálsav-észter nagy szilárdságú, hőre kevésbé érzékeny, oxigénre, vízgőzre és aromaanyagokra igen jó záróképességű műanyag, az olajokat és a zsírokat nem engedi át. A politereftalát fólia alkalmas baromfi, sonka és készételek zsugorfóliás csomagolására, valamint műbélgyártásra is használható. A poliészterből készült palacskók alkalmasak nagy szén-dioxid-tartalmú italok és szójaszósosz csomagolására is. A *polikarbonát* teljesen átlátszó, ragasztható, hegeszthető fólia, az ebből készült tárolóedényzet sterilizálható, teljesen íz- és szagmentes.



12.2. ábra. A politereftálsav-glikol-észter képződése

A *poliamidok* diaminokból és dikarbonsavakból vagy aminokarbonsavakból polikondenzációval, illetve kaprolaktámból polimerizációval készíthető, hőre lágyuló műanyagok. A gyakorlatban általában



12.3. ábra. A poliamidok képződése

adipinsavból, hexametilén-diaminból és kaprolaktámból állítják elő (12.3. ábra). Kitűnő mechanikai tulajdonságokkal rendelkező műanyag, amely a vízzel, a vizes oldatokkal, a zsírral és az olajjal szemben ellenálló, viszont a híg savak megtámadják.

Az *aminoplasztok* amin- vagy amidcsoportokat tartalmazó szerves vegyületekből, jobbra karbamidból, tiokarbamidból, anilinből vagy melaninből formaldehiddel vagy más aldehidekkel nyert, hőre keményedő műanyagok. Az aminoplasztokat tálcák, tálak, poharak készítésére használják; meleg hatására felületükön repedések keletkeznek, deformálódnak.

Az egyes csomagolóanyagok hátrányos tulajdonságainak kompenzálására, az előnyök egyesítésére egyre szélesebb választékban gyártják a *kombinált csomagolóanyagokat*. A különböző tulajdonságú anyagok társításával befolyásolható a szilárdság, a feldolgozhatóság, a vízgőz-, aroma- és fényáteresztő képesség. A papír és az alumínium a legkülönbözőbb műanyag fóliákkal kombinálható, ezért *ismerünk papír, alumínium és műanyag fólia alapú társított anyagokat*. Papír alapúak pl. a tartós tej, a gyümölcslevek és a mélyhűtött termékek dobozai. Műanyag alapú a féltartós tej tasakja, a különböző szárítmányok csomagolóanyagai pedig alumínium alapúak.

### 12.4.2. Egyéb műanyagok

A legrégebbi természetes műanyagok közé tartoznak a fehérje alapú műanyagok. A gyártáskor a fehérjét formaldehiddel reagáltatják, amelynek során hőre nem lágyuló polimer képződik. Legismertebbek közülük a kazein alapú műanyagok, mint amilyen pl. a szaruhoz hasonló *galalit*.

A *kaucsukszármazékok* dién típusú polimerek, amelyeket a gumi-fák, cserjék poliizopren-tartalmú, sűrű, tejszerű, fehér nedvéből, a latexből állítanak elő. A kaucsukszármazékok, a gumik az élelmiszeriparban elsősorban tömítő-, ragasztó- és párnázóanyagok.

A *poli(tetrafluor-etilén)* fluortartalmú polimer, amelynek a szén-fluor kötés rendkívül stabilis volta miatt vegyszerekkel és hővel szembeni ellenálló képessége kiváló. Általában  $-200$  és  $+250$  °C közötti hőmérsékleti tartományban használható, de  $400$  °C felett elbomlik.

A *szilikonok* szerves polisziloxánok, szerves szilíciumszármazékok polimerei. A polimer molekula láncában *szilíciumatomok oxigénatomokon át kapcsolódnak össze*, és a szilíciumatomok másik két vegyértékéhez szénhidrogéncsoportok (többnyire metilcsoport) kötődnek. A szerves polimerekhez hasonlóan a szilikonok is lehetnek láncpolimer-sziloxánok, elágazó szerkezetűek, ciklikus polimerek és hálós polimerek. A szilikonok közé tartoznak a szilikonzsírok, a szilikongyanták, a szilikonlakkok és a szilikonkaucsuk. Ez utóbbiból vulkanizálással szilikongumi készíthető, amely tömítésként használható fel. A szilikonok az egészségre ártalmatlanok, ezért élelmiszeripari felhasználásukat semmi sem korlátozza.

Fémfelületek, elsősorban konzervdobozok belső és külső felületeinek bevonására különféle *lakkokat* használnak, amelyek alapanyagai ma már a különböző műgyanták. Az *epoxigyanták* szobahőmérsékleten száradó lakkok készítésére használhatók. A gyanta térhálósodásának elősegítésére, vagyis a gyanta keményítésére, a lakkba az epoxigyantához alifás, cikloalifás vagy heterociklikus poliamidot vagy poliamint, esetleg imidazolt adagolnak. Az epoxigyantából készült lakkbevonatok hő- és vegyszerállósága jó, mechanikai tulajdonságai kiválóak, jól tapadnak a fémfelületekhez, és csekély zsugorodással tartósan elviselik a magas hőmérsékletet.

A *fenolgyanták* fenolból vagy krezolból formaldehiddel vagy nagyobb molekulájú aldehidekkel addícióval és polikondenzációval képződő műanyagok, amelyek alkalmasak fémek bevonására használatos

lakkok készítésére. Megfelelő származékaiból ioncserélő gyantát is gyárthatnak.

## 12.5. A csomagolóanyagok összefoglalása

A csomagolóanyag a termék burkolatának elsődleges eleme, amelyet az ipari tevékenység következtében csomagolóeszközzé alakítanak át. A csomagolóanyag rendkívül fontos tulajdonságai a záró- és áteresztőképesség, a hőállóság, valamint a hegesztési hőmérséklet. Legfontosabb csomagolóanyag az üveg, a fémlemezek, a papír és a műanyagok. A fémlemezek közül az ónozott és krómozott acéllemeznek és az alumíniumlemeznek van gyakorlati jelentősége. A papír mellett egyre inkább műanyagokból készítik csomagolóanyagaink nagyobb részét, amelyek lehetnek termoplasztikusak vagy termoreaktívak. Közülük csomagolásra a cellulózszármazékokat, a polietilént, a polipropilént, a PVC-t, a polibutilént, a poli(vinidilén-kloridot), a poliésztereket és a poliamidokat használják. Jelentősek még csomagolóanyagként a kaucsukszármazékok, a poli(tetra-fluor-etilén) és a szilikonok is. Az egyes csomagolóanyagokat hátrányos tulajdonságaik kompenzálására, valamint az előnyeik egyesítésére együttesen alkalmazva, kombinált csomagolóanyagokat hoznak létre.



## TISZTÍTÓ- ÉS FERTŐTLENÍTŐSZEREK

A káros mikroorganizmusok elszaporodása az élelmiszerekben kedvezőtlenül befolyásolja a technológiai folyamatokat, csökkenti az eltarthatóságot, és az élelmiszer romlását okozza. Az élelmiszerek szennyezése, fertőzése tisztítással és fertőtlenítéssel kerülhető el, mely általában két különböző technológiai művelet. A tisztító- és fertőtlenítőszer az azonban nem különíthetők el élesen egymástól, hisz a tisztítószereknek bizonyos mértékű fertőtlenítő hatásuk, a fertőtlenítőszernek pedig tisztító hatásuk is van.

### 13.1. Tisztítószer

Szennyeződésnek tekinthető minden olyan szerves vagy szervetlen anyag, amely az élelmiszerral érintkezve kedvezőtlenül befolyásolja a technológiai folyamatokat, a termék küllemét, érzékszervi tulajdonságait, eltarthatóságát, táplálkozási értékét. *A szennyező anyagok eltávolításának művelete a tisztítás, a felhasznált vegyszerek pedig a tisztítószerek.* Az alkalmazott tisztítószerek a szennyeződés fajtájától csaknem függetlenül a következő követelményeket kell kielégítenie:

- hideg, illetve meleg vízben maradéktalanul oldódják,
- oldja és lazítsa fel az eltávolítandó szennyeződést,
- nagy kimerülési értékű és szennyoldó képességű legyen, öblítéssel könnyen eltávolítható legyen, ne ülepedjen, ne képződjön hab,
- ne legyen mérgező, a tisztítandó felületet ne támadja meg,
- a tisztítási művelet után ne rontsa a termék minőségét,
- jól tárolható, olcsó legyen,
- ne legyen környezetszennyező hatású.

A tisztítószerek lehet egyféle vegyi anyag vagy tisztítószerek-készítmény. Ezen utóbbiak általában több meghatározott rendeltetésű anyag keverékei, amelyek szennyeződést oldó anyagot, komplexképzőt, felületaktív

adalékot, habzás- és korróziógátlót, valamint töltőanyagot tartalmaznak, továbbá lehet bennük enzim és illatosító komponens is.

### 13.1.1. Szennyoldó anyagok

A szennyeződések legnagyobb része általában olyan, lúgosan reagáló anyagokkal távolítható el, mint a nátrium-hidroxid (NaOH), a kálium-hidroxid (KOH), a nátrium- vagy kálium-karbonát vagy a trinátrium-foszfát. A *nátrium-hidroxid*-oldata erősen lúgos kémhatású. Az alumíniumot, a cinket és az ónt megtámadja, ezért tárolására és szállítására vasból, acélból vagy nikkeltövezetből készült hordók, tartályok, műanyag edények vagy polietilénzsákok alkalmasak. A szilárd NaOH a bőrön, a nyálkahártyán és a szemem felmaródást okoz. A marás helyét vízzel le kell öblíteni, a maradékot pedig híg savval (bórsav) közömbösíteni kell. A NaOH főként zsíros, erősen szennyezett eszközök tisztítására alkalmas; 0,5–2,0%-os töménységben alkalmazva rozsdamentes acélfelületek tisztítására is használható, és fertőtlenítő hatása is számottevő. A KOH tulajdonságai és felhasználási területe megegyezik a NaOH-éval.

A *nátrium-karbonát* (szóda) vizes oldata lúgos kémhatású. Nedvesítőképesége kicsi, korrozív hatása jóval kisebb, mint a marónátroné. 0,5–2,0%-os töménységben, 40–50 °C-os oldatban kisebb mértékű fertőtlenítő hatása is van. Könnyen kezelhető, olcsó tisztítószer, amely számos alkalikus hatású tisztítószerben megtalálható. A kálium-karbonát vízben igen jól oldódó, lúgos kémhatású anyag, amelynek alkalmazása hasonló a nátrium-karbonatéhoz.

A *trinátrium-foszfát* (trisó,  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) vízben jól oldódó, kristályos anyag, amelynek vizes oldata erősen lúgos kémhatású. Zsíroltó-, emulgeáló- és nedvesítőképesége kielégítő, nem habzik, korrozív hatása kicsi, és megakadályozza a vízkőlerakódást. 40–50 °C-os oldatát 0,5–2,0% töménységben üvegek, üvegedények, rozsdamentes acél, kerámia, beton és csempefellerületek tisztítására használják.

A *nátrium-metaszilikát* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) vízben jól oldódó, erősen lúgos kémhatású tisztítószer, amely gátolja a korróziót, a vízkőlerakódást. Nedvesítő- és emulgeálóképesége jó, ezért számos ipari tisztítószer alkotórésze. Ugyancsak lúgos kémhatású tisztítószerekben alkalmazzák a vízüveget, amely a metaszilikátnál több szilícium-dioxidot tartalmaz, ezért annál savanyúbb kémhatású.

A *salétromsav* ( $\text{HNO}_3$ ) vízmentes alakban színtelen, nedves levegőn füstölő folyadék, amely fény és hő hatására nitrogén-dioxid képződése

közben elbomlik. A füstölögő salétromsav legalább 90%  $\text{HNO}_3$ -at és még nitrogén-dioxidot is tartalmaz. Vízzel minden arányban elegyedik; 0,5–1,0%-os töménységben alkalmas rozsdamentes acélból készült berendezések és hőközlő felületek tisztítására. Igen erősen oxidáló, a szervezetre nagyon mérgező hatású ásványi sav. A szerves anyagokkal hőfejlődés közben reagál, a bőrön a xantoprotein-reakció során sárga színeződést okoz.

A *foszforsav* (ortofoszforsav,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) a vízben minden arányban oldódó vegyület, amely 0,5–1,0%-os töménységben felhasználható rozsdamentes acélból készült tartályok, gépek tisztítására. Általában szirup-szerű, 83–90%-os töménységű vizes oldatként kerül forgalomba.

### 13.1.2. Komplexképző tisztítószer

A tisztítószer fontos összetevői közé tartoznak a komplexképzők, amelyek általában alkalikus hatású szennyoldók. Elősegítik a szennyezőrészecskék diszpergálódását, a Ca- és Mg-ionok lekötésével lágyítják a vizet, összességében tehát javítják a tisztítószer hatását. Komplexképzőként mind szervetlen, mind szerves vegyületek használatosak. A szervetlen vegyületek közül jó komplexképzők az oligofoszforsavak alkáli sói, a di-, a tri- és a tetra-foszfátok. A szerves vegyületek közül a nitrilo-triacetsavat, az etilén-diamin-tetra-ecetsavat (EDTA), a glükonsavat, a poliakrilsavat és azok alkáli sóit alkalmazzák e célra.

### 13.1.3. Felületaktív anyagok

A *felületaktív anyagok* olyan vegyületek, amelyek a molekulán belül hidrofil és hidrofób csoportokat is tartalmaznak. Ezek vizes oldatban a felületen feldúsulnak, és tisztításkor a következő hatásokat fejtik ki:

- csökkentik a felületi, illetve határfelületi feszültséget,
- nedvesítenek, diszpergálnak, peptizálnak,
- emulgeálnak, szolubizálnak, habzanak vagy habzágátlók és mosó hatásúak.

A tisztítandó felületen a *felületaktív molekula hidrofób csoportja a zsíros szennyező anyagokhoz, a hidrofil része pedig a mosóközegként jelenlevő vízhez kapcsolódik*. Ennek során a szennyeződés és a víz határfelületi feszültsége csökken, fokozódik a nedvesedés. A mosásnál, tisztításnál a mozgásban levő víz hatására a szennyezések a felületről leválnak és diszpergálódnak, emulgeálódnak. Az emulgeálódott szennye-

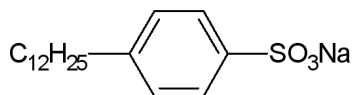
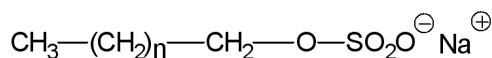
ződés a már megtisztított felületre nem tud visszatapadni. A *detergenseket* (vagy tenzideket) a hidrofil csoportjuk disszociáló sajátága alapján a következő négy csoportba oszthatjuk:

- anionaktívak, amelynél a disszociáció után a felületaktív sajátágú rész (–) töltésű,
- kationaktívak, amelyeknél a disszociáció során a felületaktív sajátágú rész (+) töltésű,
- nem ionosak, amelyek nem disszociálnak,
- amfoterek, amelyek molekulájában kétféleképpen disszociálódó hidrofil csoportok helyezkednek el, amik lúgos közegben kationaktívak, savas közegben viszont anionaktívak.

Az anionaktív detergensek egy lipofil anionra és egy ellen kationra disszociálnak. A mosó hatás a lipofil anionnak köszönhető. A *szappanok nagy szénatomszámú zsírsavak alkáli sói*, amelyeket régebben a zsírok lúgos hidrolízisével állítottak elő, ma viszont a zsírsavakat a lúggal reagáltatják az előállítás során. Nátrium-hidroxiddal szilárd halmazállapotú *nátronszappan*, kálium-hidroxiddal vízben jobban oldódó, kenőcsös állományú *káliszappan* a végtermék. Az alkáliszappanok vizes oldatban lúgos kémhatásúak. *Kemény vízben oldhatatlan kalciumszappanná alakulnak*, kicsapódnak, aminek során elveszítik nedvesítő- és emulgeálóképességüket.

A *zsíralkohol-szulfátok* (13.1. ábra) zsíralkoholok kénsavészterei, amelyeket hosszabb szénláncú zsíralkoholok kénsavas kezelésével és a keletkezett alkil-kénsavészter közömbösítésével állítanak elő. Az alkil-szulfátok habzóképesége a szénatomszám növekedésével csökken. Legismertebb képviselőjük a nátrium-lauril-szulfát, amelynek vizes oldata semleges kémhatású, és még nagy hígításban is erősen habzik. Az *alkil-szulfonátok* (13.1. ábra) a telített szénhidrogének szulfonált származékainak nátriumsói. A szulfocsoport helyzetétől függően primer és szekunder szulfonátokat különböztethetünk meg. Mindegyik vegyületcsoport jó nedvesítő, habzó és mosó hatású, a szekunder alkil-szulfonátoknak ezentúl különösen jó az emulgeáló és zsírtalanító hatása. A csoport legismertebb képviselője a dodecil-benzil-szulfonát, amely igen jó tisztító- és habzóképeségű.

A kationaktív detergensek (*invert szappanok*) csoportjába olyan vegyületek tartoznak, amelyeknél a disszociált molekula kationrésze fejt ki a mosó hatást. A vegyületcsoport legfontosabb képviselőit, a kvaterner-ammónium vegyületeket, a fertőtlenítőszer között tárgyaljuk. A *nem ionos detergensek* igen jó nedvesítő hatású, de drága adalé-



dodecil-benzil-szulfonát

**13.1. ábra.** A zsíralkohol-szulfátok és a szulfonátok általános szerkezete

kok. A zsíralkohol- vagy alkil-fenol-poliglikoléterekben egy 12–18 szén-atomból álló, egyenes szénlánchoz vagy aralkilcsoporthoz poliglikoléter-lánc kapcsolódik.

#### 13.1.4. Egyéb tisztítószer

Az egyéb tisztítószer-komponensek olyan adalékok, amelyek a tisztítószer alkalmazását megkönnyítik és hatásukat fokozzák. A *habzásgátlók* különösen fontosak az automatikusan működő tisztítóberendezésekben. Két fő típusuk közül az egyikbe tartozók növelik a víz felületi feszültségét, a másik csoport képviselői pedig olyan, felületaktív vegyületek, amelyek a habképzőket kiszorítják a határfelületről, és saját maguk nem habzanak. Jó habzásgátló a paraffinolaj és a nagy szénatom számú alkoholok (pl. cetil-alkohol), amelyek felhasználhatók az élelmiszeriparban, fékezett habzású mosószerekben. Hátrányuk, hogy a biológiai lebonthatóságuk nem kielégítő.

A *porzásgátló* adalékok a por alakú tisztítószer porzását akadályozzák meg, amilyenek pl. az egy- és többértékű alkoholok. A por alakú tisztítószerhez töltőanyagok is szükségesek. E célra rendkívül alkalmas a nátrium-szulfát. A töltőanyaggal könnyebb beállítani az egyes komponensek jobb eloszlását. A fehérje- és keményítőtartalmú szennyeződések tisztítására a tisztítószerhez *fehérje- és keményítóbontó enzimeket* is lehet adagolni. Általában a hőt jobban tűrő enzimek alkalmasabbak a tisztítószerbe. A proteázoknál fontos a relatív szubsztrátfajlagosság, ezért ilyen célra a baktériumproteázok a legalkalmasabbak, mert ezek gyakorlatilag minden fehérjét hidrolizálnak. A baktériumproteázok előnye a penészproteázokkal szemben nagyobb hőstabilitásuk.

## 13.2. Fertőtlenítőszer

A fertőtlenítőszer olyan vegyszerek, amelyek a mikroorganizmusokat fejlődésükben gátolják vagy elpusztítják. Közös jellemzőjük, hogy *a sejtmembránra, a citoplazma enzimrendszerére vagy a génekre gyakorolt hatás révén a mikroorganizmusok életműködését kedvezőtlenül befolyásolják*. A jó fertőtlenítőszer a következő tulajdonságokkal rendelkezik:

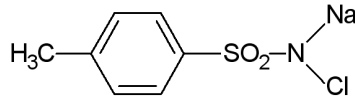
- jó csíraölő hatás, széles hatásspektrum,
- hosszabb ideig tartó használat esetén sem alakít ki rezisztenciát a mikroorganizmusokban,
- használata után a felületről könnyen eltávolítható,
- nem környezetszennyező.

Az élelmiszeripar számára a legelterjedtebbek és legmegfelelőbbek a klór- és jódtartalmú készítmények, a kvaterner-ammónium vegyületek, a peroxiszármazékok és az amfolitszappanok. A fertőtlenítést általában meg kell előznie a tisztításnak, mert a szennyeződések megakadályozzák a fertőtlenítőszer hatásának kifejtését. Újabban azonban olyan, kombinált szereket alkalmaznak, amelyekkel a tisztítás és a fertőtlenítés egy munkamentben elvégezhető.

### 13.2.1. Klórtartalmú fertőtlenítőszer

A klórtartalmú készítményekből *klórgáz szabadul fel, amely oxidatív úton fejti ki hatását*. Előnyük a minden hőmérsékleti tartományban gyors és tökéletes csíraölő hatás. A *klórmész* a kalcium-hipokloriton  $[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$  kívül kalcium-kloridot és kalcium-hidroxidot is tartalmaz. 20%-os oldata biztosan elöli a baktériumspórákat, 2%-os oldatban pedig a vegetatív alakok és a vírusok megsemmisítésére használhatók. Élelmiszer-ipari üzemekben 0,5–1,0%-os töménységű oldatát használják. A *nátrium-hipoklorit* ( $\text{NaOCl}$ ) *erősen oxidáló hatású folyadék*, amely 3, 9, 15% aktív klórtartalommal kerül kereskedelmi forgalomba. A hipokloritot 0,2–0,5%-os töménységben használják. A nátrium-hipoklorit előnye, hogy lúgos kémhatású tisztítószerrel együtt is használható, így a tisztítás és fertőtlenítés egy munkafázisban elvégezhető. Hátránya ezzel szemben, hogy erősen klórszagú, irritálja a nyálkahártyát és korrozív tulajdonságú. A *klóramintartalmú készítmények* hatóanyaga a p-toluol-szulfo-klóramid-Na (13.2. ábra), amely fehér por, 25% aktív klórtartalommal. Jó fertőtlenítő hatása mellett kevésbé agresszív a hi-

pokloritnál vagy a klórmészénél. 0,25–0,5%-os oldatait mindig frissen kell készíteni.



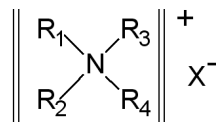
13.2. ábra. Klóramin (*p*-toluol-szulfo-klóramid-nátrium)

### 13.2.2. Jódtartalmú fertőtlenítőszer

A jódtartalmú fertőtlenítőszer között a legismertebb a jódtinktúra, amely erősen korrozív hatású a fémekre és maró hatású a bőrre. Ma már jobbra csak a jód komplex vegyületeit, a jodofórokot alkalmazzák fertőtlenítésre, amelyek a *jódnak felületaktív anyagokkal képzett komplex vegyületei*. A jodofórokban a jód vízoldható, nem korrodál és nem maró hatású. A felületaktív anyag tökéletesebbé teszi a jód mikrobaölő hatását, és jó a nedvesítőképessége, valamint a tisztító hatása is. További előnye, hogy szagtalan és kicsi a toxicitása. A jodofórokból szükséges mennyiség 25–100 mg/dm<sup>3</sup> oldat.

### 13.2.3. Kvaterner ammóniumvegyületek

A *kvaterner ammóniumsók* (13.3. ábra) olyan vegyületek, amelyekben az ammóniumcsoport (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) minden hidrogénjét szerves gyök helyettesíti. Anionként Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, CH<sub>3</sub>SO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> közömbösítheti a molekulát. Ha a kvaterner ammóniumvegyületben legalább egy nagy szénatomszámú vegyület van, a molekula *tenzid*, amely a *felületi feszültséget csökkentő, nedvesítő és emulgeáló tulajdonságon kívül mikrobaölő hatású is*. A vegyületek vízben jól oldódnak, nem illékonyak, nem mér-



13.3. ábra. A kvaterner ammóniumvegyületek általános szerkezete

gezők és nem korrodálnak, hátrányuk, szemben a klórral, hogy lassabban hatnak. 0,05–0,5%-os koncentrációban alkalmazzák fertőtlenítésre. A kvaterner ammóniumvegyületben a tenzid és mikrobaölő hatás hordozója a molekula kationja, vagyis az invertszappan. Széles körben alkalmazott fertőtlenítőszer a nitrofenol (N-cetil-piridinium-bromid), amely a Gram-pozitív baktériumokra jobban, a Gram-negatív baktériumokra kevésbé hat. 0,1–2,0% töménységben alkalmazzák.

#### 13.2.4. Amfolitszappanok

Az *amfotenzid* vagy *amfolitszappanok aminosav-származékok*. A molekula egy 12 szénatomszámú, elágazás nélküli alkilláncot, egy di- vagy poliamin részt és egy karbonsav részt tartalmaz. Az amfolitszappanok hatása nagyon közel áll a kvaterner ammóniumvegyületekéhez. Vizes oldatban ikeriont képeznek, míg azonban a kvaterner ammóniumvegyületeknél csak a kvaternerrész, *az amfolitoknál a kation- és az anionrész is egyaránt hatásos*. Az amfotenzidek jelentősen csökkentik a víz felületi feszültségét, és a baktériumokat gyorsan elpusztítják. Előnyük, hogy kitűnően oldódnak vízben és alkoholokban, szagtalanok, nem mérgezők, nem korrodálnak, korlátlan ideig tárolhatók. Összefoglalva: nagyon jó tisztító hatásúak, egyetlen hátrányuk az erős habzás.

### 13.3. A tisztító- és fertőtlenítőszeres összefoglalása

Az élelmiszerek szennyezése és fertőzése tisztítással és fertőtlenítéssel kerülhető el. A tisztítószeres lehetnek egyféle vegyi anyagok vagy több anyag kombinációi. Ezen utóbbiak tartalmazhatnak szennyeződést oldó anyagokat, komplexképzőket, felületaktív adalékot, korróziógátlót, töltőanyagot, valamint lehet bennük enzim és illatosító komponens is. A szennyoldó anyagok közül legismertebb a nátrium-karbonát, a trinátrium-foszfát, a nátrium-metaszilikát, a salétromsav és a foszforsav. A felületaktív anyagok lehetnek anionaktívak, kationaktívak, nem ionosak, illetve amfoterek. Legismertebb képviselőik a szappanok, a zsíralkohol-szulfátok és az alkil-szulfonátok. A tisztítószeres tartalmazhatnak még habzás- és porzástgátlót, valamint fehérje- és keményítőbontó enzimeket is.



A fertőtlenítőszeresek közül az élelmiszeriparban legelterjedtebbek a klór- és a jódtartalmú készítmények, a kvaterner-ammóniumvegyületek, a peroxiszármazékok és az amfolitszappanok.

## SZAKIRODALOM

---

### Általános művek

BALATONI M.–KETTING F.

1981 *Tejipari kézikönyv*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó

BALTES, W. (ed.)

1990 *Rapid methods for analysis of food and food raw material*.

Hamburg, Behr's Verlag

BELITZ, H. D.–GROSCH, W.

1999 *Food Chemistry*. Berlin, Springer Verlag

BOROSS L.–SAJGÓ M.

1993 *A biokémia alapjai*. Budapest, Mezőgazda

BREUER, H.

1995 *SH atlasz-Kémia*. Budapest, Springer-Hungarica

BRUNNER, J. R.

1976 *Characteristics of edible fluids of animal origin: Milk*. New

York, John Wiley and Sons, Inc. 619–655.

CHESWORTH, J. M.–STUCHBURY, T.–SCAIFE, J. R.

1998 *Agricultural Biochemistry*. London, Chapman & Hall

CSAPÓ J.

1987 *Tejgazdaságtan*. Egyetemi jegyzet. Kaposvár, PATE

Állattenyésztési Kar – Debrecen, Agrártudományi Egyetem. 1–94.

1988 *Tejgazdaságtan*. (Gyakorlati jegyzet). ATEK Állattenyésztési

Kar–DATE. 1–94.

2000 *Élelmiszereink*. Alapvető élelmiszerek. Tej és tejtermékek. In:

*A táplálkozás egészségkönyve*. (szerk.: Hajós Gy.–Zajkás G.)

Budapest, Kossuth. 131–143.

- CSAPÓ J.–CSAPÓ-KISS ZS.  
2002 *Tej és tejtermékek a táplálkozásban*. Budapest, Mezőgazda, 1–464.  
1999 *Tej és tejtermékek az emberi táplálkozásban*. Szeged, SZFSZ JATE Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar. 1–370.  
1998 *Tej és tejtermékek szerepe az emberi táplálkozásban*. Kaposvár, Egyetemi jegyzet. PATE Állattenyésztési Kar. 1–370.
- CSAPÓ J.–JÁVOR A.  
1988 *Tejgazdaságtan*. ATEK Állattenyésztési Kar–DATE. 1–116.  
1987 *Tejgazdaságtan*. Egyetemi jegyzet. Kaposvár, PATE Állattenyésztési Kar – Debrecen, Agrártudományi Egyetem. 1–116.
- EBBING, D. D.  
1996 *General Chemistry*. (ed. Mark S. Wrighton.) Boston, Houghton Mifflin Co.
- ELŐDI P.  
1989 *Biokémia*. Budapest, Akadémiai Kiadó
- ENSMINGER, M. E.–ENSMINGER, A. H.–KONLANDE, J. E.–ROBSON, J. R. K.  
1995 *The concise encyclopedia of foods & nutrition*. New York, CPC Press
- ERDEY L.  
1966 *Bevezetés a kémiai analízisbe*. Mennyiségi kémiai analízis. Budapest, Tankönyvkiadó  
1966 *Bevezetés a kémiai analízisbe*. Minőségi kémiai analízis. Budapest, Tankönyvkiadó
- FEENEY, R. E.–WHITAKER, J. R.  
1977 *Food proteins improvement through chemical and enzymatic modification*. Washington, American Chemical Society
- FOX, M. A.–WHITESELL, J. K.  
1997 *Organic chemistry*. Sudbury, Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- GASZTONYI K.–LÁSZTITY R. (szerk.)  
1992 *Élelmiszer-kémia 1. és 2.* Budapest, Mezőgazda
- GERGELY P.–ERDŐDI F.–VEREB GY.  
1997 *Általános és bioszervetlen kémia*. (szerk. Gergely P.) Budapest, Semmelweis
- HEGEDŰS M.–KRALOVÁNSZKY U. P.–MÁTRAI T.  
1981 *A takarmányfehérjék minősítése*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó

- HENNIG, A.  
1972 *Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika*. Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag
- HOLME, D. J.–PECK, H.  
1998 *Analytical Biochemistry*. New York, Addison Wesley Longman Limited
- JENNES, R.–PATTON, S.  
1967 *Grundzüge der Milchchemie*. München–Basel–Wien, Bayer Landw. Verlag  
1959 *Principles of dairy chemistry*. New York, John Wiley and Sons, Inc.
- KERESE I. (szerk.)  
1975 *Fehérjevizsgálati módszerek*. Budapest, Műszaki Kiadó
- KIELWEIN, G.  
1976 *Leitfaden der Milchkunde und Milchhygiene*. Berlin und Hamburg, Verlag Paul Parey, p. 32.
- KIERMEIER, F.–LECHNER, E.  
1973 *Milch und Milcherzeugnisse*. Berlin und Hamburg, Verlag Paul Parey
- LÁSZTITY R.–TÖRLEY D.  
1987 *Alkalmazott élelmiszer-analitika*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó
- LEHNINGER, A. L.–NELSON, D. L.–COX, M. M.  
1993 *Principles of Biochemistry*. New York, Worth Publishers, Inc.
- MCKENZIE, H. A.  
1970 *Milk proteins*. Chemistry and molecular biology I., II. New York and London, Academic Press
- MICHAL, G.  
1999 *Biochemical pathways: An Atlas of Biochemistry and Molecular Biology*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- PENKE B.–TÖRÖK A. (ed.)  
1988 *Peptides*. Berlin, Walter de Gruyter & Co.
- RENNER, E.  
1983 *Milk and dairy production in human nutrition*. München, Volkswirtschaftlicher Verlag
- SCOTT, R.–ROBINSON, R. K.–WILBEY, R. A.  
1998 *Cheesemaking practice*. AN Aspen Publication

- SIKORSKI, Z. (ed.)  
1997 *Chemical and functional properties of food components*.  
Lancaster, Technomic Publ.
- STEWART, K. K.–WHITAKER, J. R. (ed.)  
1984 *Modern Methods of Food Analysis*. Wesport, The AVI  
Publishing Inc.
- STRYER, L.  
1975 *Biochemistry*. San Francisco, W. H. Freeman and Co.
- SZENT-GYÖRGYI A.  
1988 *Válogatott tanulmányok*. Budapest, Gondolat
- TÖRŐ I. (szerk.)  
1989 *Az élet alapjai*. Budapest, Gondolat
- UNDERWOOD, E. J.  
1962 *Trace elements in human and animal nutrition*. New York,  
Academic Press.
- WEAVER C.  
1996 *Food chemistry Laboratory*. New York, CRC Press
- WEBB, B. H.–JOHNSON, A. H.  
1965 *Fundamentals of Dairy Chemistry*. Wesport, Connecticut, The  
AVI Publishing Comp., Inc.
- WOLFE, D. H.  
1984 *Introduction to College Chemistry*. McGraw-Hill Book Co.,  
USA

## 1. fejezet

- BARAKAT, M. Z.–SHEBAB, S. K.–NAGUIB, N.  
1969 A study of the calcium/phosphorus ratio of different milks.  
*Zentbl. Vet. Med.* A16. 444–449.
- CSAPÓNÉ KISS ZS.–CSAPÓ J.  
2001 A tej ásványi anyagai és élettani-táplálkozási vonatkozásai.  
*Tejgazdaság.* 41. 27–33.
- DAS, H. A.–RAAPHORST, J. G.–MENGER, J. W.–GALESLOOT, Th. E.  
1967 Manganese determination at the parts per 10<sup>9</sup> level in dairy  
products. *Nucl. Activ. Tech. Life Sci. Proc. Symp.* Amsterdam,  
379–387.

FENNEMA, O. R.

1976 Water and ice. In: *Principles of food science. Part I.* (ed. Fennema, O. R.) New York, Marcel Dekker, Inc. p. 13.

FOX, P. F.

1997 *Advanced Dairy Chemistry-3: Lactose, water, salts and vitamins.* London – Weinheim – New York – Tokyo – Melbourne – Madras, Blackie Academic & Professional, 1–536.

FRANKS, F.

1975 Water, ice and solutions of simple molecules. In: *Water, relations of foods* (ed. Duckworth, R. B.) London, Academic Press, p. 3.

FRAZEUR, D. R.

1967 Determination of selected cations in milk by atomic absorption spectrophotometry. *J. Dairy Sci.* 50. p. 938.

GORMICAN, A.

1970 Inorganic elements in foods used in hospital menus. *J. Amer. Dietet. Assoc.* 56. 397–403.

HARDMAN, T. M. (ed.)

1989 *Water and food quality.* London, Elsevier Applied Science

HÖLL, K.

1979 *Wasser.* Berlin, Walter de Gruyter

IMAMURA, T.–KATAOKA, K.–IWADO, K.

1961 Studies on minerals of milk and milk products. 3. Iron, copper and molybdenum contents of milk ash in milk and milk products. *Jap. J. Zootech. Sci.* 32. 31–34.

JÖNSSON, H.

1967 Determination of copper iron and manganese in milk with flameless AAS and a survey of the content of these metals in swedish market milk. *Milchwissenschaft.* 31. 210–216.

KAREL, M.

1975 Water activity and food preservation. In: *Principles of food science. Part II.* (eds. Karel, M., Fennema, O. R., Lund, D. B.) New York, Marcel Dekker, Inc. p. 237.

LANG, K.

1979 *Biochemie der Ernährung.* 4. Aufl., Darmstadt, Dr. Dietrich Steinkopff Verlag

MURTHY, G. K.–RHEA, U.–REELER, J. T.

1972 Copper, iron, manganese, strontium and zinc content of market milk. *J. Dairy Sci.* 55. 1666–1674.

NOVELLO, J. C.

1967 Copper and iron content of milk, cream and butter from factories in bloemfontein and certain physical, chemical and organoleptical properties of the butter and butterfat. *Agric. Res.* 1. p. 291.

PFANNHAUSER, W.

1988 *Essentielle Spurenelemente in der Nahrung*. Berlin, Springer Verlag

PRIEV, I. G.–ZHULBEKOV, N.ZH.–KOSTROMINA, L.

1966 Variations in the Cu and Fe contents of milk. *Pediatriya. Mosk.* 45. 41–43. (Ref.: *Dairy Sci. Abstr.* 28. p. 3262.)

QUENTIN, K. E.

1988 *Trinkwasser*. Berlin, Springer-Verlag

SLADE, W.–LEVINE, H.

1991 Beyond water activity–Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 30. p. 115.

SMITH, K. T.

1988 *Trace Minerals in Foods*. New York, Marcel Dekker, Inc.

WOLFRAM, G.–KIRCHGESSNER, M. (eds.)

1990 *Spurenelemente und Ernährung*. Stuttgart, Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft

## 2. fejezet

BANKS, W.–MUIR, D. D.

1980 Structure and chemistry of the starch granule. In: *The biochemistry of plants*. (eds. Stumpf, P. K., Conn, E. E.), 3. New York, Academic Press, p. 321.

BIRCH, G. G.

1967 Structural relationships of sugars to taste. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 8. p. 57.

BIRCH, G. G. (ed.)

1985 *Analysis of food carbohydrate*. London, Elsevier Applied Science Publ.

1977 *Developments in food carbohydrate*. London, Applied Science Publ.

- BIRCH, G. G.–PARKER, K. J. (eds.)  
1983 *Dietary fibre*. London, Applied Science Publ.
- BRIMACOMBE, J. C. (ed.)  
1969 *Carbohydrate chemistry*. Vol. 1., The Chemical Society, London, Burlington House
- ERIKSSON, C. (ed.)  
1981 *Maillard reactions in food*. Chemical, physiological and technological aspects. Oxford, Pergamon Press
- FOX, P. F.  
1997 *Advanced Dairy Chemistry-3: Lactose, water, salts ad vitamins*. London – Weinheim – New York – Tokyo – Melbourne – Madras, Blackie Academic & Professional, 1–536.  
1985 *Developments in Dairy Chemistry - 3*. Lactose and Minor Constituents. London & New York, Elsevier Applied Science Publishers. 1–405.  
1983 *Developments in Dairy Chemistry - 2*. Lactose and Minor Constituents. London & New York, Elsevier Applied Science Publishers, 1–430.
- GALLIARD, T. (ed.)  
1987 *Starch: Properties and Potential*. Chichester, John Wiley and Sons
- LEDL, F.  
1990 Chemical Pathways of the Maillard Reaction. In: *The Maillard Reaction in Food Processing, Human Nutrition and Physiology* (eds. Finot, P. A. et alii) Basel, Birkhäuser Verlag, p. 19.
- LEDL, F.–FRITUL, G.–HIEBL, H.–PACHMAYR, O.–SEVERIN, T.  
1986 Degradation of Maillard products. In: *Aminocarbonyl reactions in food and biological systems*. (eds. Fujimaki, M., Namiki, M., Kato, H.) Amsterdam, Elsevier, p. 173.
- LEDL, F.–SCHLEICHER, E.  
1990 Die Maillard-Reaktion in Lebensmitteln und im menschlichen Körper – neue Ergebnisse zu Chemie, Biochemie und Medizin. *Angewandte Chemie* 102. p. 597.
- PAGINGTON, J. S.  
1986  $\beta$ -Cyclodextrin and its uses in the flavour industry. In: *Developments in food flavours*. (eds. Birch, G. G., Kindley, M. G.) London, Elsevier Applied Science, p. 131.
- PIGMAN, W.–HORTON, D. (eds.)  
1970-1980 *The Carbohydrates*. 2<sup>nd</sup> edn., New York, Academic Press



- RADLEY, J. A. (ed.)  
1976 *Starch production technology*. London, Applied Science Publ.
- SCHALLENBERGER, R. S.  
1982 *Advanced sugar chemistry, principles of sugar stereochemistry*. Chichester, Ellis Horwood Publ.
- SCHERZ, H.–MERGENTHALER, E.  
1980 Analytik der als Lebensmittelzusatzstoffe verwendeten Polysaccharide. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 170. p. 280.
- SHALLENBERGER, R. S.–BIRCH, G. G.  
1975 *Sugar chemistry*. Westport, Connecticut, The AVI Publ. Co., Inc.
- SUTHERLAND, I. W.  
1983 Extracellular polysaccharides. In: *Biotechnology*. (eds. Rehm, H. J., Reed, G.), Vol. 3., Weinheim, Verlag Chemie, p. 531.
- WALLER, G. R.–FEATHER, M. S. (eds.)  
1983 The Maillard reaction in foods and nutrition. *ACS Symposium Series 215*, Washington, D.C., American Chemical Society

### 3. fejezet

- ASO, K.–YAMASHITA, M.–ARAI, S.–FUJIMAKI, M.  
1974 Tryptophan-, threonine-, and lysine-enriched plasteins from zein. *Agric. Biol. Chem.* 38. p. 679.
- BELITZ, H. D.–WIESER, H.  
1976 Zur Konfigurationsabhängigkeit des süßen oder bitteren Geschmacks von Aminosäuren und Peptiden. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 160. p. 251.
- BODANSZKY, M.  
1988 *Peptide Chemistry*. Berlin, Springer-Verlag
- BOGGS, R. W.  
1978 Bioavailability of acetylated derivatives of methionine, threonine and lysine. *Adv. Exp. Med. Biol.* 105. p. 571.
- BRÜCKNER, H.–HAUSCH, M.  
1990 D-amino acids in dairy products: Detection, origin and nutritional aspects. I. Milk, fermented milk, fresh cheese and acid curd cheese. *Milchwissenschaft.* 45. 357–360.

- 1990 D-amino acids in dairy products: Detection, origin and nutritional aspects. II. Ripened Cheeses. *Milchwissenschaft*. 45. 421–429.
- CHERRY, J. P.(ed.)  
1981 Protein functionality in foods. *ACS Symposium Series 147*, Washington, D.C., American Chemical Society
- CREIGHTON, T. E.  
1983 *Proteins: structures and molecular properties*. New York, W. H. Freeman and Co.
- CROFT, L. R.  
1980 *Introduction to protein sequence analysis, 2<sup>nd</sup> edn.*, Chichester, John Wiley and Sons, Inc.
- CSAPÓ J.–CSAPÓ-KISS ZS.–CSORDÁS E.–FOX, P. F.–WÁGNER L.–TÁLOS T.  
1997 Különböző technológiával készült sajtok összes szabad- és szabad D-aminosav-tartalma. *Tejipar*. 57. 1. 25–30.
- CSAPÓ J.–CSAPÓ-KISS ZS.–STEFLE J.  
1997 Determination of the proportion of mastitic milk in the bulk tank milk based on free D-amino acid content. *Authenticity and Adulteration of Food - the Analytical Approach. Euro Food Chem IX. Interlaken. Sept. 24–26*. 95–100.  
1997 Influence of mastitis on D-amino acid content of milk. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 62. 1-2. 162–167.
- CSAPÓ J.–CSAPÓ-KISS ZS.–STEFLE J.–POHN G.–HORN P.–MARTIN, T.G.  
2000 D-amino acid content of mastitic milk. *Hungarian Agricultural Research*. 9. 3. 7–10.
- CSAPÓ J.–CSAPÓ-KISS ZS.–VARGÁNÉ VISI É.–ANDRÁSYNÉ BAKA G.–TERLAKYNÉ BALLA É.  
1997 Élelmiszerek D-aminosav-tartalma. Irodalmi áttekintés. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 1. 1. 3–20.
- CSAPÓ J.–CSAPÓNÉ KISS ZS.–VARGA-VISI É.–POHN G.–PÉTERVÁRI E.  
2001 The D-amino acid content of foodstuffs (Literature review). *Tejgazdaság*. 41. 1–11.
- CSAPÓ J.–MARTIN, T. G.–CSAPÓ-KISS ZS.–STEFLE J.–NÉMETHY S.  
1995 Influence of udder inflammation on the D-amino acid content of milk. *Journal of Dairy Science*. 78. 2375–2381.

- CSAPÓ-KISS ZS.–FOX, P. F.–CSAPÓ J.–WÁGNER L.  
1997 Total free and free D-amino acid content of cheeses produced by different technologies. *5<sup>th</sup> International Congress on Amino Acids. Chalkidiki. 1997. aug. 25–29., Amino Acids.* 13. p. 26.
- FOX, P. F.  
1997 *Advanced Dairy Chemistry – 1: Proteins.* London – Weinheim – New York – Tokyo – Melbourne – Madras, Blackie Academic & Professional, 1–781.  
1982 *Developments in Dairy Chemistry – 1. Proteins.* London & New York, Elsevier Applied Science Publishers, 1–409.
- FRANK H.–NICHOLSON, G. J.–BAYER, E.  
1977 Rapid gas chromatographic separation of amino acid enantiomers with a novel chiral stationary phase. *J. Chromatogr. Sci.* 15. p. 174.
- GLAZER, A. N.  
1976 The chemical modification of proteins by group-specific and site-specific reagents. In: *The proteins.* (eds. Neurath, H., Hill, R. L., Boeder C. L.), 3<sup>rd</sup> edn. Vol. II., New York–London, Academic Press, p. 1.
- HAAGSMA, N.–SLUMP, P.  
1978 Evaluation of lysinoalanine determinations in food proteins. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 167. p. 238.
- HUDSON, B. J. F. (ed.)  
1982 *Developments in food proteins-1.* London, Applied Science Publ.
- IKENAKA, T.–ODANI, S.–KOIDE, T.  
1974 *Chemical structure and inhibitory activities of soybean proteinase inhibitors.* Bayer-Symposium V „Proteinase inhibitors”, Berlin–Heidelberg, Springer-Verlag, p. 325.
- KINSELLA, J. E.  
1976 Functional properties of proteins in foods: A survey. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 7. p. 219.
- LOTTSPREICH, F.–HENSCHEN A.–HUPE, K. P. (eds.)  
1981 *High performance liquid chromatography in protein and peptide chemistry.* Berlin, Water de Gruyter
- LÜBKE, K.–SCHRÖDER, E.–KLOSS, G.  
1975 *Chemie und Biochemie der Aminosäuren, Peptide und Proteine.* Stuttgart, Georg Thieme Verlag

- MASTERS, P.M.–FRIEDMAN, M.  
1979 Racemization of amino acids in alkali-treated food proteins. *J. Agric. Food Chem.* 27. p. 507.
- MEISER, A.  
1965 *Biochemistry of the amino acid*. 2<sup>nd</sup> edn., Vol I., New York–London, Academic Press
- POHN G.–CSAPÓ J.  
2001 A tőgygyulladás hatása a tej összetételére, különös tekintettel a D-aminosav-tartalomra. *12. Magyar Buiatrikus Kongresszus. Balatonfüred. okt. 12–14.* 1–6.
- PUIGSERVER, A. J.–SEN, L. C.–CLIFFORD, A. J.–  
FEENEY R. E.–WHITAKER, J. R.  
1978 A method for improving the nutritional value of food proteins: Covalent attachment of amino acids. *Adv. Exp. Med. Biol.* 105. p. 587.
- SCHULZ, G. E.–SCHIRMER, R. H.  
1979 *Principle of protein structure*. Berlin–Heidelberg, Springer-Verlag
- SHEPPARD, R. C. (ed.)  
1970 *Amino-acids, peptides, and proteins*. Vol 1., London, The Chemical Society, Berlington House
- SODA, K.–TANAKA, H.–Esaki, N.  
1983 Amino acids. In: *Biotechnology*. (eds. Rehm, H. J., Reed G.), Vol 3., Weinheim, Verlag Chemie p. 479.
- STERNBERG, M.–KIM, C. Y.  
1977 Lysinoalanine formation in protein food ingredients. *Adv. Exp. Med. Biol.* 86B. p. 73.
- TRAUB, W.–PIEZ, K. A.  
1971 The chemistry and structure of collagen. *Adv. Protein Chem.* 25. p. 267.
- TSCHESCHE, H. (ed.)  
1985 *Modern Methods in Protein Chemistry*. Vol 2, Berlin, Walter de Gruyter
- UZONYI GY.  
1981 Modellkísérlet a tejfehérje finomabb összetétele és a fehérjekitermelés közötti összefüggés vizsgálatára. *Tejipar.* 30. 18–20.  
1970 A fehérjetartalom összehasonlító vizsgálata. *Tejipar.* 19. 31–33.

WALTON A. G.

1981 *Polypeptides and protein structure*. New York–Oxford, Elsevier North Holland, Inc.

WHITAKER, J. R.–FUJIMAKI, M. (eds.)

1980 Chemical deterioration of proteins. *ACS Symposium Series 123*, Washington D.C., American Chemical Society

YAMASHITA, M.–ARAI, S.–AMANO, Y.–FUJIMAKI, M.

1979 A novel one-step process for enzymatic incorporation of amino acids into proteins: Application to soy protein and flour for enhancing their methionine levels. *Agric. Biol. Chem.* 43. p. 1065.

YAMASHITA, M.–ARAI, S.–FUJIMAKI, M.

1976 A low-phenylalanine, high-tyrosine plastein as an acceptable dietetic food. *J. Food Sci.* 41. p. 1029.

#### 4. fejezet

BADINGS, H. T.

1970 Cold storage defects in butter and their relation to the autoxidation of unsaturated fatty acids. *Ned. Melk Zuiveltijdschr.* 24. p. 147.

BARNES, P. J.

1982 Lipid composition of wheat germ and wheat germ oil. *Fette Seifen Anstrichm.* 84. p. 256.

BRITTON, G.–GOODWIN, T. W.

1971 Biosynthesis of carotenoids. In: *Methods in enzymology*. (eds. Colowick, S. P., Kaplan, N. O.), Vol. XVIII, Part C, New York, Academic Press, p. 654.

CHAN, H. W. S. (ed.)

1987 *Autoxidation of unsaturated lipids*. London, Academic Press

CHRISTIE, W. W.

1987 *High-performance liquid chromatography and lipids*. Oxford, Pergamon Press

1982 *Lipid analysis*. 2. Aufl., Oxford, Pergamon Press

CSAPÓ J.–VARGÁNE VISI É.–CSAPÓNE KISS ZS.–SZAKÁLY S.

2001 Tej és tejtermékek konjugált linolsav-tartalma I. Irodalmi összefoglaló. A tej konjugált linolsav-tartalmát befolyásoló tényezők. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 4. 1–12.

- 2001 Tej és tejtermékek konjugált linolsav-tartalma II. Irodalmi összefoglaló. A sajt, a vaj, egyéb tejtermékek és más élelmiszerek konjugált linolsav-tartalma. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 4. 13–21.
- 2001 Tej és tejtermékek konjugált linolsav-tartalma III. Irodalmi összefoglaló. A konjugált linolsavak és a tejszír biológiai hatása; konjugált linolsavak az emberi szervezetben. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 4. 23–38.

DENNIS, E. A.

- 1983 Phospholipases. In: *The enzymes*. (ed. Boyer, P. D.) 3<sup>rd</sup> edn., Vol. XVI, New York, Academic Press, p. 307.

ERIKSSON, C. E.

- 1974 Enzymic and non-enzymic lipid degradation in foods. In: *Industrial aspects of biochemistry*. (ed. Spencer, B.), Federation of European Biochemical Societies, Vol. 30, Amsterdam, North Holland/American Elsevier, p. 865.

FOOTE, C. S.

- 1976 Photosensitized oxidation and singlet oxygen: Consequences in biological systems. In: *Free radicals in biology*. (ed. Pryor, W. A.), Vol II, New York, Academic Press, p. 85.

FOX, P. F.

- 1997 *Advanced Dairy Chemistry-2: Lipids*. London – Weinheim – New York – Tokyo – Melbourne – Madras, Blackie Academic & Professional, 1–443.

FRANKEL, E. N.

- 1991 Recent advances in lipid oxidation. *J. Sci. Food Agric.* 54. p. 495.

GALLIARD, T.–MERCER, E. I. (eds.)

- 1975 *Recent advances in the chemistry and biochemistry of plant lipids*. London, Academic Press

GARDNER, H. W.

- 1979 Lipid hydroperoxide reactivity with proteins and amino acids. *A review. J. Agric. Food Chem.* 27. p. 220.

GARTI, N.–SATO, K.

- 1988 *Crystallization and polymorphism of fats and fatty acids*. New York, Marcel Dekker, Inc.

GLASS, R. L.

- 1971 Alcoholysis, saponification and the preparation of fatty acid methyl esters. *Lipids* 6. p. 919.

- GOTTSTEIN, T.–GROSCH, W.  
1990 Model study of different antioxidant properties of  $\alpha$ - and  $\gamma$ -tocopherol in fats. *Fat Sci. Technol.* 92. p. 139.
- GUNSTONE, F. D.–HARWOOD, J. L.–PADLEY, F. B.  
1986 *The lipid handbook*. London, Chapman and Hall
- GUNSTONE, F. D.–NORRIS, F. A.  
1983 *Lipids in foods*. Oxford, Pergamon Press
- HAMILTON, R. J.–BHATI, A.  
1987 *Recent advances in chemistry and technology of fats and oils*. London, Elsevier Applied Science
- ISLER, O. (ed.)  
1971 *Carotenoids*. Basel, Birkhäuser Verlag
- JOHNSON, A. R.–DAVENPORT, J. B.  
1971 *Biochemistry and methodology of lipids*. New York, John Wiley and Sons
- KINSELLA, J. E.  
1987 *Seafoods and fish oils in human health and disease*. New York, Marcel Dekker Inc.
- KORYCKA-DAHL, M. B.–RICHARDSON, T.  
1978 Active oxygen species and oxidation of food constituents. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 10. p. 209.
- LABUZA, T. P.  
1971 Kinetics of lipid oxidation in foods. *Crit. Rev. Food Technol.* 2. p. 355.
- LITCHFIELD, C.  
1972 *Analysis of triglycerides*. New York, Academic Press
- PERKINS, E. G. (ed.)  
1975 *Analysis of lipids and lipoproteins*. Champaign, Ill. American Oil Chemists' Society
- PORTER, N. A.–LEHMAN, L. S.–WEBER, B. A.–SMITH, K. J.  
1981 Unified mechanism for polyunsaturated fatty acid autoxidation. Competition of peroxy radical hydrogen atom abstraction,  $\beta$ -scission, and cyclization. *J. Am. Chem. Soc.* 103. p. 6447.
- PRYDE, E. H. (ed.)  
1979 *Fatty acids*. Champaign, Ill. American Oil Chemists' Society

- PRYOR, W. A.–STANLEY, J. P.–BLAIR, E.  
1976 Autoxidation of polyunsaturated fatty acids. II: A suggested mechanism for the formation of TBA-reactive materials from prostaglandin-like endoperoxides. *Lipids*. 11. p. 370.
- SCHÄFFER B.–SZAKÁLY S.  
1988 Structure of butter. I. A method for determination of the liquid/solid fat ratio in water-in-oil emulsions. *Milchwissenschaft*. 43. 9. 557–560.
- SIMIC, M. G.–KAREL, M. (ed.)  
1980 *Autoxidation in food and biological systems*. New York, Plenum Press
- WOLFRAM, G.  
1989  $\omega$ -3- und  $\omega$ -6-Fettsäuren–Biochemische Besonderheiten und biologische Wirkungen. *Fat Sci. Technol.* 91. p. 459.

## 5. fejezet

- BÄSSLER, K. H.–LANG, K.  
1975 *Vitamine*. Darmstadt, Dr. Dietrich Steinkopff Verlag
- COUNSELL, J. N.–HORNING, D. H. (eds.)  
1981 *Vitamin C (Ascorbic Acid)*. London, Applied Science Publ.
- CSAPÓ J.–CSAPÓ KISS ZS.  
2001 A tej vitaminjai és élettani-táplálkozási vonatkozásai. *Tejgazdaság*. 41. 34–41.
- CSAPÓ J.–POHN G.–VARGÁNÉ VISI É.  
2001 A mikrohullámú kezelés hatása húspogácsák vízzeloldható vitamin- és D-aminosav-tartalmára. *Műszaki Kémiai Napok '01. Veszprém, április 24–26.* 200–204.
- FARRER, K. T. H.  
1955 The thermal destruction of vitamin B<sub>1</sub> in foods. *Adv. Food Res.* 6. p. 257.
- FORD, J. E.–PORTER, J. W. G.  
1969 Effect of ultrahigh temperature (UHT) processing and of subsequent storage on the vitamin content of milk. *J. Dairy Res.* 36. 447–454.



FOX, P. F.

1997 *Advanced Dairy Chemistry-3: Lactose, water, salts and vitamins*. London – Weinheim – New York – Tokyo – Melbourne – Madras, Blackie Academic & Professional, 1–536.

GREGORY, E. M.

1975 Reviews of the progress of dairy science. Watersoluble vitamins in milk and milk products. *J. Dairy Res.* 42. 197–216.

ISLER, O.–BRUBACHER, G.–GHISLA, S.–KRÄUTLER, B.

1988 *Vitamine II. Wasserlösliche Vitamine*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag

KISZA, J.–ROTKIEWICZ, W.–SURAZINSKI, A.

1966 Über einige Veränderungen in Vitaminhaushalt (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C und Carotin) in normaler und anormaler Milch. *Milchwissenschaft*. 21. 547–550.

LABUZA, T.P.–RIBOH, D.

1982 Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. *Food Technol.* 36. 10. p. 66.

LECHNER, E.–KIERMEIER, F.

1969 Über den Ascorbinsäure- und Dehydroascorbinsäuregehalt von Milch. *Z. Lebensm. Untersuch. Forsch.* 141. 23–29.

LIAO, M. L.–SEIB, P. A.

1988 Chemistry of L-ascorbic acid related to foods. *Food Chem.* 30. p. 289.

LUND, D. B.

1979 Effect of commercial processing on nutrients. *Food Technol.* 33. 2. p. 28.

MACHLIN, L. J. (ed.)

1984 *Handbook of Vitamins*. New York, Marcel Dekker Inc.

SEIB, P. A.–TOLBERT, B. M. (eds.)

1982 *Ascorbic acid: Chemistry, metabolism, and uses*. Advances in Chemistry Series 200, Washington, D.C., American Chemical Society

SZENT-GYÖRGYI A.

1988 *Válogatott tanulmányok*. Budapest, Gondolat

TOOTHILL, J.–THOMPSON, S. Y.–HILL, W. B.

1970 The determination of vitamin-C in evaporated and fortified sterilized milks. *J. Dairy Res.* 37. 521–527.

## 6. fejezet

BELITZ, H. D.–GROSCH, W.

1999 *Food Chemistry*. Berlin, Springer Verlag

ENSMINGER, M. E.–ENSMINGER, A. H.–KONLANDE, J. E.–ROBSON, J. R. K.

1995 *The concise encyclopedia of foods & nutrition*. New York, CPC Press

GASZTONYI K.–LÁSZTITY R. (szerk.)

1992 *Élelmiszer-kémia 1. és 2.* Budapest, Mezőgazda

## 7. fejezet

ACREE, T. E.–BARNARD, J.–CUNNINGHAM, D. G.

1984 A procedure for the sensory analysis of gas chromatographic effluents. *Food Chem.* 14. p. 273.

ARIYOSHI, Y.–KOHMURA, M.–HASEGAWA, Y.–OTA, M.–NIO, N.

1991 Sweet peptides and proteins: Synthetic studies. *ACS Symposium Series* 450. p. 41.

BEETS, M. G. J.

1978 *Structure–activity relationships in human chemoreception*. London, Applied Science Publ.

BELITZ, H. D.–CHEN, W.–JUGEL, H.–STEMPFL, W.–TRELEANO, R.–WIESER, H.

1983 QSAR of bitter tasting compounds. *Chem. Ind.* 23.

1981 Structural requirements for sweet and bitter taste. In: *Flavour '81* (ed. Schreier, P.), Berlin, Walter de Gruyter, p. 741.

BELITZ, H. D.–CHEN, W.–JUGEL, H.–TRELEANO, R.–WIESER, H.–GASTEIGER, J.–MARSILI, M.

1979 Sweet and bitter compounds: Structure and taste relationship. In: *Food taste chemistry*. (ed. Boudreau, J. C.), *ACS Symposium Series* 115, Washington, D.C., American Chemical Society, p. 93.

BOELENS, M. H.–RICHARD, H. M. J.

1991 Spices and condiments I. and II. In: *Volatile compounds in foods and beverages*. (ed. Maarse, H.), New York, Marcel Dekker Inc.

- BUTTERY, R. G.–TERANISHI, R.–LING, L. C.–TURNBAUGH, J. G.  
1990 Quantitative and sensory studies on tomato paste volatiles. *J. Agric. Food Chem.* 38. p. 336.
- CHARALAMBOUS, G.–INGLETT, G. E. (eds.)  
1978 *Flavor of foods and beverages*. New York, Academic Press
- CHARALAMBOUS, G.–KATZ, I. (eds.)  
1976 Phenolic, sulfur, and nitrogen compounds in food flavors. *ACS Symposium Series 26*, Washington, D.C., American Chemical Society
- EBNER, H.–FOLLMANN, H.  
1983 Acetic acid. In: *Biotechnology*. (eds. Rehm, H.-J., Reed, G.), Vol. 3. Weinheim, Verlag Chemie, p. 387.
- ENGEL, K. H.–FLATH, R.–BUTTERY, R. G.–MON, T. R.–RAMMING, D. W.–TERANISHI, R.  
1988 Investigation of volatile constituents in nectarines. 1. Analytical and sensory characterization of aroma components in some nectarine cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 36. p. 549.
- FENAROLI, G.  
1975 *Handbook of flavor ingredients*. 2<sup>nd</sup> edn. Vol. I. and II., Cleveland, Ohio, CRC Press
- FRIJTERS, J. E. R.  
1978 A critical analysis of the odour unit number and its use. *Chem. Senses Flavour* 3. p. 227.
- GROSCH, W.  
1990 Analyse von Aromastoffen. *Chem. unserer Zeit* 24. p. 82.
- HEATH, H. B.–REINECCIUS, G.  
1986 *Flavor chemistry and technology*. Westport, Connecticut, The AVI Publ. Comp., Inc.
- HUOPALAHTI, R.–KESÄLAHTI, E.–LINKO, R.  
1985 Effect of hot air and freeze drying on the volatile compounds of dill (*Anethum graveolens* L.) herb. *J. Agric. Sci. Finland.* 57. p. 133.
- LAND, D. G.–NURSTEN, H.E. (eds.)  
1979 *Progress in flavour research*. London, Applied Science Publ.
- LARSEN, M.–POLL, L.  
1990 Odour thresholds of some important aroma compounds in raspberries. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 191. p. 129.

- MAARSE, H. (ed.)  
1991 *Volatile compounds in foods and beverages*. New York, Marcel Dekker, Inc.
- MAARSE, H.–BELZ, R. (eds.)  
1981 *Isolation, separation and identification of volatile compounds in aroma research*. Berlin, Akademie-Verlag
- MAARSE, H.–VISSCHER, C. A. (eds.)  
1990 *Volatile compounds in food. Qualitative and quantitative data*. 6<sup>th</sup> edn. with supplements 1, Zeist, The Netherlands, TNO-CIVO Food Analysis Institute
- MAGA, J. A.  
1975 Capsicum. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 6. p. 177.
- MELCHIOR, H.–KASTNER, H.  
1974 *Gewürze*. Berlin, Verlag Paul Parey
- MORTON, I. D.–MacLEOD, A. J. (eds.)  
1990 *Food Flavours*. Part C. The flavour of fruits. Amsterdam, Elsevier Scientific Publ. Co.  
1986 *Food Flavours*. Part B. The flavour of beverages. Amsterdam, Elsevier Scientific Publ. Co.  
1982 *Food Flavours*. Part A. Introduction. Amsterdam, Elsevier Scientific Publ. Co.
- NURSTEN, H. E.  
1984 Developments in research on the flavour of foods. *Res. Food Sci. Nutr.* 4. p. 183.
- OHLOFF, G.–FLAMENT, I.–PICKENHAGEN, W.  
1985 Flavor chemistry. *Food Rev. Int.* 1. p. 99.
- OHLOFF, G.–FLAMENT, I.  
1978 The role of heteroatomic substances in the aroma compounds of foodstuffs. *Fortschr. Chem. Org. Naturst.* 36. p. 231.
- SALZER, U. J.  
1977 The analysis of essential oils and extracts (oleoresins) from seasonings—a critical review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 9. p. 345.
- SAMPATHU, S. R.–SHIVASHANKAR, S.–LEWIS, Y. S.  
1984 Saffron (*Crocus sativus* Linn.)—Cultivation, processing, chemistry and standardization. *Crit. rev. Food Sci. Nutr.* 20. p. 123.
- SCHREIER, P.  
1984 *Chromatographic studies of biogenesis of plant volatiles*. Heidelberg, Alfred Hüthig Verlag

SIEWEK, F.

1990 *Exotische Gerwürze*. Herkunft, Verwendung, Inhaltsstoffe. Basel, Birkhäuser Verlag

TER HEIDE, R.–de VALOIS, P. J.–VISSER, J.–

JAEGERS, P. P.–TIMMER, R.

1978 Concentration and identification of trace constituents in alcoholic beverages. In: *Analysis of foods and beverages - Headspace techniques* (ed. Charalambous, G.), New York, Academic Press, p. 249.

TERANISHI, R.–BUTTERY, R. G.–SHAHIDI, F. (eds.)

1989 Flavor chemistry–Trends and Developments. *ACS Symp. Ser.* 388.

TRESSL, R.–HELAK, B.–MARTIN, N.–KERSTEN, E.

1989 Formation of amino acid specific Maillard products and their contribution to thermally generated aromas. *ACS Symp. Ser.* 409. p. 156.

WERKHOFF, P.–BRÜNING, J.–EMBERGER, R.–

GÜNTERT, M.–KÖPSEL, M.–KUHN, W.–SURBURG, H.

1990 Isolation and characterization of volatile sulfur-containing meat flavor components in model systems. *J. Agric. Food Chem.* 38. p. 777.

WIJESEKERA, R. O. B.

1978 The chemistry and technology of cinnamon. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 10. p. 1.

## 8. fejezet

BIRCH, G. G.–BRENNAN, J. G.–PARKER, K. J. (eds.)

1977 *Sensory properties of foods*. London, Applied Science Publ.

BRANEN, A. L.–DAVIDSON, P. M.–SALMINEN, S. (eds.)

1990 *Food Additives*. New York, Marcel Dekker Inc.

BUCHTA, K.

1983 Lactic acid. In: *Biotechnology*. (eds. Rehm, H. J., Reed, G.), Vol. 3. Weinheim, Verlag Chemie, p. 409.

FURIA, T. E. (ed.)

1972 *Handbook of food additives*. 2<sup>nd</sup> edn., Cleveland, Ohio, CRC Press

- GOULD, G. W. (ed.)  
1989 *Mechanisms of action of food preservation procedures*.  
London, Elsevier Applied Science
- RÖHR, M.–KUBICEK, C. P.–KOMINEK, J.  
1983 Citric acid. In: *Biotechnology*. (eds. Rehm, H. J., Reed, G.) Vol.  
3., Weinheim, Verlag Chemie, p. 419.  
1983 Gluconic acid. In: *Biotechnology*. (eds. Rehm, H. J., Reed, G.)  
Vol. 3., Weinheim, Verlag Chemie, p. 455.
- SCHWALL, H.  
1979 Milchsäure. In: *Ullmanns Encyclopädie der technischen  
Chemie*. 4. ed., vol. 17., Weinheim, Verlag Chemie, p. 1.
- SHALLENBERGER, R. S.–ACREE, T. E.  
1971 Chemical structure of compounds and their sweet and bitter  
taste. In: *Handbook of sensory physiology*. Vol IV. Part 2 (ed.  
Beidler, L. M.), Berlin, Springer-Verlag, p. 221.
- TINTI, J. M.–NOFRE, C.  
1991 Desing of sweeteners: A rational approach. *ACS Symposium  
Series 450*, p. 88.
- WALTERS, D. E.–ORTHOEFER, F. T.–DUBOIS, G. E. (eds.)  
1991 Sweeteners–Discovery, Molecular Design and  
Chemoreception. *ACS Symposium Series 450*, Washington, D.C.,  
American Chemical Society

## 9. fejezet

- BENDER, M. L.–BERGERON, R. J.–KOMIYAMA, M.  
1984 *The bioorganic chemistry of enzymatic catalysis*. New York,  
John Wiley and Sons
- BERGMEYER, H. U.–BERGMEYER, J.–GRASSL, M.  
1983 *Methods of enzymatic analysis*. 3<sup>rd</sup> edn., Vol 1. Weinheim,  
Verlag Chemie
- BERGMEYER, H. U.–GAWEHN, K.  
1977 *Grundlagen der enzymatischen Analyse*. Weinheim, Verlag  
Chemie
- BETZ, A.  
1974 *Enzyme*. Weinheim, Verlag Chemie
- BIRCH, G. G.–BLAKEBROUGH, N.–PARKER, K. J.  
1981 *Enzyme and food processing*. London, Applied Science Publ.

ERIKSSON, C. E.

1974 Enzymic and non-enzymic lipid degradation in foods. In: *Industrial aspects of biochemistry*. (ed. Spencer, B.), Federation of European Biochemical Societies, Vol. 30, Amsterdam, North Holland/American Elsevier, p. 865.

FENNEMA, O.

1975 Activity of enzymes in partially frozen aqueous systems. In: *Water relations of foods*. (ed. Duckworth, R. B.), London–New York–San Francisco, Academic Press, p. 397.

GRAY, C. J.

1971 *Enzyme-catalysed reactions*. London, Van Nostrand Reinhold Comp.

INTERNATIONAL UNION OF BIOCHEMISTRY  
AND MOLECULAR BIOLOGY

1992 *Enzyme nomenclature 1992*. New York–San Francisco–London, Academic Press

KILARA, A.–SHAHANI, K. A.

1979 The use of immobilized enzymes in the food industry: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nitr.* 12. p. 161.

KOSHLAND, D. E.

1964 Conformation changes at the active site during enzyme action. *Fed. Proc.* 23. p. 719.

KOSHLAND, D. E.–NEET, K. E.

1968 The catalytic and regulatory properties of proteins. *Ann. Rev. Biochem.* 37. p. 359.

LEHNINGER, A. L.

1977 *Biochemie*. Weinheim, Verlag Chemie

MATHEIS, G.

1989 Polyphenoloxidase and enzymatic browning of potatoes (*Solanum*). *Chem. Microbiol. Technol. Lebensm.* 12. p. 86.

PALMER, T.

1985 *Understanding enzymes*. 2<sup>nd</sup> edn., Chichester, Ellis Horwood Publ.

POTTHAST, K.–HAMM, R.–ACKER, L.

1975 Enzymic reactions in low moisture foods. In: *Water relations of foods*. (ed. Duckworth, R. B.), London–New York–San Francisco, Academic Press, p. 365.

REED, G.

1975 *Enzymes in food processing*. 2<sup>nd</sup> edn., London–New York–San Francisco, Academic Press

RICHARDSON, T.

1977 Enzymes. In: *Principles of food science* Part I. (ed. Fennema, O. R.), New York–Basel, Marcel Dekker, Inc.

SCHELLENBERGER, A. (ed.)

1989 *Enzymkatalyse*. Berlin, Springer-Verlag

SCRIMGEOUR, K. G.

1977 *Chemistry and control of enzyme reactions*. London–New York, Academic Press

SHOTTON, D.

1971 The molecular architecture of the serine proteinases. In: *Proceedings of the international research conference on proteinase inhibitors*. (eds. Fritz, H., Tschesche, H.), Berlin–New York, Walter de Gruyter, p. 47.

SUCKLING, C. J. (ed.)

1984 *Enzyme chemistry*. London, Chapman and Hall

SVENSSON, S.

1977 Inactivation of enzymes during thermal processing. In: *Physical, chemical and biological changes in food caused by thermal processing*. (eds. Hoyem, T., Kvalle, O.), London, Applied Science Publ., p. 202.

SZABOLCSI G.

1990 *Enzimes analízis*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1–465.

WHITAKER, J. R.

1972 *Principles of enzymology for the food sciences*. New York, Marcel Dekker, Inc.

WHITAKER, J. R.–SONNET, P. E. (eds.)

1989 Biocatalysis in Agricultural Biotechnology. *ACS Symp. Ser.* 389., Washington, D.C., American Chemical Society

## 10. fejezet

BIRCH, G. G.–PARKER, K. J. (eds.)

1982 *Nutritive sweeteners*. London, Applied Science Publ.



- BRUSSEL, L. B. P.–PEER, H. G.–van der HEIJDEN, A.  
1975 Structure-taste relationship of some sweet-tasting dipeptide esters. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 159. p. 337.
- COMPADRE, C. M.–PEZZUTO, J. M.–KINGHORN, A. D.  
1985 Hernandulcin: an intensely sweet compound discovered by review of ancient literature. *Science* 227. p. 417.
- GLOWAKY, R. C.–HENDRICK, M. E.–SMILES, R. E.–TORRES, A.  
1991 Development and uses of Alitame: A novel dipeptide amide sweetener. *ACS Symposium Series* 450. p. 57.
- GROSCHE, W.  
1982 Lipid degradation product and flavours. In: *Food flavours*. (eds. Morton, I. D., MacLeod, A. J.), Part A, Amsterdam, Elsevier Scientific Publ. Co., p. 325.
- HUDSON, B. J. F. (ed.)  
1990 *Food antioxidations*. London, Elsevier Applied Science
- JENNER, M. R.  
1991 Sucralose: How to make sugar sweeter. *ACS Symposium Series* 450. p. 68.
- KIER, L. B.  
1972 A molecular theory of sweet taste. *J. Pharm. Sci.* 61. p. 1394.
- KIM, S. H.–KANG, C. H.–CHO, J. M.  
1991 Sweet proteins: Biochemical studies and genetic engineering. *ACS Symposium Series* 450. p. 28.
- MEIJBOOM, P. W.–JONGENOTTER, G. A.  
1981 Flavor perceptibility of straight chain, unsaturated aldehydes as a function of double-bond position and geometry. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 680.
- MIN, D. B.–SMOUSE, T. H. (eds.)  
1989 *Flavor chemistry of lipid foods*. Champaign, American Oil Chemists' Society
- OHLOFF, G.  
1978 Recent developments in the field of naturally-occurring aroma components. *Fortschr. Chem. Org. Naturst.* 35. p. 431.
- SALUNKE, D. K.–McLAUGHLIN, R. L.–DAY, S. L.–MERKLEY, M. B.  
1963 Preparation and quality evaluation of processed fruits and fruit products with sucrose and synthetic sweeteners. *Food Technol.* 17. p. 203.

SHERWIN, E. R.

1978 Oxidation and antioxidants in fat and oil processing. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 55. p. 809.

SLOWER, H. L.

1971 Tocopherols in foods and fats. *Lipids*. 6. p. 291.

## 11. fejezet

BALLSCHMITER, K.

1991 Chemie und Vorkommen der halogenierten Dioxine und Furane. *Nachr. Chem. Tech. Lab.* 39. p. 988.

CIKRYT, P.

1991 Die Gefährdung der Menschen durch Dioxine und verwandte Verbindungen. *Nachr. Chem. Tec. Lab.* 39. p. 648.

EISENBRAND, G.

1981 *N-Nitrosoverbindungen in Nahrung und Umwelt*. Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH

GROSSKLAUS, D. (ed.)

1989 *Rückstände in von Tieren stammenden Lebensmitteln*. Berlin, Verlag Paul Parey

HASSALL, K. A.

1982 *The chemistry of pesticides*. Weinheim, Verlag Chemie

HATHWAY, D. E.

1984 *Molecular aspects of toxicology*. London, The Royal Society of Chemistry, Burlington House

HEYNS, K.

1980 Über die endogene Nitrosamin-Entstehung beim Menschen. *Landwirtschaftliche Forschung*, Sonderheft 36. S. 145, Kongreßband 1979 Gießen, J. D. Frankfurt/Main, Sauerländer Verlag

LINDNER, E.

1979 *Toxikologie der Nahrungsmittel*. 2. ed., Stuttgart, Georg Thieme Verlag

MACHOLZ, R.–LEWERENZ, H.

1989 *Lebensmitteltoxikologie*. Berlin, Springer-Verlag

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (USA)

1987 *Regulating Pesticides in Food*. Washington, D.C., National Academy Press

## 12. fejezet

BELITZ, H. D.–GROSCH, W.

1999 *Food Chemistry*. Berlin, Springer Verlag

ENSMINGER, M. E.–ENSMINGER, A. H.–

KONLANDE, J. E.–ROBSON, J. R. K.

1995 *The concise encyclopedia of foods & nutrition*. New York, CPC Press

GASZTONYI K.–LÁSZTITY R. (szerk.)

1992 *Élelmiszer-kémia 1. és 2.* Budapest, Mezőgazda

VARSÁNYI, I.

1985 *Élelmiszeripari csomagolóstechnika*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó

## 13. fejezet

GRIFFIN, W. C.–LYNCH, M. J.

1972 Surface actives agents. In: *Handbook of food additives*. 2<sup>nd</sup> edn. (ed. Furia, T. E.), Cleveland, Ohio, CRC Press, p. 397.

HERBERT, R. A.

1989 Microbial growth at low temperatures. In: *Mechanism of action of food preservation procedures*. (ed. Gould, G. W.), London, Elsevier Applied Science, p. 71.

## GYAKRABBAN ELŐFORDULÓ RÖVIDÍTÉSEK

---

### A

**A** adenin

**Ac-** acetil

**AcCoA** acetil-koenzim A

**ACP** acilhordozó fehérje (acyl carrier protein)

**ACTH** adrenokortikotrop hormon

**ADH** alkoholdehidrogenáz

**adoHcy** S-adenozil-homocisztein

**adoMet** S-adenozil-metionin

**ADP** adenzin-difoszfát

**Ala** alanin

**AMP** adenzin-monofoszfát

**Arg** arginin

**Asn** aszparagin

**Asp** aszpartát

**Asx** aszparagin vagy aszpartát

**ATP** adenzin-trifoszfát

**ATPáz** adenzin-trifoszfátáz

### B

**BHT** butil-hidroxi-toluol

**BHA** butil-hidroxi-anizol

**B<sub>12</sub>** B<sub>12</sub>-koenzim, kobalamin

**1,3-BPG** 1,3 difoszfoglicerát

### C

**C** citozin

**cAMP** ciklikus AMP  
(adenozin-3',5'-ciklikus monofoszfát)

**cDNS** komplementer DNS

**CS** kémiai érték (chemical score)

**CDP** citidin-difoszfát

**CoA** koenzim A**CoQ** koenzim Q (ubikinon)**CMP** citidin-monofoszfát**CTP** citidin-trifoszfát**Cys** cisztein**D****D** 2'-dezoxiribo-**DDT** diklór-difenil-triklór-etán**DG** diacil-glicerol**DEAE** dietil-aminoetil**DHA** dehidroalanin**DHAP** dihidroxiaceton-foszfát**DHF** dihidrofolát**DMS** dimetil-szulfát**DMBA** 7,12-dimetil-  
benz(a)antracén**DNFB** 1-fluor-2,4-dinitrobenzol**DNS** dezoxiribonukleinsav**DNP** dinitro-fenil- (dinitro-fenol)**DOPA** dihidroxi-fenilalanin**DPG** 2,3-difoszfo-glicerát**DTBNB** 5,5'-ditio-bis-(2-nitro-  
benzoesav)**E****EAA** esszenciális aminosav  
index**EDTA** etilén-diamin-tetraecetsav**F****FAD, FADH<sub>2</sub>**  
flavin-adenin-dinukleotid  
oxidált, illetve redukált  
alakja**FBPáz-1** fruktóz-1,6-difoszfátáz**FBPáz-2** fruktóz-2,6-difoszfátáz**FH<sub>4</sub>** tetrahidrofolát**fMet** N-formil-metionin**FMN, FMNH<sub>2</sub>**  
flavin-mononukleotid  
oxidált, illetve redukált  
alakja**FP** flavoprotein**F1P** fruktóz-1-foszfát**F6P** fruktóz-6-foszfát**Fru** D-fruktóz

|  |  |
|--|--|
| <b>G</b>   |  |
| <b>G</b> guanin                                    | <b>GPT</b> glutaminsav-piroszőlősav-<br>-transzamináz            |
| <b>GABA</b> $\gamma$ -amino-vajsav                 | <b>GSH, GSSG</b> glutation és oxidált<br>formája                 |
| <b>Gal</b> D-galaktóz                              | <b>GTP</b> guanozin-trifoszfát                                   |
| <b>GalN</b> D-galaktózamin                         | <b>G1P</b> glükóz-1-foszfát                                      |
| <b>GalNAc</b> N-acetil-D-galaktózamin              | <b>G3P</b> gliceraldehid-3-foszfát                               |
| <b>GAP</b> gliceraldehid-3-foszfát                 | <b>G6P</b> glükóz-6-foszfát                                      |
| <b>GDH</b> glutamát-dehidrogenáz                   |  |
| <b>GDP</b> guanozin-difoszfát                      |  |
| <b>GH</b> növekedési hormon                        |  |
| <b>GLC</b> gáz-folyadékkromatográfia               | <b>H</b>   |
| <b>Glc</b> D-glükóz                                | <b>Hb</b> hemoglobin<br>(dezoxihemoglobin)                       |
| <b>GlcN</b> D-glükózamin                           | <b>HCH</b> hexaklór-ciklohexán                                   |
| <b>GlcNAc</b> N-acetil-D-glükózamin                | <b>HbO<sub>2</sub></b> oxihemoglobin                             |
| <b>GlcUA</b> D-glükuronsav                         | <b>HDL</b> magas sűrűségű lipoprotein                            |
| <b>Gln</b> glutamin                                | <b>His</b> hisztidin   |
| <b>Glu</b> glutamát                                | <b>HMG-CoA</b> $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metil-<br>glutaril-CoA |
| <b>Gly</b> glicin                                  | <b>HPLC</b> nagy hatékonyságú<br>folyadékkromatográfia           |
| <b>Glx</b> glutamin vagy glutamát                  | <b>Hyp, Hy-Pro</b> hidroxiprolin                                 |
| <b>GMP</b> guanozin-monofoszfát                    |  |
| <b>cGMP</b> ciklikus GMP                           |  |
| <b>GOT</b> glutaminsav-oxálacetát-<br>transzamináz |  |

**I****I** inozin**IDP** inozin-difoszfát**IEC** ioncserés  
oszlopkromatográfia**Ig** immunglobulin**IgG** immunglobulin G**Ile** izoleucin**IMP** inozin-monofoszfát**ITP** inozin-trifoszfát**K** **$\alpha$ -KG**  $\alpha$ -ketoglutarát**KLS** konjugált linolsav**KLSM** konjugált linolsav  
metilészter**L****LAL** lizinoalanin**LDH** laktátdehidrogenáz**LDL** alacsony sűrűségű  
lipoprotein**Leu** leucin**LH** luteinizáló hormon**LSM** linolsav metilészter**Lys** lizin**M****Man** D-mannóz**Mb** mioglobin**MbO<sub>2</sub>** oximioglobin**Met** metionin**MSH** melanocita stimuláló  
hormon**mtDNS** mitochondriális DNS**Mur** muraminsav**N****NAD<sup>+</sup>, NADH** nikotinsavamid-  
adenin-dinukleotid  
oxidált, illetve redukált  
alakja**NADP<sup>+</sup>, NADPH**  
nikotinsavamid-adenin-  
dinukleotid-foszfát  
oxidált, illetve redukált  
alakja**NAG** N-acetil-glükózamin**NAM** N-acetil-muraminsav**NeuNAc** N-acetil-neuraminsav

**NMN<sup>+</sup>, NMNH** nikotinsavamid-mononukleotid és redukált formája

**NMP, NDP, NTP**  
nukleozid-mono-, di- és trifoszfát

**NPN** nem fehérje nitrogén

**NPU** nettó fehérjehasználás

**NPR** nettó fehérjearány

## O

**OAA** oxálacetát

**ODC** ornitindekarboxiláz

## P

**PAB, PABA** p-amino-benzoésav

**PAGE** poliakrilamid-gélelektroforézis

**PAH** policiklikus aromás szénhidrogének

**PC** plasztocianin vagy foszfatidil-kolin

**PE** foszfatidil-etanol-amin

**PEP** foszfoenolpiruvát

**PER** fehérjehatékonysági hányados

**PFK** foszfofruktokináz

**PG** prosztaglandin

**2PG** 2-foszfoglicerát

**3PG** 3-foszfoglicerát

**Phe** fenil-alanin

**PI** foszfatidil-inozitol

**PIP<sub>2</sub>** foszfoinozitol-difoszfát

**P<sub>i</sub>** inorganikus foszfát

**PP<sub>i</sub>** inorganikus pirofoszfát

**PK** proteinkináz vagy piruvátkináz

**PKU** fenilketonurea

**PLP** piridoxál-5-foszfát

**Pn** foszfoantetein

**Pol** polimeráz

**PQ** plasztokinon

**Pro** prolin

**PRPP** foszforibozil-pirofoszfát

## R

**Rib** D-ribóz

**RNáz** ribonukleáz

**RNS** ribonukleinsav

**RNU** relatív fehérjehasználás

**mRNS** messenger ribonukleinsav



**rRNS** riboszomális  
ribonukleinsav  
**tRNS** transzfer ribonukleinsav

**S**

**SAM** S-adenozil-metionin  
**SDS** nátrium-dodecil-szulfát  
**Ser** szerin  
**SMM** S-metil-metionin-  
-szulfonium-klorid  
**SRNS** oldható RNS  
**SnRNS** kis molekulájú RNS

**T**

**T** timin  
**THF** tetrahydrofolsav  
**Thr** treonin  
**TIM** trióz-foszfát-izomeráz  
**TMP, TDP, TTP**  
timidin-5'-mono-, di-,  
trifoszfát

**TPP** tiamin-pirofoszfát  
**Trp** triptofán  
**Tyr** tirozin

**U**

**U** uracil  
**UDP** uridin-difoszfát  
**UDP-Gal**  
uridin-difoszfát-galaktóz  
**UDP-Glc** uridin-difoszfát-glükóz  
**UMP** uridin-monofoszfát  
**UQ** koenzim Q, ubikinon  
**UTP** uridin-trifoszfát  
**UV** ultraibolya

**V**

**Val** valin  
**VLDL** nagyon alacsony sűrűségű  
lipoprotein

**A SAPIENTIA –  
ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM JEGYZETEI**

---

**Megjelent:**

BEGE ANTAL

Számelméleti feladatgyűjtemény. Marosvásárhely, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Matematika-Informatika Tanszék. 2002.

BEGE ANTAL

Számelmélet. Bevezetés a számelméletbe. Marosvásárhely, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Matematika-Informatika Tanszék. 2002.

VOFKORI LÁSZLÓ

Gazdasági földrajz. Csíkszereda, Csíkszeredai Kar, Gazdaságtan Tanszék. 2002.

TÓKÉS BÉLA–DÓNÁTH-NAGY GABRIELLA

Kémiai előadások és laboratóriumi gyakorlatok. Marosvásárhely, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék. 2002.

IRIMIAȘ, GEORGE

Noțiuni de fonetică și fonologie. Csíkszereda, Csíkszeredai Kar, Humán Tudományok Tanszék. 2002.

SZILÁGYI JÓZSEF

Mezőgazdasági termékek áruismerete. Csíkszereda, Csíkszeredai Kar, Gazdaságtan Tanszék. 2002.

NAGY IMOLA KATALIN

A Practical Course in English. Marosvásárhely, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Humán Tudományok Tanszék. 2002.

BALÁZS LAJOS

Folclor. Noțiuni generale de folclor și poetică populară. Csíkszereda, Csíkszeredai Kar, Humán Tudományok Tanszék. 2003

POPA-MÜLLER IZOLDA

Műszaki rajz. Marosvásárhely, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék. 2004.

FODORPATAKI LÁSZLÓ–SZIGYÁRTÓ LÍDIA–BARTHA CSABA

Növénytani ismeretek. Kolozsvár, Természettudományi és Művészeti Kar, Környezettudományi Tanszék. 2004.

MARCUȘ ANDREI–SZÁNTÓ CSABA–TÓTH LÁSZLÓ

Logika és halmazelmélet. Marosvásárhely, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Matematika-Informatika Tanszék. 2004.

KAKUCS ANDRÁS

Műszaki hőtan. Marosvásárhely, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék. 2004.

BIRÓ BÉLA

Drámaelmélet. Csíkszereda, Gazdasági és Humántudományi Kar, Humántudományi Tanszék. 2004.

BIRÓ BÉLA

Narratológia. Csíkszereda, Gazdasági és Humántudományi Kar, Humántudományi Tanszék. 2004.

MÁRKOS ZOLTÁN

Anyagtechnológia. Marosvásárhely. Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék. 2004.

GRECU VICTOR

Istoria limbii române (Vol. I.) Csíkszereda, Gazdasági és Humántudományi Kar, Humántudományi Tanszék. 2004.

CSAPÓ JÁNOS

Biokémia. Csíkszereda, Műszaki és Társadalomtudományi Kar, Műszaki és Természettudományi Tanszék. 2004.

### **Előkészületben:**

KÁTAI ZOLTÁN

Programozás C nyelven. Sapientia. Marosvásárhely, Műszaki és Humántudományok Kar, Matematika-Informatika Tanszék.

SZILÁGYI JÓZSEF

Mechanika és szilárdságtan. Csíkszereda, Műszaki és Társadalomtudományi Kar, Műszaki- és Természettudományi Tanszék.

VARGA IBOLYA

Adatbázis-kezelő rendszerek elméleti alapjai. Marosvásárhely,  
Műszaki és Humántudományok Kar, Matematika-Informatika  
Tanszék

GYÖRFI JENŐ

A matematikai analízis elemei. Csíkszereda, Gazdasági és  
Humántudományi Kar, Matematika-Informatika Tanszék

FÜLÖP ÁRPÁD ZOLTÁN

Könyvvitel. Csíkszereda, Gazdasági és Humántudományi Kar,  
Üzleti Tudományok Tanszék

## A PARTIUMI KERESZTÉNY EGYETEM JEGYZETEI

---

### **Megjelent:**

KOVÁCS ADALBERT

Alkalmazott matematika a közgazdaságban. Lineáris  
algebra. Nagyvárad, Alkalmazott Tudományok Kar,  
Közgazdaságtan Tanszék. 2002.

HORVÁTH GIZELLA

A vitatechnika alapjai. Nagyvárad, Bölcsészettudományi Kar,  
Filozófia Tanszék. 2002.

ANGI ISTVÁN

Zeneesztétikai előadások. Nagyvárad, Alkalmazott  
Tudományok Kar, Zenepedagógiai Tanszék. 2003.

PÉTER GYÖRGY–KINTER TÜNDE–PAJZOS CSABA

Makroökonómia. Feladatok. Nagyvárad, Alkalmazott  
Tudományok és Művészetek Kar, Közgazdaságtan Tanszék.  
2003.

### **Előkészületben:**

ANGI ISTVÁN

Zeneesztétikai előadások. II. Partiumi Keresztény Egyetem,  
Alkalmazott Tudományok Kar, Zenepedagógiai Tanszék

**Scientia Kiadó**

400112 Kolozsvár (Cluj-Napoca)  
Mátyás király (Matei Corvin) u. 4. sz.  
Tel./fax: +40-264-593694  
E-mail: kpi@kpi.sapientia.ro

**Korrektúra:**

Sztranyiczki Mihály

**Műszaki szerkesztés:**

Lineart kft.

**Tipográfia:**

Könczey Elemér

**Készült a T3 Kiadó nyomdájában**

150 példányban, 30 nyomdai ív terjedelemben  
520085 Sepsiszentgyörgy (Sf. Gheorghe)  
Sport u. 8/A., tel.: +40-267-351684  
Felelős vezető: Bács Attila