



GYÖRGY ÉVA

ÁLTALÁNOS MIKROBIOLÓGIA

GYÖRGY ÉVA

ÁLTALÁNOS MIKROBIOLÓGIA



SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM
CSÍKSZEREDAI KAR
ÉLELMISZERTUDOMÁNYI TANSZÉK

ÁLTALÁNOS MIKROBIOLÓGIA

GYÖRGY ÉVA

| Scientia Kiadó |
| Kolozsvár ■ 2021 |

Felelős kiadó:

Dr. Sorbán Angella

Lektor:

Lőrinczi Lilla Katalin (Budapest)

Borítóterv:

Tipotéka Kft.

Kiadói koordinátor:

Szabó Beáta

A szakmai felelősséget teljes mértékben a szerkesztők, illetve a szerzők vállalják.

Második átdolgozott, bővített kiadás.

Első magyar nyelvű kiadás: 2009

© Scientia 2021

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás, a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

GYÖRGY, ÉVA

Általános mikrobiológia / György Éva. - Cluj-Napoca : Scientia, 2021

Conține bibliografie

ISBN 978-606-975-048-3

TARTALOM

Előszó	17
1. Bevezetés	19
1.1. A mikrobiológia tárgya	19
1.2. Történeti áttekintés	20
2. Bakteriológia	29
2.1. A baktériumok morfológiája	29
2.1.1. A baktériumok alakja	29
2.1.2. A baktériumok mérete	33
2.2. A baktériumsejt szerkezete	34
2.2.1. A maganyag	34
2.2.2. A riboszómák	36
2.2.3. Speciális prokarióta organelumok	37
2.2.4. Tápanyagok felhalmozása a citoplazmában	39
2.2.5. A citoplazmahártya	42
2.2.6. A sejtfal	44
2.2.7. A baktériumtok	50
2.2.7.1. A tok biológiai szerepe	52
2.2.8. A prokarióta sejt felszínének szerkezete	53
2.2.8.1. Csillók (flagellumok)	53
2.2.9. Pílusok és fimbriák	55
2.3. A baktériumok spóráképzése	57
2.3.1. Az endospóra szerkezete	58
2.3.2. Az endospóráképzés mechanizmusa	59
2.3.3. A spórák ellenálló képessége	59
2.3.4. A spórák élettani tevékenysége	61
2.3.5. Az endospóra csírázása	61
2.3.6. A spóráképzés biológiai jelentősége	61
2.4. A baktériumok táplálkozása	62
2.4.1. Fotolitoautotróf baktériumok	63
2.4.2. Fotoorganoautotróf baktériumok	65
2.4.3. Fotoorganoheterotróf baktériumok	65
2.4.4. Kemotróf-kemoszintetizáló baktériumok	65
2.4.4.1. Kemolitoautotróf baktériumok	65
2.4.4.2. Kemoorganoautotróf baktériumok	68
2.4.4.3. Kemolithoheterotróf baktériumok	68
2.4.4.4. Kemoorganoheterotróf baktériumok	68
2.4.5. A baktériumok tápanyagigénye	69

2.5. Növekedési tényezők	70
2.6. A baktériumok légzése	71
2.7. A baktériumok szaporodása	74
2.7.1. A baktériumok szaporodásának dinamikája	75
2.8. A baktériumok tenyésztése	76
2.9. A környezeti tényezők hatása a baktériumokra	79
2.9.1. A fizikai tényezők hatása a baktériumokra	79
2.9.1.1. A hőmérséklet	79
2.9.1.2. A víztartalom	82
2.9.1.3. Ozmotikus nyomás	82
2.9.1.4. Mechanikai hatások	83
2.9.1.5. A sugárzások	84
2.9.2. A kémiai tényezők hatása a baktériumokra	85
2.9.3. A biológiai tényezők hatása a baktériumokra	89
2.10. A baktériumok genetikája	91
2.10.1. Genetikai anyag átvitele baktériumok között	92
2.10.1.1. A transzformáció	92
2.10.1.2. Transzdukció	93
2.10.1.3. A konjugáció	93
2.10.2. Mobilis genetikai elemek	94
3. A prokarióták változatossága	95
3.1. A prokarióták rendszerezésének alapelvei	95
3.2. Ősbaktériumok – Archaeobacteria	98
3.2.1. Metántermelő (metanogén) ősbaktériumok	98
3.2.2. Őskénbaktériumok	99
3.2.3. Halofil ősbaktériumok	100
3.2.4. Sejtfal nélküli ősbaktériumok	100
3.3. Valódi baktériumok – Bacteria	101
3.3.1. Gram-negatív baktériumok	101
3.3.1.1. Gram-negatív, nem fotoszintetizáló baktériumok	101
3.3.1.2. Gram-negatív fotoszintetizáló, oxigént nem termelő baktériumok	114
3.3.1.3. Gram-negatív fotoszintetizáló, oxigént termelő baktériumok	115
3.3.2. Gram-pozitív baktériumok	115
3.3.2.1. Gram-pozitív coccusok és pálcák	115
3.3.2.2. Gram-pozitív, elágazó, fonalas növekedésű baktériumok	120
3.3.3. Sejtfal nélküli baktériumok	125
3.4. Az emberi test normál mikrobiótája	125
3.4.1. A bőr normál mikrobiótája	126
3.4.2. A légutak mikrobiótája	127
3.4.3. A szájüreg normál mikrobiótája	128
3.4.4. A gyomor és vékonybél biótája	129

3.4.5. A vastagbél normál biótája	129
3.4.6. A húgyutak normál mikrobiótája	130
4. Vírustan	131
4.1. A vírusok kutatásának gyakorlati és elméleti jelentősége	131
4.2. A vírusok alapvető tulajdonságai.	132
4.3. A vírusok megjelenési formái	132
4.4. A vírust meghatározó kritériumok.	132
4.5. A vírusok eredete	133
4.6. A virion alkotóelemei.	133
4.7. A vírusok csoportosítása szerkezetük és szimmetriaviszonyuk alapján	134
4.8. A virionok molekuláris felépítése	135
4.9. A vírusok tenyésztése.	136
4.9.1. Állati vírusok szaporítása	137
4.9.2. Növényi vírusok tenyésztése	137
4.9.3. A bakteriofágok tenyésztése	137
4.10. A vírusok szaporodása (vírusreplikáció)	138
4.11. Vírusinterferencia.	140
4.12. A vírusok genetikája.	141
4.12.1. Mutáció	141
4.12.2. Rekombináció	142
4.12.3. Fenotípusos és genotípusos keveredés	142
4.12.4. Komplementáció és interdependencia	143
4.13. A környezeti tényezők hatása a vírusokra.	143
4.14. A vírusok tropizmusa.	144
4.15. A vírusok okozta kóros elváltozások	144
4.16. Bakteriofágok	145
4.17. A vírusok elnevezése és rendszerezése	146
4.17.1. DNS-tartalmú víruscsaládok.	146
4.17.1.1. Adenovírusok.	146
4.17.1.2. Herpeszvírusok	146
4.17.1.3. Parvovírusok.	147
4.17.1.3. Poxvírusok	147
4.17.2. RNS-tartalmú víruscsaládok.	147
4.17.2.1. Coronavírusok	147
4.17.2.2. Orthomyxovírusok	147
4.17.2.3. Picornavírusok	147
4.17.2.4. Retrovírusok.	147
4.17.2.5. HIV (Human Immundeficiency Virus)	148
4.17.2.6. Rhabdovírusok	148
4.18. Szubvirális ágensek	148
4.18.1. Viroidok	148

5. Eukarióta mikroorganizmusok	153
5.1. A gombák	155
5.1.1. Élesztőgombák.	156
5.1.2. Fonalasgombák	158
5.2. Az algák (moszatok)	161
5.2.1. A zöldalgák (Chlorophyta)	162
5.2.2. A barnamoszatok (Phaeophyta)	164
5.2.3. A vörösmoszatok (Rhodophyta)	164
5.2.4. A kovamoszatok (Bacillariophyta)	165
5.3. Protozoonok	166
6. A mikroorganizmusok patogenitása	171
6.1. A baktériumok patogenitása	172
6.1.1. Humán- és állatpatogén baktériumok.	172
6.1.2. Növénypatogén baktériumok	173
6.2. A gombák patogenitása	174
6.2.1. Humánpatogén gombák	174
6.2.2. Növénykórokozó gombák	175
SZAKIRODALOM	177
REZUMAT	182
ABSTRACT	183
A SZERZŐRŐL	184

CUPRINS

Prefață	17
1. Introducere	19
1.1. Obiectul de studiu al microbiologiei	19
1.2. Istoria microbiologiei	20
2. Bacteriologie	29
2.1. Morfologia bacteriilor	29
2.1.1. Forma bacteriilor	29
2.1.2. Dimensiunile bacteriilor	33
2.2. Structura celulei bacteriene	34
2.2.1. Genomul bacterian	34
2.2.2. Ribozomii	36
2.2.3. Organite celulare speciale procariotelor	37
2.2.4. Acumularea substanțelor nutritive în citoplasmă	39
2.2.5. Membrana celulară	42
2.2.6. Peretele celular	44
2.2.7. Capsula	50
2.2.8. Structura suprafeței celulei procariote. Flagelii	53
2.2.9. Pili și fimbriile	55
2.3. Formarea sporilor la bacterii	57
2.3.1. Structura endosporei.	58
2.3.2. Mecanismul formării endosporei	59
2.3.3. Rezistența sporilor.	59
2.3.4. Activitatea fiziologică a sporilor.	61
2.3.5. Germinarea endosporului.	61
2.3.6. Importanța biologică a formării sporilor	61
2.4. Nutriția bacteriilor	62
2.4.1. Bacterii fotolitoautotrofe.	63
2.4.2. Bacterii fotoorganoautotrofe	65
2.4.3. Bacterii fotoorganoheterotrofe	65
2.4.4. Bacterii chemotrofe – chemosintetizante	65
2.4.5. Necesitățile nutritive ale bacteriilor	69
2.5. Factori de creștere	70
2.6. Respirația bacteriilor	71
2.7. Multiplicarea bacteriilor	74
2.7.1. Dinamica multiplicării bacteriilor	75
2.8. Cultivarea bacteriilor	76
2.9. Efectul factorilor de mediu asupra bacteriilor	79

2.9.1. Efectul factorilor fizice asupra bacteriilor	79
2.9.2. Efectul factorilor chimice asupra bacteriilor	85
2.9.3. Efectul factorilor biologice asupra bacteriilor	89
2.10. Genetica bacteriilor	91
2.10.1. Transferul substanței genetice între bacterii	92
2.10.2. Elemente genetice mobile	94
3. Diversitatea procariotelor	95
3.1. Bazele taxonomiei procariotelor	95
3.2. Archaea	98
3.2.1. Arhebacterii metanogene	98
3.2.2. Arhebacterii sulfuroase	99
3.2.3. Arhebacterii halofile	100
3.24. Arhebacterii fără perete celular	100
3.3. Bacteria	101
3.3.1. Bacterii Gram-negative	101
3.3.2. Bacterii Gram-pozitive	115
3.3.3. Bacterii fără perete celular	125
3.4. Microbiota normală a corpului uman	125
3.4.1. Microbiota pielii	126
3.4.2. Microbiota căilor respiratorii	127
3.4.3. Microbiota cavității bucale	128
3.4.4. Microbiota stomacului și a intestinului subțire	129
3.4.5. Microbiota intestinului gros	129
3.4.6. Microbiota căilor urinare	130
4. Virusologie	131
4.1. Importanța practică și teoretică a cercetării virusurilor	131
4.2. Proprietățile de bază a virusurilor	132
4.3. Formele de apariție a virusurilor	132
4.4. Criteriile de determinare a virusurilor	132
4.5. Originea virusurilor	133
4.6. Părțile componente ale virionului	133
4.7. Clasificarea virusurilor în funcție de structură și simetrie	134
4.8. Compoziția moleculară a virionului	135
4.9. Cultivarea virusurilor	136
4.9.1. Cultivarea virusurilor zoopatogene	137
4.9.2. Cultivarea virusurilor fitopatogene	137
4.9.3. Cultivarea bacteriofagilor	137
4.10. Replicarea virusurilor	138
4.11. Interferența virală	140
4.12. Genetica virusurilor	141
4.12.1. Mutațiile	141

4.12.2. Recombinarea	142
4.12.3. Amestecarea fenotipică și genotipică	142
4.12.4. Complementație și interdependență	143
4.13. Efectul factorilor de mediu asupra virusurilor	143
4.14. Tropismul viral	144
4.15. Modificări patologice determinate de virusuri	144
4.16. Bacteriofagii	145
4.17. Nomenclatura și taxonomia virusurilor	146
4.17.1. Familii de virusuri cu conținut de ADN	146
4.17.2. Familii de virusuri cu conținut de ARN	147
4.18. Agenții subvirali	148
4.18.1. Viroizii	148
4.18.2. Prionii	153
5. Microorganisme eucariote	155
5.1. Micromicete	156
5.1.1. Drojdii	158
5.1.2. Ciuperci filamentoase	161
5.2. Alge	162
5.2.1. Alge verzi (Chlorophyta).	164
5.2.2. Alge brune (Phaeophyta)	164
5.2.3. Alge roșii (Rhodophyta)	165
5.2.4. Diatomee (Bacillariophyta).	166
5.3. Protozoare	171
6. Patogenitatea microorganismelor	172
6.1. Patogenitatea bacteriilor	172
6.1.1. Bacterii uman- și zoopatogene	173
6.1.2. Bacterii fitopatogene	174
6.2. Patogenitatea fungilor	174
6.2.1. Fungi uman-patogene	175
6.2.2. Fungi fitopatogene	177
Bibliografie	182
Rezumat	183
Despre autor	184

CONTENTS

Foreword	17
1. Introduction	19
1.1. The subject of microbiology	19
1.2. Historical review	20
2. Bacteriology	29
2.1. The morphology of bacteria	29
2.1.1. The shape of bacteria	29
2.1.2. The size of bacteria	33
2.2. Bacterial cell structure	34
2.2.1. The nucleoid	34
2.2.2. Ribosomes	36
2.2.3. Special prokaryotic organelles	37
2.2.4. Nutrient accumulation in the cytoplasm	39
2.2.5. The cytoplasmic membrane	42
2.2.6. The cell wall	44
2.2.7. The capsule	50
2.2.8. The structure of the prokaryotic cell surface. Flagella	53
2.2.9. Pili and fimbriae	55
2.3. Bacterial sporulation	57
2.3.1. The structure of the endospore.	58
2.3.2. Mechanism of endospore formation.	59
2.3.3. Resistance of spores	59
2.3.4. Physiological activity of spores	61
2.3.5. Germination of the endospore	61
2.3.6. The biological importance of spore formation.	61
2.4. The nutrition of bacteria	62
2.4.1. Photolithoautotrophic bacteria	63
2.4.2. Photoorganoautotrophic bacteria	65
2.4.3. Photoorganoheterotrophic bacteria	65
2.4.5. Chemotrophic bacteria	65
2.4.6. Nutritional requirements of bacteria	69
2.5. Growth factors	70
2.6. The respiration of bacteria	71
2.7. The bacterial multiplication	74
2.7.1. Dynamics of bacterial multiplication	75
2.8. The cultivation of bacteria	76
2.9. The effect of environmental factors on bacteria	79

2.9.1. The effect of physical factors on bacteria	79
2.9.2. The effect of chemical factors on bacteria	85
2.9.3. The effect of biological factors on bacteria	89
2.10. Bacterial genetics	91
2.10.1. Transfer of genetic material between bacteria	92
2.10.2. Mobile genetic elements	94
3. Prokaryotic diversity	95
3.1. Principles of bacterial taxonomy	95
3.2. The Archaea	98
3.2.1. Methanogenic archaeobacteria	98
3.2.2. Sulfur archaeobacteria	99
3.2.3. Halophilic archaeobacteria	100
3.2.4. Without cell wall archaeobacteria	100
3.3. Bacteria	101
3.3.1. Gram-negative bacteria	101
3.3.2. Gram-positive bacteria	115
3.3.3. Bacteria without cell wall	125
3.4. The normal flora of the human body	125
3.4.1. Normal microbiota of the skin	126
3.4.2. The airways microbiota	127
3.4.3. Microbiota of the oral cavity	128
3.4.4. Microbiota of the stomach and small intestine	129
3.4.5. Normal biota of the colon	129
3.4.6. The normal microbiota of the urinary tract	130
4. Virology	131
4.1. Practical and theoretical importance of viral studies	131
4.2. The major characteristics of viruses	132
4.3. Forms of appearance of viruses	132
4.4. Determining criteria of viruses	132
4.5. The origin of viruses	133
4.6. Structural elements of the virion	133
4.7. Classification of viruses by structure and by their symmetry	134
4.8. Molecular composition of virions	135
4.9. Virus cultivation	136
4.9.1. Reproduction of animal viruses	137
4.9.2. Cultivation of plant viruses	137
4.9.3. Cultivation of bacteriophages	137
4.10. Virus replication	138
4.11. Virus interference	140
4.12. The genetics of viruses	141
4.12.1. Mutation	141

4.12.2. Recombination	142
4.12.3. Phenotypical and genotypical combinations	142
4.12.4. Complementation and interdependence	143
4.13. The effect of environmental factors on viruses	143
4.14. Viral tropism	144
4.15. Pathological alterations caused by viruses	144
4.16. Bacteriophages	145
4.17. Nomenclature of viruses and virus taxonomy	146
4.17.1. DNA-viruses	146
4.17.2. RNA-viruses	147
4.18. Subviral agents	148
4.18.1. Viroids	148
4.18.2. Prions	153
5. Eukaryote microorganisms	155
5.1. Fungi	156
5.1.1. Yeasts	158
5.1.2. Filamentous fungi	161
5.2. Algae	162
5.2.1. Green algae (Chlorophyta)	164
5.2.2. Brown algae (Phaeophyta)	164
5.2.3. Red algae (Rhodophyta)	165
5.2.4. Diatoms (Bacillariophyta)	166
5.3. Protozoa	171
6. Pathogenesis of microorganisms	172
6.1. Bacterial pathogenesis	172
6.1.1. Human and animal pathogenic bacteria	173
6.1.2. Plant pathogenic bacteria	174
6.2. Fungal pathogenesis	174
6.2.1. Human pathogenic fungi	175
6.2.2. Plant pathogenic fungi	177
References	182
Abstract	183
About the author	184

ELŐSZÓ

Az általános mikrobiológia egyetemi jegyzet alapozó mikrobiológiai ismereteket tartalmaz, melyek lehetővé teszik más mikrobiológia alapú szaktantárgyak (például élelmiszer-mikrobiológia, ipari mikrobiológia, biotechnológia) elsajátítását és jobb megértését.

A rövid történeti áttekintést követően, a bakteriológia fejezetben a jegyzet ismerteti a prokarióta mikroorganizmusok szerkezeti és élettani jellegzetességeit, a baktériumok életfolyamatait befolyásoló környezeti tényezőket, valamint a fő rendszertani csoportokat. Ezt követően a vírusok és az eukarióta mikroorganizmusok bemutatása következik, és végül a mikroorganizmusok patogenitásának elemzésével zárul.

A könyv ismeretanyagának összeállításakor elsőrendű cél volt a mikroorganizmusok világának, élettevékenységének és jelentőségének széles körű ismertetése és a jobb megértést lehetővé tevő tagolása, megelőlegezve a hallgatók tudományos kutatás iránti érdeklődésének felkeltését is.

Mivel a mikrobiológia a biológiai tudományok egyik leggyorsabban fejlődő területe, a jegyzet tartalma érdekes olvasmány lehet azok számára is, akiket lenyűgöz a mikroorganizmusok sokszínű világa.

A szerző köszönetet mond azoknak, akik tanácsaikkal és észrevételeikkel segítették a könyv megjelenését, elsősorban dr. Lőrinczi Lillának a lektori munkáért, az évek során kapott szakmai támogatásért.

Csíksszereda, 2021. március 14.

A szerző

1. BEVEZETÉS

1.1. A mikrobiológia tárgya

A mikrobiológia a mikroorganizmusok, a vírusok, a viroidok és a prionok tanulmányozásával foglalkozik. A tudományág elnevezése görög szavakból származik (mikros: 'kisméretű', bios: 'élet', logos: 'beszéd, szó, tudomány').

A mikroorganizmusok élőlények, sejtesszerű szerveződésűek, DNS-t és RNS-t tartalmaznak, van saját anyagcseréjük, és metabolikus enzimmal rendelkezők. A mikroorganizmusok csoportjába tartoznak a prokarióták (az eubaktériumok és az archebaktériumok), és az eukarióták csoportján belül a mikroszkopikus moszatok és gombák (élesztőgombák és penészgombák), valamint a véglények (protozoonok).

A mikroorganizmusok nagyfokú alkalmazkodóképességüknek köszönhetően minden életteret benépesítenek. Előfordulnak az emberi és az állati szervezetben, a növényeken, talajokban, vizekben, üledékekben, a levegőben. Különböző szélsőséges körülményekhez is alkalmazkodtak (mint például a halofil baktériumok, az óskénbaktériumok, a *Helicobacter pylori*). Egyes mikroorganizmusok obligát sejten belüli paraziták (például a rickettsiák, Chlamydiák, *Treponema pallidum*, *Mycobacterium leprae*). Kapcsolatunk a mikroorganizmusok világával összetett és dinamikus. Egyes kórokozó baktériumok, gombák, protozoonok megbetegedést okoznak, mások, mint a saját mikrobiotánknak a tagjai, segítenek az emésztésben és megvédenek a káros mikrobiális betolakodóktól. Egyes mikroorganizmusok az élelmiszerek romlását okozzák, mások a fermentáció által különböző élelmiszerek előállítására szempontjából fontosak.

A vírusok nem tekinthetők élőlényeknek, biológiai entitások (tárgyak), nincs sejtesszerű szerkezetük, vagy csak DNS-t, vagy csak RNS-t tartalmaznak, nincs saját anyagcseréjük, csak a gazdasejten belül képesek szaporodni.

A viroidok fertőző, szaporodásra képes RNS-molekulák, betegséget csak a növényeknek okoznak.

A prionok fertőző fehérjemolekulák, csak az állatokat vagy az embert betegítik meg, a beteg szervezetében ezek a fehérjemolekulák szaporodnak.

A mikrobiológia nagyon változatos ismeretanyagot felölelő terület. A tanulmányozott csoportok változatosságának megfelelően különböző ágazatokra tagolódik: bakteriológia, mikológia, protozoológia, algológia és virológia. Ugyanakkor, annak megfelelően, hogy a mikroorganizmusok milyen környezetben fordulnak elő, milyen hatással vannak az ember életére és a bioszférára, a mikrobák gyakorlati alkalmazása alapján megjelentek a mikrobiológia speciális és alkalmazott ágazatai: orvosi mikrobiológia, állatorvosi mikrobiológia, ipari és mezőgazdasági mikrobiológia (mikrobiális biotechnológiák), a talaj mikrobiológiája, geomikrobiológia, a víz mikrobiológiája, a levegő mikrobiológiája, élelmiszer-mikrobiológia, növénykórtani mikrobiológia és mások.

1.2. Történeti áttekintés

Az ember már ősidők óta együtt él a mikroorganizmusokkal, hasznosította tevékenységük eredményét, elszenvedte a kiváltott betegségeket és károkat anélkül, hogy létezésükről tudott volna. Az emberiség évezredek óta fogyaszt mikrobák tevékenysége során létrejött termékeket, mint amilyenek például a kenyér, a különböző tejtermékek, az alkoholtartalmú italok stb. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy őseink hogyan oldották meg egyes növényi és állati eredetű táplálékok eltarthatóságát (például a hús tartósítása szárítással vagy füstöléssel, a gyümölcsaszalás, különböző növényi termékek savanyítással való tartósítása).

Kezdetben a fertőző betegségeket – nem ismerve azok okát – nem tudták megkülönböztetni a mérgezésektől, innen ered például a vírus fogalom, ami mérget jelent. A korabeli gondolkodók közül voltak, akik miazmákról beszéltek, vagyis láthatatlan élőlényeknek tulajdonították a fertőzések eredetét. Egyesek szerint ezek a légutakon keresztül jutottak be a szervezetbe. Azt a tényt, hogy a fertőzés a levegővel terjedhet, a malária betegség neve örökítette meg, ami rossz levegőt jelent.

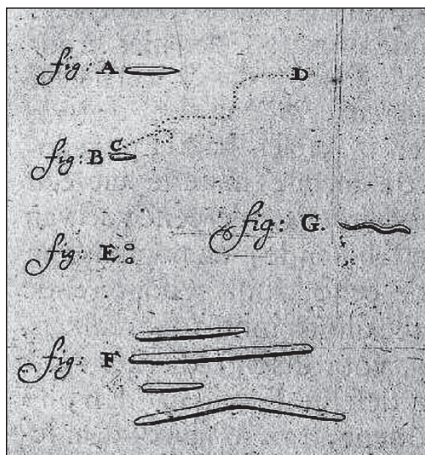
A 16. században **Girolamo Fracastoro** olasz orvos (1483–1553) a fertőzések eredetét szabad szemmel láthatatlan élőlényeknek tulajdonította, amelyek a levegővel vagy kontakt érintkezés útján terjednek.

A mikroorganizmusok tudatos megismerését a mikroszkóp felfedezése tette lehetővé. Mikrobákat elsőként **Antonie van Leeuwenhoek** (1632–1723) németalföldi amatőr biológus látott a maga készített lencserendszerével, amit a mai mikroszkópok őseként tartanak számon. 1673-ban megfigyeléseiről leveleket kezdett írni a londoni székhelyű Királyi Tudományos Társaságnak, amelyeket a tudományos egyesület meg is jelentetett. Az első mikrobiológusként tartják számon, a mikrobiológia atyjának is nevezik. Megfigyelt különböző alakú mikrobákat (baktériumokat és protozoonokat), leírta mozgásukat, felbecsülte nagyságukat is (1.1. ábra). Felfedezte, hogy a baktériumok magas hő hatására elpusztulnak.

A mikrobiológia fejlődését sajátos módon segítette az ősnemzés tanának (spontaneous generation) hirdetői és tagadói között dúló vita. A frissen készült gyümölcsle vagy húskivonat megzavarosodása és azok benépesülése mikroszkopikus lényekkel azt a látszatot keltette, mintha ősnemzéssel, helyben keletkeztek volna.

Lazzaro Spallanzani (1729–1799) mikroszkópos preparátumban megfigyelte, hogy a baktériumtömeg a táplevesben egy sejtből kiindulva jön létre (germ theory).

Carl Linné az 1735-ben megjelent *Systema naturae* című művében a mikroorganizmusokat a férgek közé sorolta, a Chaos nemzetségbe. Ezzel a megnevezéssel azt hangsúlyozza, hogy nem sikerült kielégítő módon osztályozni a mikroorganizmusokat.



1.1. ábra. Antonie van Leeuwenhoek rajza a szájüregből származó gömb, pálca és spirális alakú baktériumokról
(Funk–Parillo–Kumar 2009)

Edward Jenner angol orvos 1798-ban sikeresen alkalmazta a fekete himlő elleni védőoltást. Oltóanyagként himlőbeteg tehenektől származó kóros anyagot használt. A beteg állat tőgyén hólyagocskák jelennek meg, melyekben folyadék található, ami számos himlővírust tartalmaz. A folyadékot emberekbe oltotta, és azok nem betegedtek meg fekete himlőben. Napjainkban vakcinának nevezünk bármilyen készítményt, amely antigéneket tartalmaz, és amelyeknek alkalmazási célja az aktív immunitás létrehozása a kezelt betegnél.

Semmelweis Ignác (1818–1865) orvos az 1840-es években tevékenykedett. Klórmészét ajánlott az orvosi műszerek fertőtlenítésére és a szülést vezető orvos kezének a fertőtlenítésére, következőképpen csökkent a gyermekági láz. Ő nem ismerte a szülészetben akkor félelmetes gyermekági láz kórokozóját, de az általa javasolt fertőtlenítési módszerrel sikerrel küzdött ellene. A klórmész vizes közegben elbomlik, oxigén szabadul fel, amely rendkívül reakcióképes, és elbontja a baktériumsejt szerves anyagait, aminek következtében a baktérium elpusztul. 1860-ban jelent meg fő műve, *A gyermekági láz kóroktana, fogalma és megelőzése*.

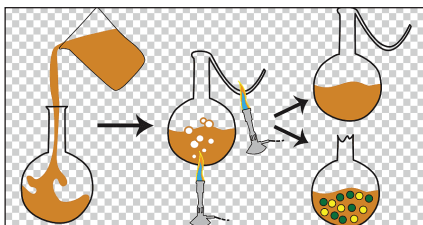
Az 1860-as években **Joseph Lister** brit sebész karból (fenol vizes oldata) segítségével végzett fertőtlenítést.

A mikrobiológia mint tudomány **Louis Pasteur**rel kezdődött, aki megcáfolta a „generatio spontanea” elvét, és felismerte az erjedés mikrobiológiai hátterét. Vegyész képzetségének megfelelően az erjedések során keletkező termékeket (tejsav, amidalkohol, borkósav stb.) tanulmányozta. Feltűnőnek találta, hogy azonos anyagokból erjedés során különböző termékek keletkeznek, és ennek okát keresve, az egyes erjedési típusoknak megfelelően, változatos mikroszkopikus lényeket

észlelt a cefrében (fermentlében). Ez vezette őt a különböző mikroorganizmusok fajlagos vegyi tevékenységének felismeréséhez.

Kezdetleges kísérleti körülményei között sok nehézséggel járt a különbözőképpen fermentáló mikroorganizmusok tanulmányozása, mert nem egyszer egészen más mikrobákat kapott az erjedő folyadékban, mint amelyekre annak beoltása alapján számíthatott. Ez a kudarc felvetette számára is a spontán generáció kérdését, amelynek létezését aztán az igen kitartó sterilizációs és tenyésztési kísérletezéssel véglegesen megcáfolta: vagyis holt szerves anyagból nem jönnek létre mikroorganizmusok, minden élőlény egy másik élőlényből származik.

Pasteur megismételte Spallanzani 1768-as kísérletét. Húslevest forralt fel, majd olyan edénybe tette, amelynek nyakát U alakban meghajlította (1.2. ábra). Így a levegő (és az „életerő”) bejuthatott, de a mikrobák a görbületekben fennakadtak. Az ilyen edényben egyetlen mikrobát sem találtak, s ezzel megcáfolta az ősnemzés és az életerő elméletét. Ugyanakkor már a különböző erjedésekben részt vevő élesztőgombák mikroszkópi vizsgálata során megfigyelte, hogy az élesztősejteken bimbózással újabb sejtek képződhetnek.



1.2. ábra. A spontán generáció elvét megcáfoló kísérlet vázlatja
(<https://www.klipartz.com/en/sticker-png-dkyp>)

Pasteur felfedezte az anaerobiózis (levegő nélküli élet) jelenségét, vagyis általában az erjedések során a mikroorganizmusok oxigén jelenléte nélkül is hozzájutnak a szükséges energiához azáltal, hogy a cukrokat egyszerű vegyületekre bontják le.

Megfigyelte, hogy ha a cukoroldathoz az élesztővel való beoltás előtt vöröshagyma levét adta, nem indult be az erjedés folyamata, ezáltal felfedezte az antibiózis jelenségét.

Felismerte az optikai izoméria biológiai jelentőségét, a mikroorganizmusok ez irányú tápanyag-hasznosítási képességét (például a borkősavat felhasználó penészgomba csak az egyik optikai izomert építi be a szervezetébe).

Később a borok biokémiájával foglalkozott, és megállapította, hogy a jó erjedésért éppúgy mikroszkopikus lények felelősek, mint a borok betegségeiért. Ezzel megcáfolta Liebig elméletét, aki az alkoholos erjedést tisztán kémiai folyamatnak tartotta. Ekkor javasolta először a róla pasztörözésnek nevezett eljárást, a kismérvű melegítést, amellyel az élelmiszerekben lévő egyes káros mikrobák elpusztíthatók.

1865-ben a selyemhernyó-tenyésztők kérték fel a tenyészetek betegségének feltárására. Pasteur felismerte a betegség fertőző jellegét, és kimutatta a kórokozót is. Több módszert dolgozott ki a betegségek megelőzésére, ezzel megmentette a francia selyemipart. Megalkotta a fertőző betegségek mikrobaelméletét, s ezzel megindította a századvég nagy orvosi fejlődését.

A lépfene kórokanak tanulmányozása során sterilizált vizeletet használt. Egy lépfenében elpusztult juh vérenek néhány cseppjét beoltotta a táptalajba. A táptalajt inkubálta, és az inkubálás során a tiszta, átlátszó táptalaj megzavarosodott. A lépfene kórokozója elszaporodott, több milliárd mikroba jött létre. Ebből a tenyészetből kivett egy cseppet, és átoltotta friss táptalajba. Inkubálás után itt is bekövetkezett a táptalaj megzavarosodása. Az átoltásokat 40 alkalommal megismételte, és a 40. tenyészet üledékéből kipipettázott egy kis mennyiséget, amelyet beoltott egészséges juhokba. A beoltott juhok megbetegedtek és lépfenében elpusztultak. Az elhullt állatok vérében kimutathatók voltak azok a pálcikák, amelyeket Pasteur a kísérlet elején figyelt meg az első juh vérében. Pasteurnak így sikerült azonosítania a lépfene kórokozóját, a *Bacillus anthracis*t.

1878-ban mondta ki azt a ma már nyilvánvaló igazságot, hogy a fertőző betegségeket a szervezetbe behatoló mikroorganizmusok okozzák. Ezt a baromfivész tanulmányozása során állapította meg. Sikerült e betegség kórokozóját, a *Pasteurella multocida* baktériumot tenyésztetni táptalajon, és az így létrejött tenyészet segítségével egészséges tyúkokat betegített meg kis mennyiségű tenyészet beoltása révén. A tyúkok beoltására fiatal tenyészetet használt. Egy alkalommal egy régi, többhetes baktériumtenyészettel dolgozott az oltáskor. A régi tenyészettel fertőzött tyúkok megbetegedtek, de nem pusztultak el, illetve ha ezeket a tyúkokat beoltotta fiatal tenyészettel, nem betegedtek meg, vagyis immunisak, védettek lettek a baromficholera ellen. Pasteur kimutatta, hogy az a baktériumtörzs, amelyet hosszú tenyésztési idő során nyert, végleg elveszítette fertőző képességét, és ha ezt a törzset leoltotta friss táptalajra, ezen nem fejlődtek ki többé virulens törzsek. A kiöregedett törzs alkalmassá vált vakcinára.

Pasteur visszatért a lépfene tanulmányozására, azzal a céllal, hogy oltóanyagot állítson elő a lépfene ellen is. Azt a módszert használta, amit a baromficholera ellen alkalmazott. Viszont nem ért el eredményt, mivel a lépfene bacillusspórákat képez, és ezek hosszú ideig megőrizhetik életképességüket. Ha ezek a spórák bejutnak az állat szervezetébe, ott kicsíráznak, és átalakulnak vegetatív sejté, amelyek kiváltják az állat megbetegedését és halálát. A lépfene spóráképző tulajdonságát Robert Koch fedezte fel.

Pasteur módszert változtatva tovább dolgozott, és végül sikerült oltóanyagot előállítania. A lépfenebacilust nem a szokásos 37 °C-on tenyésztette, hanem magasabb hőmérsékleten: 42-43 °C-on. Ezen a hőmérsékleten is sikerült egy olyan törzset nyernie, amely elviselte ezt a kedvezőtlen hőmérsékletet, de ugyanakkor elvesztette spóráképző képességét. Ez a törzs, ha beoltották táptalajra, és 37 °C-on, vagyis kedvező hőmérsékleten tenyésztették, nem tért vissza az eredeti spórákép-

ző virulens típusra. Pasteur ezzel a törzssel egészséges állatokat oltott be, majd utána virulens törzssel is megfertőzte őket, és azt észlelte, hogy az állatok nem betegedtek meg. A magasabb hőmérsékleten nyert törzs vakcinaként viselkedett.

1885-ben megoldotta a veszettség elleni védőoltást, amely egyike volt a mikrobiológia legnagyobb felfedezéseinek. Kísérleteivel gerincvelőből olyan vakcinát állított elő, amellyel nemcsak előzetesen tett védetté kutyákat, de frissen fertőzött állatokat is megmentett, sőt oltóanyagát ember esetében is sikeresen alkalmazta. Életében 350 veszett kutya marta embert gyógyított meg. Később derült ki, hogy a veszettséget, akárcsak a himlőt, önmagukban életképtelen kórokozók, vírusok váltják ki. A hatásos védekezést Jenner is, Pasteur is sok évvel ezek felfedezése előtt valósította meg.

Pasteur tevékenysége nagy hatással volt az élelmiszeriparra. A pasztörözéssel megnövelt eltarthatóságú ételeket, italokat jóval nagyobb távolságokra lehetett megromlás nélkül szállítani. Ez új piacokat jelentett a francia bor és ecet, valamint az angol sör számára. A selyemhernyók betegségeinek a megakadályozásával nagyobb lendületet vett a francia textilipar. A tenyészállatok védőoltásaival visszaszorította a fertőző betegségek miatti elhullást.

Robert Koch (1843–1910) orvos, bakteriológus, a modern mikrobiológia megalkotója (1.3. ábra). Felfedezte a lépfenebacilusnál a spóráképzést, és kimutatta, hogy az ún. vegetatív sejtek átalakulnak spórákká, amelyek rendkívül ellenállóak a környezet kedvezőtlen hatásával szemben, és megőrzik csíráképző képességüket a talajban is.

Felfedezte a tüdővész – tuberkulózis – kórokozóját, a *Mycobacterium tuberculosis* baktériumot. Festési eljárást dolgozott ki a baktérium mikroszkópi megfigyelése céljából. Sikerült a mikrobát táptalajon tenyészteni, és a tenyészetet felhasználta állatok beoltására, aminek következtében azok megbetegedtek.

Felfedezte a kolera kórokozóját, a *Vibrio cholerae* baktériumot.

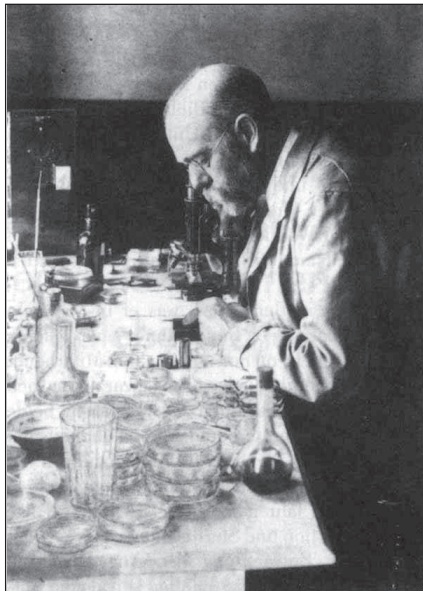
1882-ben kidolgozta a Koch-féle posztulátumokat, amelyek arra vonatkoznak, hogy milyen esetben tekinthető egy mikroorganizmus egy adott betegség kórokozójának.

A posztulátumok a következők:

1. a fertőző beteg szervezetből a kórokozó mikroorganizmus minden esetben kitenyészthető, az egészségesben azonban nincs jelen,
2. az izolált mikroorganizmus tiszta tenyészetben fenntartható,
3. az így fenntartott mikroorganizmussal az egészséges szervezet újra betegíthető,
4. az előzőleg izolált mikroorganizmussal azonos kórokozó ismét kitenyészthető a mesterségesen fertőzött szervezetből.

Alapvető módszertani újításokat vezetett be a mikrobiológiába: például a szilárd táptalajok használatát, ami lehetővé teszi a tiszta tenyészetek létrehozását. Különböző anyagokat használt a táptalajok szilárdítására: burgonyaszeteleket, koagulált vérplazmát, zselatint és agar-agar (az agar-agar indonéz eredetű szó,

tengeri moszatot jelent; alga eredetű poliszacharid). Festési eljárásokat dolgozott ki baktériumok beazonosítása céljából. Bevezette az immerziós lencsék és a kondenzor használatát a mikroszkópiában.



1.3. ábra. Robert Koch laboratóriumi munka közben
(<https://www.general-anaesthesia.com/images/robert-koch.html>)

Megcáfolta a pleomorfizmus elméletét, miszerint a különféle baktériumok a környezeti tényezők hatására létrejövő variációk. Pasteurhoz hasonlóan ő is felismerte, hogy a kórokozókat hőhatással el lehet pusztítani. 1880 és 1894 között fedezik fel a *Streptococcust*, a *Gonococcust*, a hastífusz bacilusát, a *Salmonella typhosat* és a pestis kórokozóját, a *Yersinia pestist*.

Szergej Vinogradszkij (1856–1953) orosz tudós tette le a talaj-mikrobiológia alapjait. 1897-ben felfedezte a nitrifikáló baktériumokat: *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, később a *Clostridium pasteurianum* anaerob, szabadon élő nitrogénkötő baktériumot. Nevéhez kötődik a kemoszintézis felfedezése a szintelen kénbaktériumoknál, a vasbaktériumoknál és a nitrifikáló baktériumoknál. A kemoszintézis során az energiát kémiai reakciók szolgáltatják.

Martinus Beijerinck (1851–1931) fedezte fel az első *Rhizobium*-fajokat, melyek szimbiotikus, aerob nitrogénkötő baktériumok, és előállította azok tiszta laboratóriumi tenyészeit. Szintén nevéhez fűződik a szabadon élő nitrogénkötő *Azotobacter* felfedezése és a *Desulfovibrio*, amely a szulfátokat kén-hidrogénné redukálja.

A bakteriofágok (a prokarióták vírusai) felfedezése **Frederick W. Twort** és **Félix d'Herelle** kutatásainak az eredménye.

Dimitrij Ivanovszkij (1864–1920) dohánynövények tanulmányozásával foglalkozott. 1897-ben beteg dohánynövények levelét kipróbálta, majd a kapott nedvet átszűrte olyan szűrőkön, amelyek visszatartják a baktériumokat, és a szűrlettel egészséges dohánynövényeket fertőzött meg, melyeknél megjelentek a dohánymozaik betegség tünetei. Ő fedezte fel tehát az első vírust, viszont nem tudta, hogy víusról van szó, hanem azt hitte, hogy a betegséget olyan kisméretű baktérium okozza, amely átmegy a bakteriális szűrőn, és nem lehet megfesteni, valamint fénymikroszkóppal kimutatni. A dohánymozaik-vírust egy másik kutatónak, **Wendell M. Stanley**nek sikerült kikristályosítania, és így láthatóvá vált elektronmikroszkóp alatt.

Jenner és Pasteur különböző fertőző betegségek elleni eljárásai igen értékes eredményekkel gazdagították a járványügyi küzdelmet. Nem adtak választ azonban arra, hogy miként alakul ki a szervezet védettsége, ún. immunitása ezeknek a beavatkozásoknak a hatására, mi az a mechanizmus, amely a fogékony és védett szervezet különbségét jelenti. E kérdésben az első nagy felfedezést **Ilja I. Mecsnyikov** (1845–1916) tette. A laboratóriumi akváriumában tartott *Daphnia* rák tömegesen pusztult egy mikroszkópos parazita fertőzésének hatására. Az áttetsző állatban végbemenő eseményeket mikroszkóp alatt követte. A *Daphnia* egyes sejtjei, a fagociták a betolakodókat bekebelezték és megsemmisítették. Ilyenkor az állat meggyógyult, de ha a fagociták tevékenysége nem volt kielégítő, a parazita korlátlan elszaporodása az állat pusztulásához vezetett. A fagocitózis felfedezésén kívül helyesen értelmezte a gyulladás jelenségét. A szöveti elváltozásban nemcsak károsodást, hanem védekezési reakciót is tapasztalt. Fontos meglátása az is, hogy nemcsak a szervezet sejtjei, hanem a szervezet nedvei is fontos szerepet játszanak a védekezésben. **Fodor József** professzor is megfigyelte, hogy az emberi vérsavónak baktériumölő hatása van a lépfene-baktériumokra.

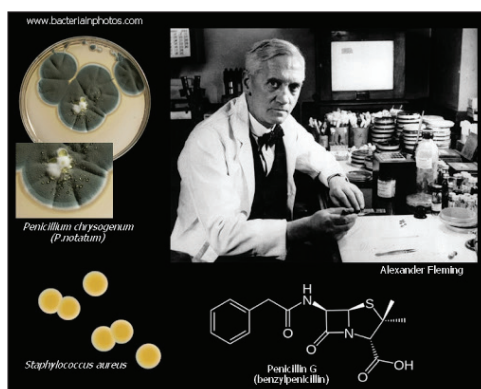
1882-ben két francia tudós, **Emile Roux** és **Alexandre Yersin** bebizonyította, hogy a torokgyík megbetegedést okozó baktérium (*Corynebacterium diphtheriae*) exotoxint termel, ami olyan mérgező fehérje, amelyet a baktérium kiválaszt a környezetébe, és ez váltja ki a betegséget. Több kutató rájött arra, hogy a védőoltásban részesített állatok vérsavója felhasználható a gyógyászatban. E módszer neve szeroterápia. Emil Behringnek sikerült a diftéria exotoxinja ellen vérsavót előállítania. A merevgörcsöt vagy tetanuszt kiváltó *Clostridium tetani* által termelt exotoxint semlegesítő vérsavót is előállítottak.

A kutatási eredmények alapján az ember és az állatok immunitásában a sejteknek és az antitesteknek egyaránt szerepe van.

Paul Ehrlich (1854–1915) lerakja a kemoterápia alapjait. A kemoterápia vegyi anyagokkal való kezelést jelent. Egy vegyész és egy biológus munkatársával új anyagokat szintetizáltak, és azok hatékonyságát állatkísérleteken ellenőrizték. A vérbaj (szifilisz) kórokozója nem festődik jól, és nem tenyészthető laboratóriumi

táptalajon. Kísérleteik során hím nyulakat fertőztek meg, mely állatok érzékenyek, és már 2-3 *Treponema pallidum* sejttől megbetegednek. Nagyon sok vegyszert kipróbáltak, és a 606-os számú vegyszerről kiderült, hogy szifiliszellenes anyag. Ezt az arzéntartalmú vegyületet salvarsannak nevezték el. Mivel számos betegnél mellékhatások jelentkeztek, előállították a neosalvarsannak nevezett 914-es számú vegyületet. Ő dolgozta ki az első immunológiai elméletet is.

Alexander Fleming (1881–1955) orvos, bakteriológus fő kutatási területe a fertőzések megelőzése, gyógyítása volt. Ő írta le a lizozim enzim baktériumellenes tulajdonságát. Megfigyelte, hogy egy bizonyos penészgomba által megfertőzött *Staphylococcus* tenyészet esetén a penészgomba körül nem alakulnak ki telepek, vagyis létrejött egy gátlási (inhibíciós) zóna. Feltételezte, hogy a penészgomba egy vegyi anyagot termel, amit kiválaszt a környezetébe, és ez gátlólag hat a baktérium szaporodására. A termelt vegyület a penicillin, amely gátolja a baktériumsejtfal szintézisét és ezáltal a szaporodást. Ezt az anyagot az Oxfordi Egyetem egy kutatócsoportja, Ernst Chain és Howard Florey vezetésével vegyileg tisztán állították elő. A gyógyszerként alkalmazott anyag a második világháború után széles körű forgalmazásra került, így milliók életét mentette meg.



1.4. ábra. Alexander Fleming és a penicillin felfedezése
(http://www.bacteriainphotos.com/Alexander_Fleming_and_penicillin.html)

Selman Waksman (1888–1973) és munkatársai felfedezték a sztreptomycint (amit a *Streptomyces griseus* termel) és más antibiotikumokat. Tevékenységüket követve hatalmas méretű kutatás indult be, elsősorban talajmintákból kitenyésztett mikroszervezetek antibiotikum-termelését vizsgálva. Az antibiotikumok ipari előállítása jelentősen hozzájárult a fermentációval kapcsolatos ismeretek fejlődéséhez.

Victor Babeş (1854–1926) orvos, mikrobiológus felfedezte a szarvasmarhák hemoglobinuria betegségének kórokozóját, amelyet az ő tiszteletére *Babesiának* neveztek el, és amely egy vérparazita végvény. A diftériabaktérium (*Corynebacte-*

rium diphtheriae) sejtjeiben metakromatikus szemcséket fedeztek fel, így ennek köszönhetően azonosítani lehet a diftéria kórokozóját. Felismerte a baktériumtok szerepét a kórokozó baktériumok virulenciájában. Felfedezte a veszettségzárványokat (Babeş–Negri-testecskék), melyek a veszettség diagnosztizálásában fontosak.

Míg a 20. század első három évtizedében a mikrobiológia fejlődését elsősorban a fertőző betegségek, azok kórokozóinak tanulmányozása, a kórokozók elleni küzdelem határozta meg, a negyvenes évektől kezdve szoros kapcsolatba került más biológiai tudományágakkal, elsősorban a genetikával és a biokémiával. Ennek oka az volt, hogy a mikroorganizmusok egyszerűségük által kitűnő vizsgálati alanyok, gyors szaporodásuk következtében a velük való munka felgyorsította a kutatásokat. A mikrobiológia, a genetika és a biokémia termékeny egymásra hatása vezetett el a molekuláris biológia létrejöttéhez.

Baktériumokat alkalmaztak mutációkkal kapcsolatos vizsgálatokhoz. A nukleinsavak bioszintézisével kapcsolatos felfedezések alkalmával bakteriális enzimeket használtak, a genetikai kód megfejtésekor mikroorganizmusokon dolgoztak. A további kutatások során kimutatták, hogy a vírusok daganatot okozhatnak, valamint léteznek olyan RNS-vírusok, amelyek replikációjában reverz transzkriptáz működik. A rekombináns DNS-technika kutatói közül **Paul Berg** vírusgenomelemzést végezve jutott el jelentős eredményekhez. Ugyanakkor megemléltendő a bakteriális eredetű restrikciós endonukleázok felfedezése. **Harald zur Hausen** a mikrobiológia területén elért jelentős felfedezése a humán papillómavírus szerepének kimutatása a méhnyakrák kiváltásában.

A mikroorganizmusok alkalmazása a biotechnológia különböző területein jelentős fejlődést mutat napjainkban. A különböző biotechnológiai eljárások a mikroorganizmusok biokémiai sajátosságain és enzimaktivitásán alapulnak. Az ipari mikrobiológiai eljárások révén a mikrobák segítségével állítanak elő különféle hasznos anyagokat (például vitaminok, aminosavak, oltóanyagok, bioüzemanyagok). A mikroorganizmusoknak számos felhasználási területük van a mezőgazdaságban, az élelmiszeriparban, a gyógyászatban, a környezeti bioremediációs folyamatokban stb.

A DNS-szekvenálás és az ezzel kapcsolatos módszerek új szakaszát képviselik a mikrobiológia evolúciójának. A metagenomika segítségével meghatározhatók egy adott környezetben előforduló mikroorganizmusok tenyésztési eljárások nélkül. Egy különleges lehetőség a metagenomika alkalmazása a humán mikrobiom meghatározása céljából. A genomika a mikrobiológia további fejlődését teszi lehetővé, mely által további kérdésekre kapnak választ a mikrobiológusok.

2. BAKTERIOLÓGIA

A **prokarióta** mikroorganizmusok a legegyszerűbb sejt szerveződésű élőlények. A prokarióta sejt nem rendelkezik valódi, magmembránnal határolt sejtmaggal, amire az elnevezése is utal (görög: karyon=mag, prokaryon=sejtmag előtti). A sejt citoplazmájában általában nincsenek membránnal körülhatárolt, autonóm és különböző funkciókra differenciálódott sejt szervecskék, nem rendelkeznek endoplazmatikus retikulummal, Golgi-készülékkel, mitokondriumokkal, lizoszómákkal stb. Ezért a baktériumsejtek membránjának minden olyan funkciót el kell látnia, ami egy eukariótasejtben a sejt szervecskék membránjához kötötten zajlik (például sejt légzés), valamint a citoplazma funkciója is összetettebb.

A prokarióták csoportjába tartoznak az ősbaktériumok (Archaeobacteria) és a valódi baktériumok (Eubacteria).

2.1. A baktériumok morfológiája

2.1.1. A baktériumok alakja

A baktériumok alakja változatos, genetikailag meghatározott és osztályozásuk szempontjából nagy jelentőségű. A baktériumsejt alakját elsősorban a sejttel határozza meg. A sejt alakját befolyásolhatják a tenyésztési körülmények és a sejt kora. A sejtek alakja és mérete általában a fiatal tenyészetek esetén, a növekedés logaritmikus szakaszában jellegzetes. Öreg tenyészetekben és nem megfelelő tenyésztési körülmények között (pH, tápanyag és oxigénkoncentráció, hőmérséklet) a sejtek alakja megváltozik. A baktériumok szaporodásának deklinációs (hanyatló) szakaszában a szokatlan sejtalakok megjelenése a sejthártya szelektív permeabilitásában, valamint a sejtosztódásban bekövetkezett zavarnak tulajdoníthatók a toxikus anyagok hatására.

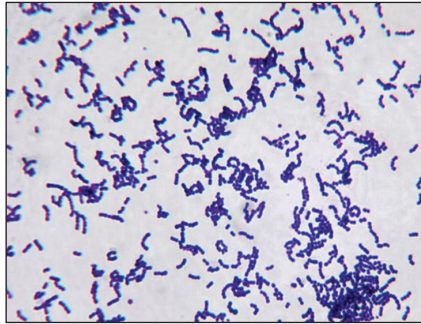
Három fő alaktani típust különböztetünk meg: coccusok (gömb), bacillusok (pálca) és spirális baktériumok (2.1. ábra). Az alapvető formáknak sok változata van, különböző csoportosulásokat is alkothatnak.

A coccusok (gör. kokkos=mag) gömb alakúak. Több altípust különböztetünk meg aszerint, hogy osztódás után a leánysejtek hogy csoportosulnak. Ha a leánysejtek szétválnak, ún. **micrococcusok** jönnek létre (pl. a *Micrococcus luteus*). Ha az osztódás egyetlen síkban történik, és a két leánysejt nem különül el egymástól, **diplococcusokról** beszélünk (pl. *Streptococcus pneumoniae*). Ha a sejtek egyetlen síkban többszörösen osztódnak, a létrejövő sejtek füzért alkotnak. A füzért alkotó baktériumokat **streptococcusoknak** nevezzük (pl. a *Streptococcus lactis* tejsavbaktérium)

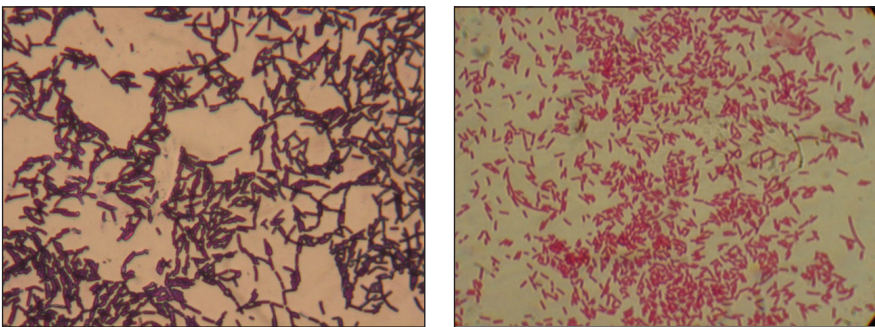


2.1. ábra. A baktériumok fő alaktani típusai

(<https://www.atsu.edu/faculty/chamberlain/mosdoh/gramstainingrules.htm>, <https://quizlet.com/299087623/biomed-unit-5-review-flash-cards/>)



2.2. ábra. A *Streptococcus anginosus* mikroszkópi képe



2.3. ábra. A *Bacillus subtilis* és az *Escherichia coli* pálcá alakú baktériumok mikroszkópi képe

(2.2. ábra). Amikor a sejtosztódás két egymásra merőleges síkban történik, olyan csoportosulás jön létre, amely 4 baktériumsejtből áll, ezt nevezzük **tetracoccus**nak, amely megfigyelhető a *Deinococcus radiodurans*, a *Gaffkya tetragena* baktériumok esetében. Ha a sejtosztódás 3 egymásra merőleges síkban történik, akkor 8, 16 vagy még több sejtből álló szabályos csomag alakú **sarcina** jön létre (pl. *Sarcina flava*). Amikor a sejtek különböző síkban szabálytalanul osztódnak, és a létrejövő sejtcsoportok szőlőfürtre emlékeztetnek, akkor **staphylococcus**ról beszélünk (pl. *Staphylococcus aureus*) (2.3. ábra).

A szabályos gömb alakú baktériumok mellett léteznek oválisak (*Enterococcus faecalis*), gyertyaláng alakúak (*Streptococcus pneumoniae*) és vese alakúak (*Neisseria gonorrhoeae*).

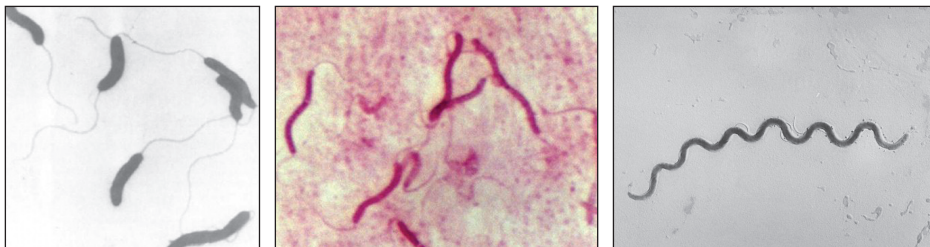
A bacillusoknak (lat. bacillum=pálca) egyenes henger alakjuk van (pl. *Bacillus subtilis*) (2.3. ábra). Egyes esetekben a pálca enyhén meghajlított (*Corynebacterium diphtheriae*). Fontos jellemző a sejt végének az alakja. A legtöbb pálcika bacillus vége lekerekített (pl. *Escherichia coli*), másoké lemetszett (*Bacillus anthracis*), és vannak pálcikák, melyeknek a vége kihegyezett, mint amilyen a *Fusobacterium nucleatum*.

Számos baktérium elkülönült, izolált. Mások kettesével csoportosulnak, például a *Klebsiella pneumoniae*, mely esetben a sejtek elrendeződésének az elnevezése **diplobacillus**. Vannak baktériumok, melyek úgy csoportosulnak, hogy betűkre jellemző alakot (X, Y, V) vesznek fel, például a *Mycobacterium* nemzetség képviselői. Egyes bacillusok láncot, füzért alkotnak, ezek a **streptobacillusok** (pl. a *Haemophilus ducreyi*). Vannak ún. **coccobacillusok** is, melyek átmeneti alakot képviselnek a coccus és a bacillus között (pl. a pestis kórokozója a *Yersinia pestis*).

A spirális baktériumoknak csavarszerű, hengeres alakjuk van. Három altípust különböztettünk meg: vibrio, spirillum, spirochaeta. A **vibrio** (lat. vibrare=vibrálni) olyan baktérium, melynek csak egy görbülete van, például a *Vibrio cholerae*. Aktívan mozgó baktériumok, csillókkal rendelkeznek. Ha a baktériumsejten több csavarulat figyelhető meg, spirillumról vagy spirochaetáról van szó. A spirillumoknak merev sejtfaluk van, nem hajlékony sejtek (pl. *Spirillum volutans*). A spirochaeták (gör. chaite=haj) sejtfala nem merev, hajlékony, flexibilis (pl. *Treponema pallidum*) (2.4. ábra).

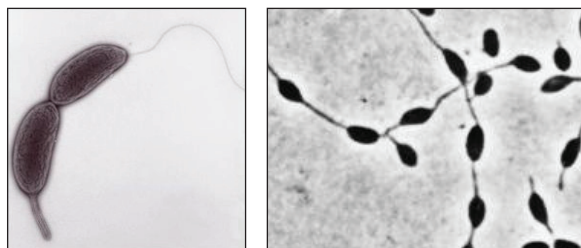
Ismertek más baktériumsejt-alakok is: kocsányos baktériumok, lebenyes baktériumok, négyszögletes baktériumok, fonalas baktériumok.

A kocsányos baktériumok (lat. caulis=kocsány) esetében a sejt ovális alakú, melyhez egy kocsány kapcsolódik, ennek végén egy duzzanat figyelhető meg, ami arra szolgál, hogy segítségével a baktérium megtapad a szilárd tárgyak felszínén. Ez jellemző a *Caulobacter* nemzetség képviselőire. A *Caulobacter* élősködő baktériumok a kocsányok végén levő korongok összetapadása révén kisebb-nagyobb csoportosulásokat alkotnak. A kocsányok duzzanatának segítségével megtapadnak más baktériumok felszínén, roncsolják azok sejtfalát, és a lízált baktériumok sejt-tartalmával táplálkoznak. A *Gallionella* vasbaktérium vese alakú, hosszú spirális kocsánnyal rendelkezik, melybe $\text{Fe}(\text{OH})_3$ halmozódik fel. A kocsányos baktériu-



2.4. ábra. Spirális alakú baktériumok: *Vibrio cholerae*, *Spirillum volutans*, *Treponema pallidum*

(<https://www.sciencedirect.com/topics/nursing-and-health-professions/cholera>; <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/node/2315>; <https://mechpath.com/2017/12/20/treponema-pallidum/>)



2.5. ábra. A *Caulobacter* és a *Rhodomicrobium vannielii* baktériumok

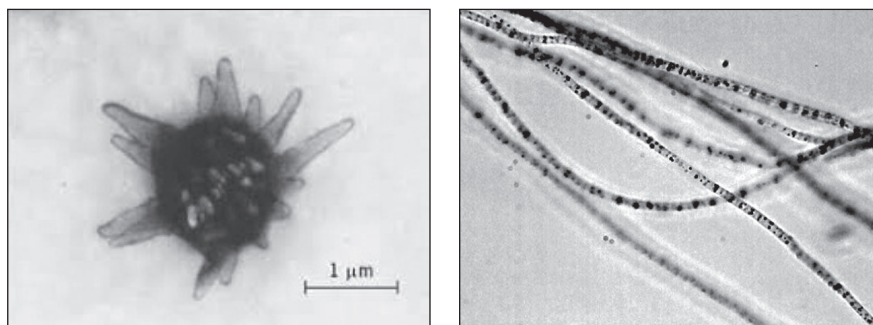
(<https://schaechter.asmblog.org/schaechter/2011/07/now-thats-using-your-head.html>, <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/node/5048>)

mok egyik jellegzetes csoportját képviselik az ún. sarjadzó baktériumok, például a *Rhodomicrobium* (2.5. ábra). A sejtek ovális alakúak, végükön citoplazmát tartalmazó kocsány található. A baktériumok a kocsány végén bimbózással leánysejtet hoznak létre, amelyek leválhatnak vagy együtt maradnak az anyasejttel.

Egyes baktériumok több hosszabb-rövidebb függelékkel (nyúlvánnyal) rendelkeznek, így a sejteknek csillag alakjuk lesz. A *Prosthecomicrobium* esetében a nyúlványok hossza kisebb, mint a sejt hosszanti átmérője, és végük felé vékonyodnak (2.6. ábra). Az *Ancalomicrobium* esetében a nyúlványok száma 2-8 között változik, és a nyúlványok hosszabbak, mint a sejt átmérője, végük felé elvékonyodnak.

A *Sulfolobus* baktérium gömb alakú sejtje lebenyekkel rendelkezik. A négy-szögletes baktériumok vékonyak, lapszerűek, sejtjeik magányosak vagy 8-16 sejt-ből álló csoportokban helyezkednek el. Idetartozik például a sós környezetben előforduló *Haloarcula quadrata* ősbaktérium.

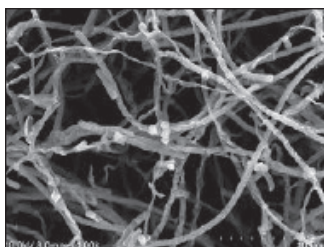
A fonalas baktériumok hifákhoz hasonló fonalakat képeznek. Elágazódásaik alapján több altípusba sorolhatók: fonalas, el nem ágazó baktériumok (pl. *Beggiatoa mirabilis*); fonalas, álelágazódást mutató baktériumok, melyekre jellemző, hogy



2.6. ábra. A *Prosthecomicrobium pneumaticum* nyúlványokkal rendelkező baktérium és a *Beggiatoa* fonalas baktérium

(<https://www.accessscience.com/media/EST/media/068100PV0001.pdf>, <https://www.environmentalleverage.com/2017/11-Beggiatoa/slides/>)

a fonalat képező sejtek közül egyesek osztódnak és a leánysejtek oldalirányban helyezkednek el (pl. *Sphaerotilus natans*), fonalas, valódi elágazódást mutató baktériumok. A sejttest elágazódásokat képez, hosszú, vékony hifák alakulhatnak ki, melyek gyakran a gombákéhoz hasonló micéliumot képeznek (pl. a *Mycobacterium* és a *Streptomyces*) (2.7. ábra).



2.7. ábra. *Streptomyces avidinii*

(<https://www.creative-diagnostics.com/tag-streptomyces-avidinii-antigen-41.htm>)

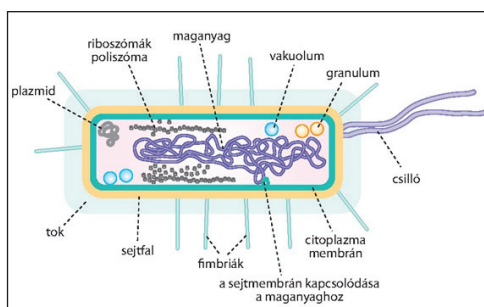
2.1.2. A baktériumok mérete

Az egyedi baktériumsejtek szabad szemmel nem láthatók. A baktériumtelepek általában szabad szemmel is megfigyelhetők, mivel a telepek több millió sejtől állhatnak. A baktériumok méretét **mikrométerben** adják meg ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$). Egy átlagos pálcá alakú baktérium $2\text{-}5 \mu\text{m}$ hosszú és $0,5\text{-}0,8 \mu\text{m}$ átmérőjű. A gömb alakú baktériumok átlagos átmérője $0,8 \mu\text{m}$. A mikrobák nagysága azonos feltételek mellett, egyetlen fajon belül is meglehetősen változó. Így például egy pálcá alakú baktérium (*Salmonella typhi*) adott populációjának egyedeinél a pálcák hossza

egy és három μm között változhat. Ha a környezeti feltételek nem azonosak, kifejezettebb nagyságbeli, sőt alakbeli eltéréseket is találhatunk. A baktériumsejtek kis tömege és viszonylag nagy felszíne fontos szerepet játszik a tápanyagok gyors felvételében, az anyagcsere-folyamatok nagy intenzitásában és a baktériumok gyors szaporodásában. A baktériumok kis méreteinek következtében a felület és a tömeg vagy térfogat közti arány nagy, így a baktériumok a leghatékonyabb sejtek az élővilágban, itt a legnagyobb a metabolikus aktivitás intenzitása.

2.2. A baktériumsejt szerkezete

A baktériumok a legegyszerűbb sejt szerveződésű élőlények, mert nincs maghártyájuk és egy kromoszómát tartalmaznak (2.8. ábra). A baktériumsejt szerkezetéből hiányoznak az eukarióta sejtre jellemző sejtalkotók, a mitokondriumok, az endoplazmatikus retikulum, a Golgi-készülék, a kloroplasztiszok és a liszozómák.



2.8. ábra. A baktériumsejt felépítése

(https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_524_Mikrobiologia/ch02.html)

2.2.1. A maganyag

A genetikai állomány tartalmazza a fajra jellemző, a baktériumsejt felépítéséhez és működéséhez szükséges genetikai információkat. A prokarióták nem tartalmaznak membránnal elhatárolt sejtmagot, ezért a transzkripció és a transláció térben és időben nem különül el egymástól. A baktériumok genetikai anyaga duplaszálú DNS. A DNS-molekula általában cirkuláris szerkezetű (léteznek lineáris genomot tartalmazó fajok is, pl. a *Streptomyces*ek és a *Borrelia burgdorferi*). Bizonyos baktériumok esetében (pl. *Halobacterium*, *Agrobacterium tumefaciens*) több kromoszóma is megfigyelhető. A DNS-hez hisztionszerű bázikus fehérjék kapcsolódnak. A DNS erősen csavarodott, a kromoszóma 1000-szer hosszabb a sejt átmérőjénél. A baktériumkromoszómán 40-50 hurok figyelhető meg, és ezt

a szerkezetét az RNS-molekulák segítségével őrzi meg. Mindegyik hurok másodlagos csavarulatokat tartalmaz. Például az *Escherichia coli* kromoszóma hossza kb. 1200 μm , a becsomagolási arány 4000-szeres, kb. 3000 gént tartalmaz. A cirkuláris kromoszóma a mezoszómához kapcsolódik.

A prokariótáknál a maganyagot nukleoidnak is nevezik. A bakteriális DNS replikációja szemikonzervatív, az újonnan szintetizált DNS egy régi és egy új szálat tartalmaz.

Számos baktérium tartalmaz extrakromoszomális genetikai anyagot. Ezeket a genetikai elemeket plazmidoknak vagy episzómáknak nevezzük. Az episzóma vagy plazmid DNS kétszálú és körkörös (zárt) molekula, kisebb, mint a bakteriális kromoszóma DNS-e.

Az episzómák kétféle állapotban léteznek:

a) **autonóm állapotban:** szabadon a citoplazmában, ahol gyors reduplikációra képesek és függetlenek a baktérium kromoszóma osztódásától.

b) **integrált állapotban:** az episzóma kovalensen beépül a sejt kromoszómájába.

Integrált állapotban az episzóma együtt replikálódik a kromoszomális DNS-sel, és a replikáció ezen DNS replikációjától függ. A plazmidok csak autonóm állapotban léteznek. Episzóma például az F szexfaktor, ami szerepet játszik a baktériumok konjugációjában. Plazmidok a col-faktor és az R-faktor.

A col-faktorral rendelkező baktériumok kolicinnek nevezett anyagot termelnek. Az *Escherichia coli* és a vele rokon baktériumok termelik. Szerepe, hogy elpusztítson minden olyan *E. coli* törzset, amelyek nem rendelkeznek col-faktorral. A bakteriocin olyan fehérje, mely más baktériumtörzseket pusztít (pl. a piocint a *Pseudomonas pyocyanea* termeli, a megacint a *Bacillus megaterium*, a pneumocint pedig a *Klebsiella pneumoniae* szintetizálja).

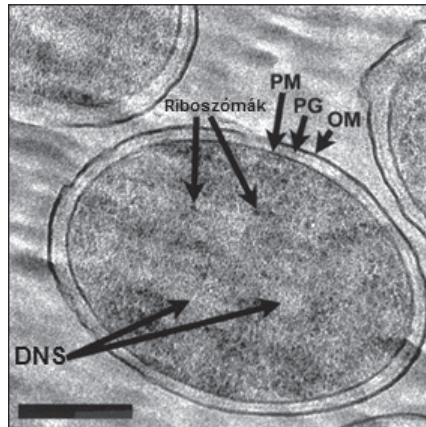
Az R-faktorral rendelkező baktériumok ellenállók az antibiotikumokkal és a kemoterápiai gyógyszerekkel szemben. Az R-faktorok nagyon gyakran integrálódhatnak és átalakulhatnak episzómákká. A col- és R-faktorok átjuthatnak egyik sejtől a másikba. A transzfer után a receptor sejt is képes col- és R-faktort termelni, és ellenállóvá válik. A transzfer létrejöhet konjugáció útján vagy bizonyos bakteriofágok közvetítésével. A transzfer csak akkor valósul meg, ha ezek a faktorok egy szexfaktorral társulnak. Jellemző, hogy hatásukra jönnek létre a szexpilusok, melyek két típusba, az F és I típusba tartoznak.

Egyes baktériumok virulenciájában is jelentős szerepe van a plazmidoknak, a toxinok, a szérumrezisztencia meghatározása és a vasfelvételt segítő sziderofórok szintézise révén. Szintén plazmidokon lévő géneknek tulajdonítható a daganatképzés az *Agrobacterium tumefaciens* baktériumnál, a molekuláris nitrogén megkötő képessége a *Rhizobium* fajoknál, számos természetes vagy mesterséges anyag metabolizálása, a fehérjezárványok szintézise a *Bacillus thuringiensis* baktériumnál.

A genetikai anyag szerepe a genetikai információ tárolása és átörökítése, a meghatározott tulajdonságok kifejeződésének szabályozása. A baktériumok genetikai változás nélkül is képesek a környezeti feltételek megváltozásához alkalmazkodni.

2.2.2. A riboszómák

Nagyon vékony metszetekben a baktériumsejt szemcsés alapszerkezetet mutat, amit a riboszómák okoznak (2.9. ábra). A fotoszintetizáló baktériumoknál a riboszómák szintén jelen vannak, de elfedik őket a kromatofórák. A baktériumok citoplazmájában több ezer riboszóma található, például a fiatal, intenzív anyagcseréjű sejtekben számuk elérheti a 20 000-et is. A riboszómák funkciója a fehérjeszintézis. A riboszómák vegyi szempontból ribonukleoproteinek. A riboszómális RNS a sejt össz-RNS-tartalmának 80%-át teszi ki.



2.9. ábra. Riboszómák a *Pseudomonas aeruginosa* baktérium citoplazmájában (PM: citoplazmahártya, PG: peptidoglikán, OM: külső membrán) (Matias et al. 2003)

A prokarióta sejtek riboszómái eltérnek az eukarióta sejtek riboszómáitól az rRNS és a fehérjék száma, mérete, az alegységek mérete és az antibiotikumokkal szembeni érzékenység alapján.

A funkcionális riboszóma egy kisebb és egy nagyobb alegységből épül fel. A két alegység egy vagy két molekula RNS-ből és nagyszámú különböző fehérje molekulából áll.

A bakteriális riboszóma szárazanyaga 65% RNS-t és 35% fehérjét tartalmaz.

Valamennyi rRNS egyszálú lineáris molekula. Jóllehet a molekula lineáris, mégis vannak olyan szakaszok, amelyeken a lánc redőképződés révén kettős szálúvá válik. A két láncot H-kötések kötik össze, a két szál komplementáris egymáshoz. Az egyszálú részek kidudorodnak a láncból, melyet huroknak nevezünk.

Egy mRNS-molekula számos 70 S (S – Svedberg szedimentációs egység) riboszómát köt össze, létrehozva a poliriboszómákat (riboszóma-aggregátumok). A polipeptidlánc szintézisében részt vevő aminosavak aktivált alakban szállítódnak a

riboszómákhoz. Aktiválásuk eredményeképpen létrejönnek az aminoacil-tRNS-ek. Az első aminosav, amellyel megkezdődik a polipeptidlánc szintézise, a metionin (archebaktériumok) vagy a formil-metionin (eubaktériumok). A polipeptidlánc szintéziséhez szükséges energiát a GTP (guanozin-trifoszfát) szolgáltatja. A peptidlánc szintéziséhez Mg-ionokra is szükség van.

A baktériumsejtekben a riboszómák nagyobb sűrűségben vannak jelen, mint az eukarióta sejtben, ami a baktériumok metabolizmusának nagymértékű intenzitásával magyarázható.

2.2.3. Speciális prokarióta organelumok

A baktériumok (a cianobaktériumok kivételével) általában nem rendelkeznek különböző funkciókra specializálódott, szabályos egységmembránnal határolt sejtorganelumokkal. Számos faj rendelkezik azonban olyan sejtisztervecskékkel, melyeket főleg fehérjékből álló egyrétegű, membránszerű képlet határol.

A **gáz vakuólumok** a vízben élő baktériumokban találhatóak (2.10. ábra). Ilyenek vannak pl. a bíborszínű és a zöld fototróf baktériumokban, valamint számos nem fotoszintetizáló baktériumban, melyek tavakban élnek. Néhány Archaea-faj is tartalmaz gáz vakuólumokat.

A gáz vakuólumok funkciója a sejtek denzitásának szabályozása és a sejteknek olyan rétegben való tartása, ahol a környezeti paraméterek (fényviszonyok, oldott oxigénkoncentráció, tápanyagok) optimálisak a baktériumpopuláció számára.

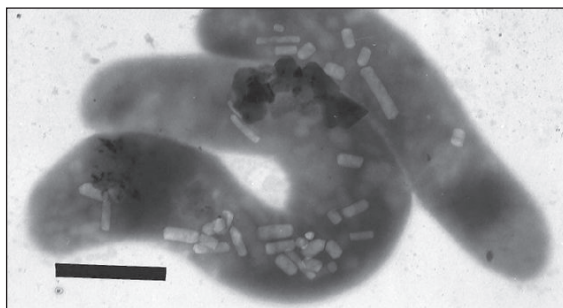
A gáz vakuólumok orsó alakúak, fehérjékből felépülő üreges szerkezetek. A különböző fajoknál a gázvakuólák hossza 300 és 1000 nm, a szélességük pedig 45-120 nm között van.

A citoplazmában fordulnak elő, számuk sejtenként a kevéstől a több százig terjedhet.

A gáz vakuólum membránja csak fehérjékből épül fel, 2 nm vastag, nem át-eresztő a víz és az oldatok számára, viszont permeábilis a gázok számára.

A gázvakuólumok burka 2 típusú fehérjét tartalmaz. A GvpA az összfehérje-tartalom 97%-át teszi ki, kisméretű, hidrofób és merev fehérje. A gázvakuólum-membrán merevsége szerkezeti szempontból nélkülözhetetlen, hogy ellenálljon a kívülről jövő nyomásnak. A GvpC-fehérje kisebb arányban van jelen, funkciója a gázvakuólum-membrán erősítése. A GvpA-fehérjeegységek párhuzamosan rendeződve vízhatlan felületet képeznek. A GvpC-fehérjék keresztkötések révén erősítik a GvpA-fehérjék által alkotott sorokat (bordákat), összekapcsolva azokat.

A gáz vakuólumok permeábilisak a gázok számára. A vezikulák belsejében lévő gáz összetétele és nyomása megegyezik azzal a gázzal, amelyben az adott szervezet lebeg. A gáz vakuólumok csökkentik a sejt sűrűségét-denzitását, és ezáltal növelik az úszóképességét.



2.10. ábra. Az antarktisi jégből és vízből származó baktériumokban megfigyelhető gáz vakuólumok
(Goszink–Staley 1995)

A fotoszintetizáló zöld baktériumokban a fényenergia hasznosítását végző fotoszintetikus apparátus egy, a sejtmembrán alatt közvetlenül elhelyezkedő vezikulumban található, amit **kloroszómának** nevezünk. Baktériumklorofillt tartalmaznak, mely a vezikulumok falában található (összetételükben még megtalálhatók: karotin festékek, citokromok, kataláz enzim, peroxidáz enzim, szukcin-dehidrogenáz enzim, hidrogenáz enzim, koenzimek: NAD-nikotinsavamid-adenin-dinukleotid, vas). A kloroszómák a citoplazmahártyából jönnek létre.

Sok fotoszintetizáló baktériumban (cianobaktérium, bíborbaktérium) megtalálható a **karboxiszóma**, melyben a szén-dioxid-megkötés kulcsenzime, a ribulóz-diszfoszfát szintetáz akkumulálódik a sejtekben.

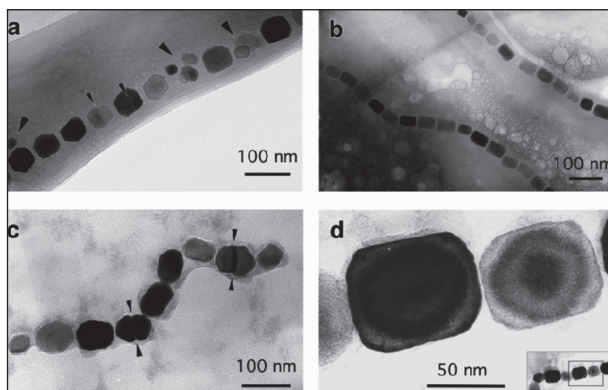
A *Rhodospirillum rubrum* sejtjeiben a fotoszintetikus pigmentek kiterjedt intracitoplazmatikus membránban foglalnak helyet. A membránrendszer a sejt-hártyából származik és bonyolult belső csöves-hólyagos hálózatot alkot. Ennek a membránrendszernek a kialakulása fény jelenlétében indukálható. Fény hatására már 3-6 óra után megjelennek a membránrendszer kezdeményei, és a képződés idején megnő a bakterioklorofill és a fotoszintetikus aktív membránokra jellemző fehérjék, lipidek és foszfolipidek mennyisége.

A **magnetoszóma** egyes vízi környezetben előforduló baktériumokban található sejtservecske, amely magnetit (Fe_3O_4) kristályokat tartalmaz, és a baktériumok mágneses térben való orientálódását biztosítja, amellyel az optimális vízrétegben való elhelyezkedését segíti. Számos ilyen baktérium nagyon alacsony oxigénkoncentrációs feltételek között növekedik (például a *Magnetospirillum magnetotacticum*), és ezeket a sejteket a magnetoszómák az alacsony oxigéntartalmú üledékes rétegek felé irányítják.

A magnetoszómákat határoló egyrétegű membrán foszfolipideket, fehérjéket és glikoproteineket tartalmaz. Ez a membrán nem egységmembrán, olyan, mint a poly- β -hidroxibutirát zárványokat körülvevő membrán.

A magnetoszóma membrán fehérjéinek valószínűleg a Fe^{3+} kicsapódásában van szerepe, melyek kelátképző ágensek által oldékony állapotba jutnak a sejtbe.

A magnetoszómák morfológiája fajspecifikus, alakjuk a kockától a tűske alakig változik, legtöbb esetben láncokat alkotnak (2.11. ábra).



2.11. ábra. Különböző magnetotaktikus baktériumok sejtjeiben megfigyelhető magnetoszómák (Bazyliński–Frankel 2000)

2.2.4. Tápanyagok felhalmozása a citoplazmában

Amikor a tápanyagellátás bőséges, a baktériumok a sejtben belül zárványok vagy granulomok formájában tápanyagot halmoznak fel, és ezeket később mobilizálják, amikor a tápanyag elfogy a környezetükből.

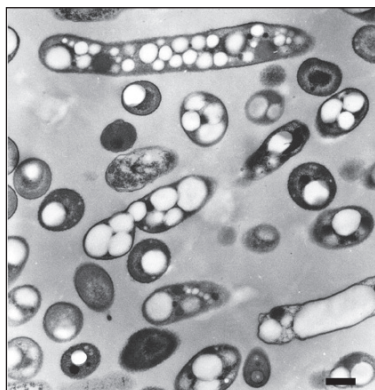
A zárványokat vékony lipidtartalmú membrán határolja.

Szén- és energiaforrás-tartalékként a nitrogént nem tartalmazó granulomok fordulnak elő. Idetartoznak a poliszacharid- és a zsírzárványok.

Egyes baktériumok a glükózt glikogén vagy keményítő formájában raktározzák. Két poliszacharid alkot zárványt a baktériumoknál: a **glikogén** és a **bakteriális keményítő**. Glikogént főleg enterobaktériumok képeznek, mely Lugol-oldattal sárgás-barnára festődik. Keményítő az anaerob *Clostridium* fajoknál képződik. Lugol-oldattal kékre festődik.

A zsírzárványokat zsírban oldódó festékekkel lehet kimutatni (szudánfekete). A zsírszemcséket megfestik, de a citoplazma többi részét nem. Sajátosságuk, hogy nem trigliceridek alkotják, hanem **poli- β -hidroxi-butirát** (a vajsavnak egy származéka). A vajsavmonomerek észterkötéssel kapcsolódnak egymáshoz, hosszú PHB-polimereket alkotva, melyek a granulomokba tömörülnek. A monomerek száma átlagban 60. A PHB elérheti a szárazanyag 50%-át. A monomerek szénatomszáma 4 és 18 között lehet, mivel a β helyzetű szénatomhoz kapcsolódó CH_3 -csoporthoz szubsztitúcióval hosszú szénhidrogénláncok kötődhetnek.

Számos baktériumfaj (Bacteria, Archaea) képez PHB-zárványokat, mint pl. a *Rhodovibrio sodomensis*. PHB-t termelnek a heterotróf baktériumok: az obligált aerobok és a fakultatív anaerobok O_2 jelenlétében. A fototrófok szén-dioxidot kötnek meg és PHB-t szintetizálnak anaerob körülmények között.



2.12. ábra. Zsírzárványok a *Wautersia eutropha* baktérium sejtjeiben (Tian–Sinskey–Stubbe 2005)

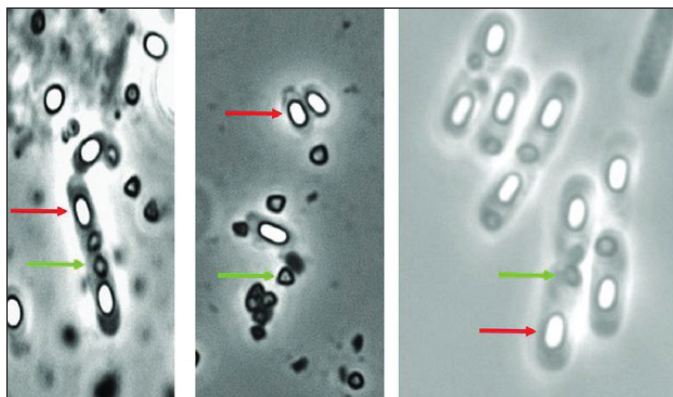
A PHB-granulumok (2.12. ábra) biológiai jelentősége az, hogy széntartalékok, és a C/N-szabályozásban van szerepük. Amikor a környezetben szénhiány van, de a nitrogénmennyiség nő, a PHB mobilizálódik és a granulumok eltűnnek. Fordítva, ha a környezet hiányos nitrogénben és gazdag szénben a PHB-képződés serkentve van.

Fehérjezárványt a *Bacillus thuringiensis* baktériumfajból mutattak ki. A spóraképzés állapotában levő sejtekben egy fehérje természetű bipiramidális kristály képződik (2.13. ábra). Ezek a zárványfehérjék mérgező hatásúak a lepkék lárváira. Felhasználható a biológiai védekezésben, az erdőket és gyümölcsfákat pusztító lepkelárvák leküzdése céljából.

A baktériumok általában nem tartalmazznak nitrogéntartalmú tartaléktápanyagokat. Kivételt képeznek a cianobaktériumok, melyekben **cianoficin granulumok** találhatóak. Ezek az argininnek és az aszparaginsavnak a ko-polimerjei.

Számos mikroorganizmus szervesen foszfáttartalékokat halmoz fel **polifoszfát-granulumokat** képezve. Ezek a granulumok foszfátforrásként szolgálnak a nukleinsav és a foszfolipid szintézishez. A volutin az *o*-foszforsav lineáris polimerje, szintézisét a polifoszfát-kináz katalizálja.

A polifoszfát-granulumokat (volutinszemcsék) metakromatikus szemcséknek is nevezik. A metakromázia olyan jelenség, amikor a megfestett szerkezet más színre festődik, mint a festék színe (pl. metilénkéssel lilára festődik). A metakromatikus viselkedést meghatározó *o*-foszforsav mellett a volutin összetételében RNS és Mg^{2+} , valamint fehérje- és lipidmolekulák is részt vesznek.



2.13. ábra. A *Bacillus thuringiensis* baktériumsejtek a spóráképzés állapotában. A fehérjezárványokat a zöld nyilak mutatják, a pirosak pedig a spórákat (Allende et al. 2016)

Ezek a zárványok nagy mennyiségben találhatóak a *Spirillum volutans* baktérium sejtjében. Megközelítőleg gömb alakúak. Képződésük faji jellegű, de függ a táptalaj összetételétől is. A *Mycobacterium* nemzetségben valamennyi faj termel volutint, a *Corynebacterium* nemzetség esetében a betegséget okozó baktériumok tartalmazzák (pl. a *Corynebacterium diphtheriae*) ezt az anyagot (2.14. ábra). A *Pastorella* fajoknál a volutinszemcse bipolárisan helyezkedik el. Nem képződik volutin olyan táptalajon, amely elégtelen mennyiségben tartalmaz foszfort.



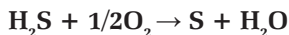
2.14. ábra. A *Corynebacterium*-sejtekben található volutinszemcsék <https://microbeonline.com/cytoplasmic-granules-of-bacteria-and-their-significance/>

A bíborszínű kénbaktériumok és a színtelen kénbaktériumok sejtjeiben nagyméretű **kénzárványok** figyelhetők meg. A kén elemi kolloidális formában van jelen, a sejtben mind gömbölyded cseppek figyelhetők meg, melyeket egy fehérjeterэг vesz körül. Az elemi kén kén-hidrogénből képződik.

A bíborszínű kénbaktériumok kén-hidrogént hasznosítanak elektrondonorként:



A színtelen kénbaktériumok kén-hidrogént oxidálnak energiaforrásként:



Ha a közegből elfogy a kén-hidrogén, akkor ezek a baktériumok rátérnek a zárványban lévő S oxidálására, miközben kénsav képződik, és a felszabaduló energiát felhasználják saját szerves anyagaiknak a szintéziséhez, a zárványok pedig eltűnnek a sejtből.

Vannak olyan bíborszínű kénbaktériumok, melyek képeznek ként, de ez nem a sejtben halmozódik fel, hanem a sejt felszínén vagy környezetében. Ilyen például az *Ectothiorhodospira*.

2.2.5. A citoplazmahártya

A citoplazmahártya a sejtfa alatt helyezkedik el, a citoplazmát kívülről határolja, kapcsolatot létesít a sejt belseje és külső környezete között. 7-8 nm vastagságú, rugalmas hártya. A citoplazmahártya jelenlétét bázikus festékekkel végzett festéssel, valamint elektronmikroszkóppal mutatták ki. Kémiai összetételét tiszta állapotban tanulmányozták. Első lépésként a sejteket lizozimmal kezelték, ami elroncsolja a baktériumok sejtfaában lévő mureint. A lizozimmal való kezelés után szabaddá válik a protoplaszt vagy a szferoplaszt, amiket EDTA-val (etilén-diamin-tetraacetát) roncsolnak. A következő lépés a DNS-bontó enzimmel történő kezelés. Ezt követi a centrifugálás, így az üledékből kinyerhető a tiszta citoplazmahártya.

A citoplazmahártya vegyi összetétel szempontjából fehérjékből (60-70%) és lipidekből (30-40%) áll. A foszfolipidek azonosak a többi élő szervezet sejthártyájában is előforduló foszfolipidekkel. A baktériumok jellegzetes foszfolipidje, amely nem található meg az eukarióták sejthártyájában, a kardiolipin (difoszfatidil-glicerol). A bakteriális biomembránok általában nem tartalmaznak szteroidokat, kivételt képez a mikoplazmák és a metanotróf baktériumok citoplazmahártyája, amely az állati sejtekhez hasonlóan koleszterint tartalmaz. Számos baktérium citoplazmahártyájában található hopanoidok, amelyek pentaciklikus szteroidszerű molekulák és a sejthártya stabilizálásában van szerepük. A citoplazmahártyát alkotó fehérjék egy része enzim, melyek aktivitásukat megőrzik a tisztított citoplazmahártyában is. A citoplazmahártyában citokromokat, különféle dehidrogenáz és savas foszfatáz enzimeket mutattak ki.

Az ósbaktériumok, melyek általában extrém körülmények között élnek, membránjukban sokkal stabilabb glicerintereket tartalmaznak, melyekben a hidrofób

részt elágazó láncú szénhidrogének alkotják (fitán, bifitán és más izopropén származékok). Szerolt és hohanoidot nem tartalmaznak. Az ősbaktériumok citoplazmamembránjának felépítése egyedülálló az élővilágban és legfontosabb megkülönböztető bélyegük.

A prokarióta sejtek citoplazmahártyája szerkezetét tekintve megegyezik az eukariótasejtek membránjával. A kettős lipoproteid rétegben a lipidek poláris régiói kifelé „néznek”, míg az apoláris régiói a réteg belsejében foglalnak helyet. A membránfehérjék helye nem stabil, egyesek a citoplazma felől csak a lipidek apoláris régióit érik el, mások keresztülhatolnak a membránon. A citoplazmahártya szerkezetében részt vevő glikolipidek és glikoproteinek főleg a külső részben helyezkednek el.

A citoplazmamembrán félig átteresztő, ezért fontos szerepet játszik a baktériumok táplálkozásában és anyagkiválasztásában. A tápanyagok a sejtfal pórusain jutnak be és kerülnek kapcsolatba a citoplazmahártyával, és a transzportfehérjék által a citoplazmába szállítódnak. A kiválasztási termékek ellentétes irányban ugyanezen az úton haladnak. A baktériumok sejthártyáján keresztül néhány molekulának (pl. víz) kivételével nagyon kevés vegyület képes passzív diffúzióval áthatolni. A legtöbb oldott anyag szállítása specifikus transzportfehérjéket és transzportmechanizmusokat igényel.

Mivel a prokarióták nem rendelkeznek mitokondriumokkal, az energiaszolgáltatás enzimejei is a sejtmembránon lokalizálódnak.

A citoplazmahártyából származtathatók a mezoszómák és a fotoszintetikus készülék elemei, így részt vesz ezek szintézisében és működésében.

A citoplazmahártya részt vesz a baktériumtok és a sejtfal szintézisében, az előspóra kialakulásában.

Szerepet játszik a sejt növekedésében, a DNS reduplikációjában és a sejtek osztódásában.

A citoplazmahártya biztosítja a csillók mozgását a protonmozgató erő kialakítása révén.

A **mezoszóma** a citoplazmamembrán betüremkedése. Főleg a Gram-pozitív baktériumokra jellemző, ritkábban jelenik meg a Gram-negatív baktériumoknál. Olyan anyasejtekben figyelték meg, amelyek éppen osztódtak. A leendő két leánysejtet elválasztó fal (szeptum) mentén jelenik meg a mezoszóma, növeli a különböző funkciók ellátásában részt vevő membránfelületet. A mezoszómák részt vesznek a sejtfal bioszintézisében, szerepük van sejtosztódáskor a genetikai anyag eljuttatásában az utódsejtekbe és a spóraképződés folyamatában. A mezoszómák alakja és szerkezete zacskóra emlékeztet, melynek falát a citoplazmahártya alkotja, belsejében hólyagocskák vagy kisebb csövek figyelhetők meg. Ritkábban a zacskó belsejében lemezes képződmények láthatók.

A sejtnedv az a folyadék, amely centrifugálás után alakul ki, ha a centrifugálásnak dezintegrált baktériumsejteket vetettek alá. Szerves és szervetlen anyagokat tartalmaz:

1. makromolekuláris szerves anyagok: fehérjék, tRNS, poliszacharidok,
2. mikromolekuláris szerves anyagok: aminosavak, nitrogénbázisok, egyszerű cukrok, a pigmentképző baktériumok festékanyagai,
3. szervetlen anyagok: víz és különböző sók.

A baktériumsejtek belsejében egy nagy viszkozitású folyadék, a protoplazma található. A különböző tápanyagok oldatban vannak jelen. Számos bioszintetikus és energiaszolgáltató folyamat színtere. Itt található a maganyag, a riboszómák, a mezoszóma, valamint a vakuólumok, a granulumok, a zárványok.

2.2.6. A sejtfa

A sejtfa egy külső merev szerkezet, mely körülveszi a citoplazmahártyát. Egyes baktériumoknál tok borítja, másoknál a sejtfaon áthatolhatnak a csillók és a pilusok.

Tisztított sejtfaalkészítmények vegyi elemzése során kiderült, hogy a sejtfa két részből áll:

- a) parietális alapszerkezetből,
- b) mátrix alapanyagból, amelybe be van ágyazva az alapszerkezet.

Az eubaktériumoknál a parietális alapszerkezetet egy mukopeptid alkotja, melynek neve **murein** vagy **peptidoglikán**. Az archebaktériumoknak sejtfa nem tartalmaz mureint. A mycoplazmák nem rendelkeznek sejtfallal. A murein mennyisége nagyobb a Gram-pozitív baktériumoknál, mint a Gram-negatívoknál. A Gram-pozitívoknál a sejtfa szárazanyagának 40-90%-át teszi ki, míg a Gram-negatívoknál 5-20%-át.

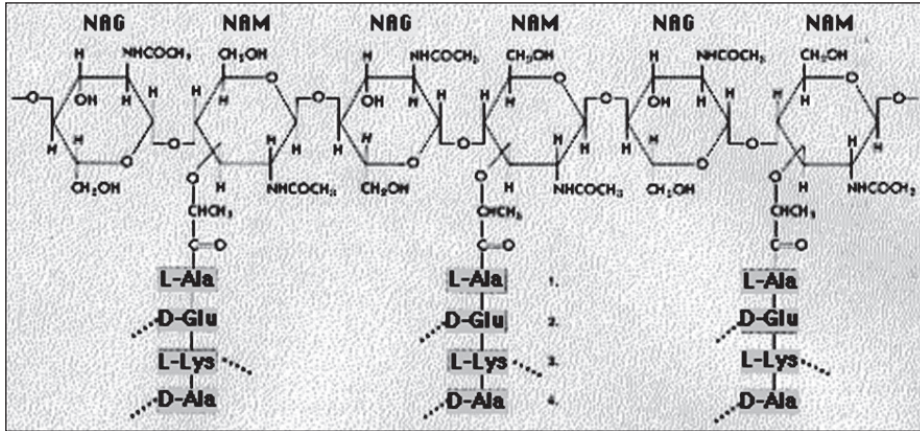
A baktériumok sejtfalában nincs cellulóz. Vannak baktériumok, melyek képeznek cellulózt, mint pl. az *Acetobacter xylinum* és a *Sarcina ventriculi*, de a cellulózt nem építik be a sejtfalba, hanem finom rostok formájában halmozzák fel a sejt felszínén.

A peptidoglikán egy olyan térhálós óriásmolekula, amely alternáló N-acetil-glükózamin és N-acetil-muraminsavból felépülő glükánból és a **glükánláncok** között keresztkötéseket létrehozó rövid peptidekből épül fel (2.15. ábra). A **kereszt-kötő peptidok** szerkezete az egyes baktériumcsoportokban eltérő. A Gram-negatív baktériumok sejtfalában a poliszacharidláncokat tetrapeptidhidak kötik össze, a Gram-pozitív baktériumok esetében a tetrapeptidhidakat is egy vagy több aminosav kapcsolja össze. Így például a *Staphylococcus aureus* esetén 5 glicinmolekula.

Az aminosavak természete a különböző baktériumoknál más és más. Egyes aminosavak L-, mások D-konfigurációjúak. Az archebaktériumok sejtfalában nincsenek D-aminosavak. A mureinben levő peptid tartalmazhat egy nagyon ritka aminosavat, a mezo-2,6 diamino-pimelinsavat.

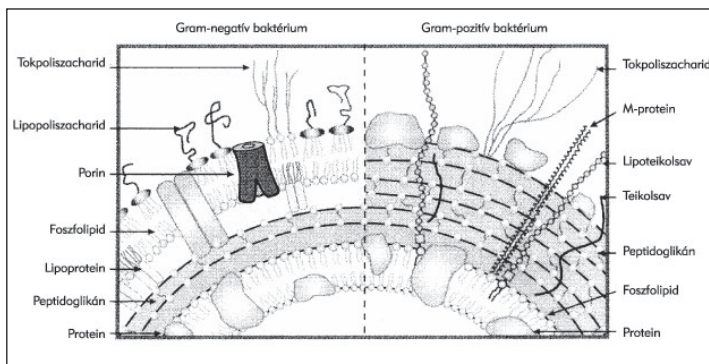
A **lizozim** mureolitikus (sejtfaoldó enzim). Jelen van az emberi és állati szervezetben (könnyben, nyálban, vérplazmában, anyatejben). Nagy mennyiségben van jelen a tyúktojásban (iparilag innen állítják elő). Poliszacharid enzim, mely a

murein poliszacharidláncában hidrolitikusan elbontja a β -1-4 kötést. Lizozimszerű enzimet tartalmaznak egyes bakteriofágok, sőt egyes növényekből is kimutatták.



2.15. ábra. A peptidoglikán felépítésében részt vevő glükán és a keresztkötő peptidek szerkezete (NAG: N-acetil-glükózamin, NAM: N-acetil-muraminsav) (<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/M/murein.gif>)

A lizozim hatására a baktérium elveszti a sejtfalát, átalakul protoplaszttá vagy szferoplaszttá. Ezek egyformán gömb alakúak. A protoplasztra jellemző, hogy egyáltalán nem marad sejtfa. A szferoplaszt olyan képlet, melyben szigetenként megmarad a sejtfa maradéka.



2.16. ábra. A Gram-pozítív és a Gram-negatív baktériumok sejtfalának szerkezete (<http://www.elitmed.hu/folyoiratok/immun/0304/31.jpg>)

A **protoplaszt** és a **szferoplaszt** nagyon labilis szerkezetek, így szétesnek, elpusztulnak. Csak olyan közegben maradhatnak meg, amelyeknek az ozmotikus nyomása megfelel a protoplaszt és a szferoplaszt ozmotikus nyomásának. Ilyen

körülményeket létre lehet hozni laboratóriumi körülmények között. Az emberi szervezetben a lizozim hatására egyből szétesnek.

A mátrix kémiai összetétele más a Gram-pozitív baktériumoknál, mint a Gram-negatívoknál (2.16. ábra).

A Gram-pozitív baktériumok sejtfa

A Gram-pozitív baktériumokat egy vastag, 10-80 nm, több réteg peptidoglikánból álló sejtfa határolja. A Gram-pozitív baktériumok sejtfalának mátrixa kevésbé komplex szerkezetű, poliszacharidokból áll, és kivételesen beépülhetnek fehérjék és lipidek is.

A vastag peptidoglikánhoz savas poliszacharidok, elsősorban teichoinsav és lipoteichoinsav kapcsolódnak.

A **teichoinsav** a peptidoglikánhoz kapcsolódik, és permeabilitási barriert képvisel.

A **lipoteichoinsav** a citoplazmamembránhoz kötődik, melynek szerepe a peptidoglikán rögzítése.

A teichoinsavaknak 2 csoportja van: a glicerol teichoinsav a glicerol-foszfát polimerje, a ribitol teichoinsav a ribitol-foszfát polimerje. A teichoinsav egyrészt a sejtfa szerkezetét tartja egyben sejtosztódás és növekedés során, másrészt a sejtfa felület negatív töltését biztosítja. A teichoinsavak antigénként viselkednek. A bakteriofágok és a bakteriocinek számára kötődési helyet biztosítanak.

A sejtfa és a sejtmembrán szorosan illeszkedik egymáshoz, közöttük alig van rés.

A Gram-pozitív sejtfa különleges típusát képviselik a mikolsavtartalmú sejtfa. A mikolsavak elágazó 2-alkil-3-OH zsírsavak hosszú zsírsavlánccal, amelyek szénatomszáma általában 24-90-ig változhat. Esetenként a sejtfa szárazanyag-tartalmának 60-80%-át is alkotják. A *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Corynebacterium* nemzetségekbe tartozó baktériumokra jellemző. Mivel a tápanyagoknak át kell jutniuk a sejtfa falon, az anyagcsere lassú, ezek a baktériumok általában lassan növekednek, viszont a környezeti hatásokkal szemben a sejtfa faluknak köszönhetően ellenállóbbak.

A Gram-negatív baktériumok sejtfa

A Gram-negatív baktériumok sejtfalának mátrixa nagyon komplex, lipopoliszacharidokból, lipoproteinekből és fehérjékből áll. Nem tartalmaz teichoinsavat.

Legkívül egy úgynevezett külső membránt, ez alatt egy vékony peptidoglikán réteget tartalmaz, majd pedig a sejtmembrán következik. A vékony peptidoglikán-réteg mindkét oldalán, a sejtmembrán és a külső membrán által határoltan, egy kiterjedt rés található, melyet periplazmatikus térnek nevezünk.

Az OM (outer membrane) külső rétege tartalmazza az ún. lipopoliszacharidokat (LPS), melyek eltérőek a különböző Gram-negatív baktériumokban. Három

lényeges molekulárszt tartalmaznak: a lipid A, az R core (valaminek a magja, veleje) régió és az O oldallánc.

A lipid A 6-7 telített zsírsavláncot tartalmaz egy foszforilált glükózamin-dimerhez kapcsolódva, ami az LPS-molekulát a külső membránhoz lehorgonyozza. Ehhez kapcsolódik az R core régió, ami egy rövid cukorlánc, melyben két szokatlan szerkezetű cukor, a 2-keto-3-dezoxi oktansav és heptóz található. Ehhez kapcsolódik a hidrofil O oldallánc, ami egy hosszú, ismétlődő tetra- és pentaszaharidokból álló cukorlánc. Ez felelős a Gram-negatív baktériumokban az ún. O antigenitásért. Az elnevezés a német ohne (valami nélküli) szóból származik, és ezen baktériumok flagellumnélküliségére utal.

A külső membrán kívülről behatárolja a periplazmát. A periplazma egy olyan tér, melyben a táplálékmolekulák emésztéséért felelős enzimek és a transzportfolyamatok kötőfehérjéi találhatóak.

A külső membrán jelentős szerepet játszik a sejt szerkezeti integritásának a fenntartásában. Negatív felszínt biztosít és permeabilitási gátat jelent bizonyos anyagok (antibiotikumok, lizozim, detergenssek) számára. A külső membrán nem akadályozza a tápanyagok felvételét. Ezek a porin fehérjék által létrehozott csatornákon keresztül átjutnak a külső membránon. Receptorokat tartalmaz, melyek bakteriocineket és bakteriofágokat köthetnek meg. Részt vesz a sejtosztódás és a konjugáció folyamatában.

A peptidoglikán réteg tartalmaz egy kis specifikus lipoproteint, melyet murein lipoproteinnek nevezünk, és amely a külső membránhoz horgonyzódik le.

A sejtfal épsége létfontosságú a baktériumsejtek számára. Számos antibiotikum azáltal hat, hogy meggátolja a murein szintézisét. A β -laktámok, pl. penicillinek és cefalosporinok gátolják a peptidek közötti kötések kialakulását, a transzpeptidációt. Ezáltal nem jön létre egy erős, az ozmotikus nyomásnak ellenálló sejtfal. Csak az osztódó sejtekre hatnak.

A baktériumok is termelnek sejtfal bontására képes enzimeket (endopeptidázok, glükozidázok, muramidázok).

A sejtfal biológiai szerepe a baktériumoknál

A sejtfal védi a baktériumsejtet a környezet káros mechanikai, fizikai és kémiai hatásával szemben.

Biztosítja a sejt integritását azáltal, hogy a sejtfal merev, ami a mureinnek köszönhető.

Ha a sejtfalat eltávolítják, nem életképes képletek, protoplaszt, szferoplaszt képződnek. Ezek izotónikus közegben gömb alakúak. A sejtfal ellensúlyozza a sejttartalom ozmotikus nyomását, normális körülmények között fenntartja a sejt egységét.

Léteznek pálcika és spirális alakú baktériumok, ha nem lenne sejtfal, minden gömb alakú lenne. A sejtfal meghatározza a baktériumsejt alakját.

A sejtfa nemcsak merev, de rugalmas is. Ha a baktérium sejtfa beleütközik egy szilárd tárgyba, a sejtfa rövid időre deformálódik, ütközés után pedig visszanyeri eredeti alakját.

A baktérium, sejtfalának köszönhetően megnyúlhat, benne feszültségek jöhetnek létre, anélkül, hogy a sejtfa szétdarabolódna.

A sejtfalnak szerepe van a táplálkozási és a kiválasztási folyamatokban. A tápanyagok a sejtfa pórusain a sejtbe jutnak, a kiválasztási termékek a pórusokon távoznak. A murein teichoinsavak elektromosan negatív töltésűek, így ioncserélőként működnek, és szabályozhatják a sejtbe bejutó pozitív töltésű ionokat.

Tisztított sejtfa készítményekkel végzett kísérletek azt mutatják, hogy ezek is megkötik a bakteriofágokat. A sejtfa felszínén léteznek fágreceptorok. Az izolált protoplasztok nem kötik meg a bakteriofágokat, ezzel szemben a szferoplasztok képesek megkötni ezeket.

Az elkülönített protoplasztok nem képesek új sejtfalet létrehozni, nem képesek osztódni. A sejtfalnak szerepe van a baktériumsejtek szaporodásában.

Az izolált protoplasztok megőrzik a csillókat, de ezek képtelenek mozgásra. A sejtfalnak szerepe van a csillós mozgásban, szilárd támaszul szolgál a csillók mozgásához.

A baktériumok sejtfa megköti az autolizineket, amelyek a sejtfa alkotói közötti különböző típusú kötéseket hidrolizálják. Az autolizinek azáltal, hogy lokalizáltan és szigorúan szabályozott módon megbontják a sejtfalet, lehetővé teszik az új sejtfaelemek beépülése révén a sejtek növekedését, a harántfalak kialakulását és a sejtek osztódását, ugyanakkor a spóráképző fajoknál biztosítják a spóra kiszabadulását a sporangiumból és az egyes anyagcseretermékek (exotoxinok, exoenzimok) kiválasztását.

Az archebaktériumok sejtfa

Az ősbaktériumok sejtfa eltér az eubaktériumok sejtfalának szerkezetétől és nagyon változatos lehet. A sejtfa általában pszeudomureinből, heteropoliszacharidból vagy fehérjékből áll.

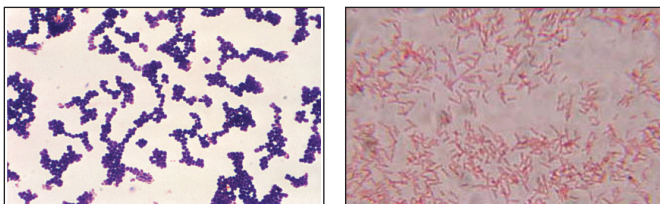
Számos metántermelő ősbaktérium sejtfa pszeudomureint tartalmaz, amelynek szerkezete a mureinéhez hasonló, de a glükánláncok összekötése β (1-3) kötéssel valósul meg, valamint az N-acetil-muraminsav helyett N-acetil-talozamin-uronsavat tartalmaz. A pszeudomurein rezisztens a β -laktám antibiotikumokra és számos litikus enzimre is.

Más ősbaktériumok pszeudomurein helyett heteropoliszacharid sejtfalet tartalmaz. Ennek leggyakoribb elemei az N-acetil-glükózamin, N-acetil-galaktózamin, glükóz, glukuronsav, ecetsav és a glükózamin-uronsav. A halofil ősbaktériumoknál előfordul, hogy a heteropoliszacharid sejtfa szulfátot tartalmaz. A szulfátion negatív töltése megköti a Na^+ -ionokat, amivel segíti a sejtfa stabilizálását extrém sós környezetben.

Egyes fajoknál a sejteket egy hatszögesen vagy négyszögesen elhelyezkedő fehérje vagy glikoprotein-alegységekből felépülő S-réteg (surface layer) veszi körül. Ilyen S-réteg számos eubaktérium esetében is megtalálható.

Gram-festés

A Gram-festés a mikroorganizmusok vizsgálatára alkalmas kettős festési módszer. Hans Christian Gram dán tudós dolgozta ki 1884-ben a kórokozó baktériumok kimutatására szövetekben. A Gram-festés alapján a baktériumok 2 csoportra oszthatók aszerint, hogy megtartják-e a festési módszernél elsőként használt festék kékes-ibolya színét (Gram-pozitív mikroorganizmusok), vagy azt elveszítik, és a második festésnél rózsaszínűre színeződnek (Gram-negatív mikroorganizmusok). Bár akkor az eltérő festődés oka ismeretlen volt, a festődés hátterében a baktériumsejtfal szerkezet alapvető különbsége áll.



2.17. ábra. A Gram-pozitív *Staphylococcus aureus* és Gram-negatív *Echerichia coli* baktériumok mikroszkópi képe

(https://ebrary.net/67955/health/staphylococcus_aureus, <http://web.cn.edu/stkarr/gramstai.htm>)

A Gram-festési eljárás során egymást követően kristályibolya és kálium jodidos jóddal történő festés, alkoholos mosás, majd szafraninnal történő festés követi egymást. A kristályibolya (hexametil-pararozanilin) vizes oldatban kristályibolya- (CV– cristal violet) és klorid- (Cl) ionokra disszociál. Ezek az ionok behatolnak a Gram-pozitív és a Gram-negatív baktériumok sejtfalába. A kristályibolya-ionok a baktériumsejt negatív töltésű komponenseivel kerülnek kölcsönhatásba, és a sejtet lilára színezik. A kálium-jodidos jóddal a kristályibolyával nagy kristályokat képez, amelyek a peptidoglükán térhálóban megrekednek. Mivel a peptidoglükán térrács a Gram-pozitív sejtek falában vastagabb, ezért ezek festődése intenzívebb. A Gram-negatív baktériumok esetében az alkoholos mosás a külső membrán lipidjeinek kioldása után a vékony peptidoglükán rétegből könnyebben kioldja a festéket. Mivel ez után a lépés után a Gram-negatív sejtek színtelenek, a könnyebb felismerés céljából alkalmazzuk a második festést szafraninnal. A festés után a Gram-pozitív sejtek sötétlila színűek, a Gram-negatív sejtek pedig pirosak lesznek (2.17. ábra).

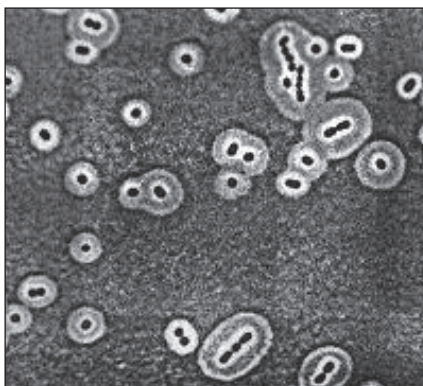
2.2.7. A baktériumtok

Egyes szaprofita és kórokozó baktériumok sejt felszínén egy nyálkás (mukoid) réteg képződhet, amelynek négyféle megjelenési alakja van:

- a) mikrokapszula nagyon vékony nyálkás réteg (< 200 nm), csak immunológiai módszerekkel mutatható ki,
- b) a tulajdonképpeni baktériumtok: vastagabb réteg (> 200 nm), jól körülhatárolt mukoid szerkezet, amely egy baktériumsejtet vagy több baktériumsejtet fed (2.18. ábra),
- c) mukoid réteg: vékonyabb vagy vastagabb réteg, nem pontosan körvonalazódott,
- d) zooglea: a mukoid anyagok számos sejtet körülvevő egy nyálkamasszát hoznak létre.

A tok vastagsága fajtól és környezeti feltételektől függően változó, általában 200 nm.

Egyes fajok, például az *Azotobacter chroococcum* esetében meghaladja a sejt harántátmérőjét.



2.18. ábra. A baktériumtok
(http://textbookofbacteriology.net/structure_4.html)

A baktériumtok kimutatása

Natív készítményeken a tok nem látható a fénymikroszkópban, mivel a tok-anyag fénytörése megegyezik a víz fénytörésével. Affinitása a festékekkel szemben nagyon csekély. Elektronmikroszkópban a tok jelenlétét abból lehet megállapítani, hogy a tok elmossa a sejt körvonalát. A *Pneumococcus*oknál a tokot még az elektronmikroszkóp sem mutatja ki, mivel a tok sűrűsége rendkívül kicsi.

A tok kimutatására immunológiai eljárásokat is alkalmaztak. Ha a tokos baktériumok szuszpenzióját antiszérummal kezelik, az antitestek a tokantigénekhez kapcsolódnak, aminek következtében a tok megduzzad, könnyebben láthatóvá

válík. A legegyszerűbb kimutatási módszer a tussal való negatív festés, a Burri-módszer.

A baktériumtok kémiai összetétele:

- a) Nitrogéntartalmú poliszacharid tok: a pneumococcusok (*Streptococcus*) I-es típusára jellemző: a tok olyan poliszacharidból áll, amely kétféle monoszacharid polimerizációjából jön létre: galakturonsav és N-acetil-glükózamin.
- b) Nitrogénmentes poliszacharidból álló baktériumtok: a III-as típusú pneumococcusoknál, ahol a tokpoliszacharid 2 fajta monoszacharidból áll: glükózból és glükuronsavból. A *Leuconostoc mesenteroides* esetében a poliszacharid dextrán, a *Bacillus subtilis* esetében leván.
- c) Polipeptid természetű baktériumtok: a lépfene bacillusnál fedezték fel (*Bacillus anthracis*). A polipeptid a D-glutaminsav polimerje.
- d) Poliszacharid-polipeptid szerkezetű tokanyag: a *Bacillus megaterium* M törzsénél írták le. A tokanyag egy poliszacharidból és egy polipeptidből áll (a polipeptidet D-glutaminsav alkotja).
- e) Poliszacharid és protein szerkezetű tok: egyes *Streptococcus*oknál írták le. A tok tartalmaz hialuronsavat és a sejtfal alkotásában is részt vevő M-fehérjét.

A tok különböző módszerekkel (például sóoldatokkal való kezelés, enzimatisus hidrolízis) eltávolítható, de friss táptalajra kerülve ezek a baktériumok tovább élnek.

A legtöbb esetben a tok homogén, nincs differenciált szerkezete, csak két esetben figyelték meg a tok differenciáltságát szerkezeti szempontból: a III-as típusú pneumococcus és a *Bacillus megaterium* M tokja esetében.

A tok szintézisét befolyásolhatják vagy nem a környezeti feltételek. Így például a dextrán és a leván csak szacharóz vagy rafinóz jelenlétében képződik, viszont a *Streptococcus*oknál a tok szintézise és összetétele független a környezeti feltételektől.

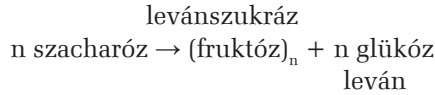
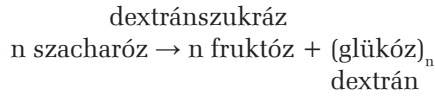
A tok lehet parietális, endo- vagy extracelluláris eredetű.

A parietális eredetű tok úgy képződik, hogy a sejtfal bizonyos alkotórészei megduzzadnak és elkocsonyásodnak. Ilyen a tok azoknál a *Streptococcus*oknál, amelyek hialuronsavat és M-proteint tartalmaznak mind a sejtfalban, mind a tokban.

A tok legtöbbször endocelluláris eredetű. A tokanyagot a citoplazmahártya szintetizálja, majd ezután a tokanyag kiválasztódik és lerakódik a sejt felszínére.

Az extracelluláris tok esetén a tokanyag a külső környezetben szintetizálódik olyan enzim segítségével, amelyet a baktériumsejt kiválasztott a környezetbe. A tokanyag ezt követően lerakódik a sejt felületére.

A dextrán és a leván extracelluláris képződését a dextránszukráz és a levánszukráz enzim katalizálja. Mindkét esetben a legfontosabb enzimszubsztrátum a szacharóz. Ebből a dextrán és a leván a következő reakciók révén jön létre.



2.2.7.1. A tok biológiai szerepe

Victor Babeş mutatta ki, hogy a tokos baktérium virulenciáját elsősorban a tok határozza meg. A tok megakadályozza a fagocitákat, hogy bekebelezzék ezeket a baktériumokat. A tokos baktériumok tokmentes változatai avirulensek. A tokanyagok antigénként viselkednek (K-antigén vagy virulencia-antigén). A nyálkás tokanyagok lehetővé teszik a sejtek megtapadását és védik a sejteket a kimosódástól, ami szintén a virulencia fokozódását eredményezi.

A nem patogén baktériumok esetében a sejtek szilárd felületekhez való kötődése során a biofilm kialakulásában játszanak szerepet. A csúszó mozgást is segítheti a sejtfelszíni nyálkaréteg.

A tok védi a baktériumokat a baktériofágok támadásával szemben is.

A tok megvédi a sejtet a kiszáradástól.

A tok a baktériumok számára tápanyagraktárként szolgálhat. A tokanyagok a környezetből ionokat és különböző molekulákat kötnek meg, és ezeket a sejtek által elérhető közelségben raktározzák.

A talajokban és vizekben élő, tokkal rendelkező baktériumok bizonyos mértékig védettek a véglényekkel szemben.

A talajokban képződő levánok és dextránok összeragasztják a talajrészecskéket, és így létrehozzák a talaj termékenységében fontos szerepet játszó talajszerkezetet.

A dextránt vérplazmapótlóként is használják a gyógyászatban.

Egyes baktériumok olyan nagy mennyiségben termelnek tokanyagot, hogy ipari termeltetésre is használják őket. Ilyen a *Leuconostoc mesenteroides* által termelt dextrán (α -1,6 kötéseket tartalmazó poliglükóz), a *Streptococcus salivarius* által termelt leván (β -2,6 kötéseket tartalmazó polifruktóz) vagy a *Xanthomonas spp.* nemzetség által termelt xantán (β -1,4 kötéseket tartalmazó poliglükóz, melyben minden második glükózhoz mannóz, acetilmannóz vagy glükuronsav kapcsolódik).

A dextránok és levánok képződésének vannak negatív hatásai is. A *Leuconostoc mesenteroides* például elszaporodhat a mezőről begyűjtött cukorrépában, és a benne lévő szacharózt átalakítja dextránná. Ennek következtében a répa nyálkás tömeggé válik, a cukortermelés hozama pedig lecsökken.

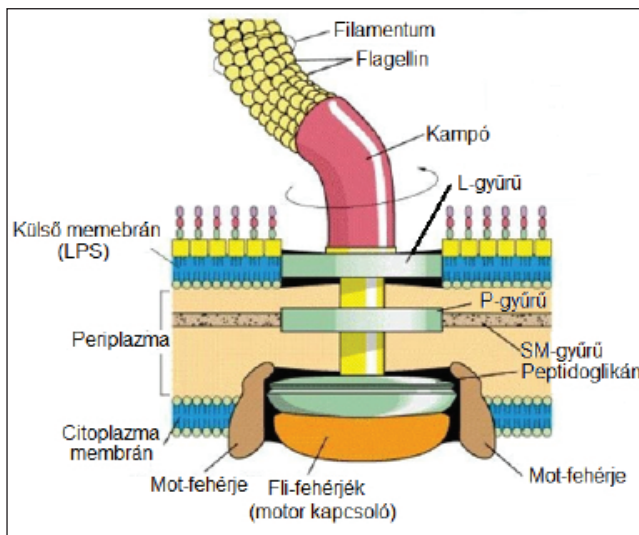
A szájüregben élő baktériumok dextránokat és levánokat képeznek, amelyeknek szerepük van a fogak szuvasodásában. Ezek a poliszacharidok képezik az alapanyagát a fogakon lévő lepedéknek. A foglepedék lehetővé teszi, hogy abban a baktériumok elszaporodjanak, mivel a két poliszacharid elágazó szerkezetű, és az ágak közötti térben a baktériumok védettek a nyál hatásával szemben. Szerves savakat termelnek, melyek megtámadják a hidroxí-apatitot, amely a kemény fogszövetek alapanyagát képezi. A dextránok és levánok a foglepedékben csak szacharózból képződnek. A szacharóz a leginkább szuvasodást okozó cukor.

2.2.8. A prokarióta sejt felszínének szerkezete

2.2.8.1. Csillók (flagellumok)

A csillók fonalas képződmények, melyek biológiai szerepe az aktív mozgás. A csillók a sejt hosszát többszörösen meghaladják. Helikális elrendeződés szerint, flagellin fehérje monomerekből épülnek fel, egy csőszerű képletet alkotva.

A csillók motoros szerve a **bazális test**, ami a citoplazmamembrán belső felszínén foglal helyet. Innen egy **kampó** vezet ki a felszínre, és fehérjekoron-
gok rögzítik a sejtburkok rétegeihez. A kampóhoz csatlakozik a **flagellin polimer** (2.19. ábra).



2.19. ábra. A baktériumcsilló felépítése
(<https://onlinesciencenotes.com/structure-and-arrangement-of-flagella-and-types-of-flagellar-motility/>)

A flagellum mozgásához a citoplazmamembrán két oldala közt fennálló protongradiens szolgáltatja az energiát. Minden egyes csillóveréshez egy ATP-molekula hidrolízisére van szükség. A mozgás propellerszerű rotáció eredménye. Egyenletes, egyenes vonalú mozgás esetén az ostor az óramutató járásával ellentétesen forog, a sejtek pedig az óramutató járásával megegyezően forogva haladnak előre. A flagellum óramutató járásával megegyező irányú forgása a baktériumsejtnak bukdácsoló mozgást kölcsönöz, ezáltal teremtve meg az irányváltoztatás lehetőségét.

A csillós mozgás genetikai szabályozása bonyolult, számos gén, illetve gén-csoport vesz benne részt. Külön gének felelősek a szerkezeti felépítéséért, a mozgásért és a kemotaktikus reagálásért.

A csillós baktériumok lágy agar felületén a **rajzás** jelenségét mutatják, nagy szétterülő, szabálytalan telepeket alkotnak (2.20. ábra). Ennek a telepnek a megjelenési formájára utal a Hauch (lehelet) német szóból eredően a csilló H antigén elnevezése. A csillóknak szerepük van a patogenezisben is.

A spirochaeták mozgása endoflagellum segítségével történik, mely a periplazmatikus térben található és a sejt két végén rögzül. Forgásával a sejtet sajátos rotáló mozgásra készíteti. Az endoflagellum merev szerkezet, amely a mozgás mellett a sejtek alakjának a megőrzésében is szerepet játszik. A belső ostor morfológiája, szerkezet és összetétel szempontjából, a többi baktérium csillóihoz hasonló.

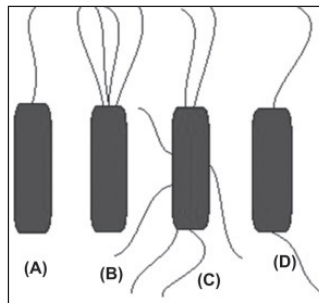
A csillók száma 1-100 között van. Nem minden baktérium rendelkezik flagellummal (atrich baktériumok). Csillóval rendelkezik minden *Spirillum* faj, a pálcika alakúak mintegy 50%-a és néhány coccus. A csillók helye lehet poláris, szubpoláris és pericelluláris.



2.20. ábra. A rajzás jelensége a *Proteus vulgaris* baktérium esetében (http://www.medmicro.info/atlas/bacteriology/proteus/atlas_en.html)

Ha figyelembe vesszük a csillók számát és helyzetét, több alaktani típust lehet megkülönböztetni (2.21. ábra):

- a) **monotrich:** 1 poláris csilló;
- b) **amfitrich:** mindkét póluson található egy csilló;
- c) **lofotrich:** ha az egyik póluson egy köteg csilló található; **amfilofotrich:** mindkét póluson egy-egy köteg csilló van;
- d) **peritrich:** a csillók körülveszik a sejtet;
- e) **szubpoláris:** a csillók vagy csillókötegek a pólus alatt találhatók.

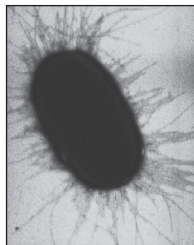


2.21. ábra. A csillók elhelyezkedésének néhány típusa: *monotrich* (A), *lofotrich* (B), *peritrich* (C), *amfitrich* (D)

(<https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/bacterial-flagellum>)

2.2.9. Pílusok és fimbríák

A pílusok és a fimbríák a baktériumsejt járulékos szerkezeti elemei közé tartoznak. A baktériumsejt felszínén megfigyelhető szerkezeti elemek. Nem a mozgás szolgálatában állnak. Elektronmikroszkóppal fedezték fel őket.



2.22. ábra. Fimbríák az *Escherichia coli* baktériumsejt felületén

([https://en.wikipedia.org/wiki/Fimbria_\(bacteriology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fimbria_(bacteriology)))

A pílus és fimbria elnevezést egyes szerzők szinonimaként használják. Célszerű azonban őket funkció szerint elkülöníteni (pílus=haj, fimbria=rojt).

A **fimbria** rövid, serteszerű képlet. A fimbriák funkciója az egymáshoz és más felületekhez való tapadás (2.22. ábra). Szerepük van egyes baktériumok patogénitásban, mivel ezekkel tapadnak a gazdaszervezet szöveteihez.

Kémiaileg fehérjepolimerizációs termékek.

Számuk nagy (50-400/sejt), hosszuk 0,2-1,5 μm és csak 4-10 nm vastagok.

Tápanyagokban szegény közegben nő azoknak a sejteknek a száma, melyek a felületen tapadnak. Ezek könnyebben tudják felvenni a szilárd test felületén levő anyagokat.

Megfigyelték, hogy több sejt összetapad a fimbriák révén, és a folyékony táptalajok felszínén lebegni tudnak (lepedéket alkotnak), és így könnyebben hozzájutnak az oxigénhez (így magasabb csíraszámot adnak a jobb oxigénellátás következtében). Ez a folyamat általában állóvizek felszínén játszódik le. Ugyancsak itt említhető a biofilmképzés.

Az **adhéziós fimbriák** fontos patogenitási faktorok. Számuk általában kevesebb, mint a közönséges fimbriáké. Specifikus receptorokhoz kötődnek. Többségük hemagglutináló, de ez csak bizonyos állatfajok vörösvértestjeire korlátozódik. Kifejlődésük rendszerint bizonyos hőmérsékleti optimumot, esetleg speciális táptalajt igényel. Számos baktériumfaj rendelkezik ilyen specifikus adhéziós faktorral. Például az *Escherichia colin*ak ismertek vékonybélhámra specifikus adhéziós fimbriái. A *Bordetella pertussis* fimbriáinak receptorai a légutak csillós hengerhámján helyezkednek el. Ismert olyan enterotoxinogén *E. coli* csoport, mely nemcsak embert, de háziállatokat is megbetegít, ennek ellenére a fertőzés állatról emberre (és viszont) nem terjed, mert más specifikus adhéziós fimbriái vannak ezen állatpatogéneknek, és mások a receptorok is.

Az adhéziós fimbriákat gyakran plazmid gének kódolják, de ha kromoszómális gének, akkor is kifejeződésük rendszerint labilis. Ez igen előnyös, mert nélkülözhetetlenek a patogenezis első lépéséhez, az adheráláshoz, viszont a szövetekben könnyebben fagocitálódnak, s itt a fimbriát vesztett változatok vannak előnyösebb helyzetben.

A **pílusok** szerkezeti szempontból megegyeznek a fimbriákkal, de hosszabb, csőszerű, rigid képletek. Számuk kevesebb, mint a fimbriáké (0-4/sejt). A pílus falát a pilinfehérje alkotja. Ezek a pilinmolekulák spirálisan tapadnak egymáshoz.

A pílus elektronmikroszkóppal jobban látható, ha vírusrészecskék kötődnek hozzá.

A **szezpílusok**at bizonyos plazmidok kódolják. Két baktérium között létesítenek kapcsolatot, mely genetikai információ átadásához vezet (2.23. ábra). Tapadási funkciójuk ezeknek is van, mivel a pílust növesztő donorsejt hozzátapad a pílussal a recipienshez, és a csőszerű képleten keresztül a donorból a recipiensbe DNS jut át.

A nagyobb számban található **I pílus** az antibiotikum-rezisztencia és bakteriocinogén faktorok (különleges toxinok és enzimek termelésére való képesség)

átvitelében játszik szerepet, míg a sejtenként csak 1-2 példányban előforduló **F pílus** a baktériumok szexfaktorának, az F plazmidnak az átjutását biztosítja.



2.23. ábra. A konjugációban szerepet játszó pílus
(<http://leavingbio.net/bacteria/>)

2.3. A baktériumok spóraképzése

A baktériumspóra aszexuális sejt, amely csak bizonyos baktériumoknál képződik, és lappangó állapotban megőrzi a sejt valamennyi genetikailag meghatározott tulajdonságát.

Több spóratípust leírtak, melyek közül legfontosabb az **endospóra**, ami rendkívül ellenálló a környezet káros behatásaival szemben. Az endospórák a baktériumok terjedését is megkönnyítik a szél, víz vagy állatok bélcsatornáján keresztül.

Az endocellulárisan képződő endospóra a legellenállóbb sejt. Azt a vegetatív sejtet, amely endospórává alakul át, sporángiumnak nevezik. A **sporángium** nem képes osztódni, egy sporángiumból csak egy endospóra képződik.

Az endospóra-képződés fontos taxonómiai jelleg. Endospórákat közel 20 nemzetség tagjai képesek létrehozni, melyek Gram-pozitív sejtfallúak, endospórákat képző ősbaktériumok nem ismertek. A pálcika alakú baktériumoknál ismert endospórákat létrehozó nemzetségek a *Bacillus*, *Sporolactobacillus*, *Clostridium* és a *Desulfotomaculum*. A gömb alakú baktériumoknál endospórákat a *Sporosarcina ureae* baktériumnál írták le. A spirális baktériumoknál nem létezik endospóráképző faj.

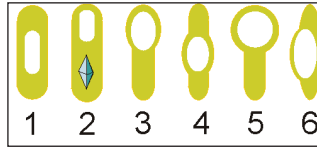
Az endospórák kimutatása:

1. Közvetlen – alaktani módszer: Közönséges mikroszkópi preparátumon a spóra ovális vagy gömb alakú, fénytörő képződményként látható. Csak akkor festődnek intenzíven, ha előzőleg korrozív anyagokkal kezelik (HCl), vagy ha a festéshez felmelegített oldatot (malachitzöld) használnak.
2. Indirekt – fiziológiai módszer: A baktérium-tenyészetet 10–15 °C-kal magasabbra melegítik, mint az illető baktérium maximális növekedési hőmérséklete.

A sporángiumban az endospóra különböző helyzeteket vehet fel, és átmérője kisebb vagy nagyobb lehet, mint a sejt harántátmérője. Az endospóra általában ovális, ritkábban gömb alakú. Kivételes esetben ugyanaz a faj képezheti mindkét alakú spórát (pl. *Bacillus megaterium*).

Az endospóra mérete és helye jellemző az adott baktériumfajra, ezeknek a jellegzetességeknek az alapján a spóráképző pálca alakú baktériumoknak három fő alaktani típusa különböztethető meg:

1. Bacteridium: a spóra átmérője kisebb, mint a sejt harántátmérője. Lehet centrális, szubterminális és terminális helyzetű (*Bacillus anthracis*).
2. Clostridium: a spóra átmérője nagyobb, mint a sejt eredeti átmérője, a sejt deformált alakú. A spóra centrális vagy szubterminális (*Bacillus polimyxa*, *B. circulans*, *Clostridium pectinolyticum*).
3. Plectidium: dobverő, gyufaszál alak, a spóra terminális helyet foglal el, harántátmérője nagyobb, mint a sejté (*Clostridium tetani*) (2.24. ábra).



2.24. ábra. A spórák helyzete. 1, 4 – centrális helyzetű spóra, 2, 3, 5 – terminális helyzetű spóra, 6 – oldalsó helyzetű spóra

2.3.1. Az endospóra szerkezete

Az endospóra alapszerkezete a különböző baktériumfajoknál nagymértékben hasonló, egyes szerkezeti elemek csak bizonyos spórák esetében vannak jelen.

Sporoplazma: sűrű citoplazmát és periferiális elhelyezkedésű nukleoidot tartalmaz.

Citoplazmahártya: körülveszi a sporoplazmát.

A spóra **sejtfala**, mely mureint tartalmaz.

Kortex (kéreg) olyan szerkezet, mely kevésbé sűrű, mint a sporoplazma, és beborítja a sejtfalat (2.25. ábra).

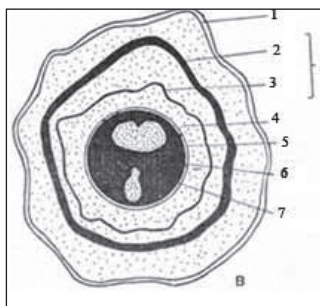
A **sejtburok** beborítja a kortextet. A burok szerkezete fajok szerint változik. A Bacteridium és a Clostridium alaktani típusoknál a burok 2 rétegből áll: intinából és exinából. Az exina a *Bacillus polimyxa*-nál rajzolatossá válik. A *Bacillus subtilis*-nél az exina és az intina között egy lamelláris réteg figyelhető meg, amely 5-8 koncentrikus lemezből áll.

Egyes szerkezeti elemek csak bizonyos spórákban vannak jelen:

Exospórium: hasonlít a baktériumtokra. Általában teljesen beborítja az endospórát, ritkábban rajta egy pórus vagy egy szélesebb nyílás látható.

Spórafüggelékek: a spóra egyik vagy mindkét pólusán helyezkednek el. Alakjuk változatos: pálcika, fonalas, madártollra emlékeztető szerkezetűek vagy pántlika alakúak.

Spórasüveg: kúp vagy félhold alakú. A spóra egyik pólusán jelenik meg. Szemcsés, hólyagos szerkezetű, belsejében gáz található.



2.25. ábra. Az endospóra szerkezete. 1: exospórium, 2: exina, 3: intina, 4: cortex, 5: spórasejtfal, 6: citoplazmahártya, 7: sporoplazma, 8: spóraburok

2.3.2. Az endospóráképzés mechanizmusa

Általában akkor következik be, amikor valamely, az aktív növekedéshez szükséges tápanyag elfogy. Első lépésben a DNS egy axiális filamentumot képez, amit a sejtmembrán betüremkedése követ, és létrejön az előspóra. A membrán betüremkedése folytatódik, és az előspórát az anyasejt endocitózisszerűen egy másik membránnal is körbevéve bekebelezi. Ezt követően a két membrán közé lerakódik a cortex, és ebben a stádiumban történik a kalcium és dipikolinsav felhalmozódása. Ezután a kortexen kívül fehérjeköpeny jön létre, és a spóra érését követően az anyasejtet litikus enzimek lebontják.

A sporulációt nagyszámú gén irányítja. E gének bekapcsolása regulált, rendezett sorrendben történik, az RNS-szintetáz eltérő szigma faktorai irányításával.

2.3.3. A spórák ellenálló képessége

A spórák rendkívül ellenállóak a környezet káros behatásai ellen.

a) Fizikai tényezőkkel szembeni ellenálló képesség

A spórák ellenállnak egy 15 perces 60 °C-os hőhatásnak, vagy egy 10 perces 70–80 °C-os hőmérsékletnek, mialatt a vegetatív sejtek elpusztulnak, kivéve a termofil baktériumokat. Az *Aquifex aeolicus* 95 fokon növekedik.

Kiszáradt állapotban is sokáig megőrzik életképességüket. A lépfene baktérium spórái 70 évi szárazon való tartásuk után is megőrizték csíráképességüket.

ket. Herbáriumban tartott növények gyökeréről talajszemcséket leoltva táptalajra megállapították, hogy a szemcsék csíráképes spórákat tartalmaztak, jöllehet a növényeket 320 évvel azelőtt gyűjtötték.

A spórák viabilitásukat évezredekig is megőrzik. Így olyan kőzetpróbákból, amelyeket 37–40 m mélységből hoztak fel, csíráképes spórákat mutattak ki. A kőzetekbe a spórák a negyedkorban jutottak be.

A spórák az ozmotikus mechanikai nyomással és a sugárzásokkal szemben sokkal ellenállóbbak, mint a vegetatív sejtek.

b) Kémiai tényezők

5%-os fenololdatban a spórák 24 óráig megőrzik életképességüket. Az antibiotikumok nem hatnak az érett endospórára.

c) Biológiai tényezők

A spórák ellenállnak a mikroorganizmusok antagonista hatásának. A *Bacillus anthracis* spórái a talajban megőrzik csíráképességüket, jöllehet a talaj mikrobiótája gazdag, és számos mikroorganizmust tartalmaz, melyek antagonisták a lépfene-baktérium vegetatív sejtjeivel szemben.

A spórák kevesebb vizet tartalmaznak, mint a vegetatív sejtek. A spórák vize kötött víz, ami részben magyarázza a spórák hőellenálló képességét, ugyanis a fehérjék kicsapódásához szabad vízre van szükség. A spórák élettani aktivitása nagyon csekély, mivel ehhez is szabad vízre van szükség.

A spórák több Ca-ot és Mg-ot és kevesebb K-ot és P-t tartalmaznak, mint a vegetatív sejtek. A Ca-nak szerepet kell játszania a spórák hőellenálló képességében, ugyanis kísérletileg kimutatták, hogy ha a spórák baktériumot olyan táptalajon tenyésztik, amely kevés Ca-ot tartalmaz, az itt képződő spórák hővel szembeni ellenálló képessége kisebb fokú, mint azok a spórák, amelyek elégséges Ca-ot tartalmazó táptalajon képződtek.

A spórák viszonylag gazdag lipiddal rendelkeznek. A zsíroknak is szerepe van a spórák hőellenálló képességében. Ha a táptalajhoz olajsavat adtak, az itt képződő spórák ellenállóbbak voltak a hővel szemben, mint azok a spórák, melyek olajsav nélküli kontroll táptalajon jöttek létre.

A spórák tartalmaznak egy fajlagos vegyületet, amely nincs meg a vegetatív sejtben: ez a dipikolinsav. Mennyisége elérheti a spórák szárazanyagának 5-15%-át. A dipikolinsav a vegetatív sejtek sejtfalában található α,ϵ -diaminopimelinsavból alakul ki, dezaminálás, gyűrűzáródás és dehidrogénezés során. A dipikolinsav is szerepet játszik a spórák hővel szembeni ellenálló képességében. Olyan mutánsok, melyek nem képesek dipikolinsavat szintetizálni, képeznek ugyan spórákat, de ezek hőellenálló képessége csekély.

Kimutattak kis, savoldékony proteineket (SASP – small acid soluble spore proteins) is, amelyek a DNS-hez kötődnek és a káros környezeti tényezőktől (UV sugárzás, kiszáradás, hő) védik, ugyanakkor a spórák csírázásakor szén- és energiaforrásként szolgálnak.

A spórafehérjékben nagyon sok a diszulfid (S-S) kötés, ami szerepet játszik a spórák hőellenálló képességében.

2.3.4. A spórák élettani tevékenysége

Kimutatták, hogy az endospóra is lélegzik, és bizonyos enzimek az endospórában is aktívak maradnak. A légzés erősebbé válik, amikor a spóra elkezd csírázni.

2.3.5. Az endospóra csírázása

Kedvező körülmények között a spóra kicsírázik, és vegetatív sejtet hoz létre. A csírázás azzal kezdődik, hogy az endospóra megduzzad, mivel sok vizet vesz fel a környezetből, és szintézis révén sok vegyület képződik. A megduzzadt spóra számos vegyületet választ ki a környezetbe, így dipikolinsavat is. A megduzzadt spórában elreped a spóraburok, és a repedésen az új vegetatív sejt kiszabadul. A repedés egyetlen pontban történik, a helye lehet poláris (poláris csírázás), a spóra egyenlítői részén és közepe táján (ekvatoriális csírázás), az egyenlítő és a pólus között (köztes csírázás).

2.3.6. A spóráképzés biológiai jelentősége

A baktérium endospóra, a gombák spóráival szemben, nem eszköze a szaporodásnak. A spóra olyan ellenálló sejt, melyben kedvezőtlen körülmények között a baktériumfaj megőrzi valamennyi genetikailag meghatározott tulajdonságát.

A spóráképzést a környezet kedvezőtlen feltételei váltják ki, mint amilyenek pl. a kiszáradás és a táplálékhiány.

A spóráképződés kötelező fázis az illető tenyészet fejlődésében, élettani szükséglet az illető baktérium számára. Ha ez nem elégül ki, bizonyos tulajdonságok megváltoznak. Ha pl. a *Bacillus anthracis* képtelen lesz spóráképzésre, elveszti patogenitását.

Az **exospórák** ellenálló képessége kisebb, mint az endospóráé. Nem a sejten belül alakulnak ki, bizonyos sejtek differenciálódása révén jönnek létre.

A *Methanotroph* baktériumok exospóráképzése során az anyasejt bimbózásával jön létre új sejt, vagy egy vegetatív sejt átalakulásával jön létre a spóra. Kívülről ezekre a sejtekre is további rétegek rakódnak, amely ellenálló képességüket fokozzák. Ezeknél poli-hidroxi-vajsav-felhalmozódás történik.

Az aktinomicéták szilárd táptalajon hosszú elágazó fonalakat, micéliumot hoznak létre, mely a táptalajba is behatol. Ezt szubsztrátmicéliumnak nevezik. Szeptum (keresztfal) csak ritkán képződik, és a sejtek ennek megfelelően hosz-

szúak, csőszerűek, sok megekvivalenst tartalmaznak. Legtöbb faj a szubsztrátmicéliumra merőlegesen, a levegőbe is növeszt micéliumot, amit légmicéliumnak neveznek. Általában ezeknek a légmicélium-fonalaknak a végén, intenzív szep-tumképzés és a sejtfal megvastagodása után jönnek létre az aszexuális, ellenálló, kitaró sejtek, a spórák (2.26. ábra).



2.26. ábra. Az aktinomicéták micéliuma
(<http://actinomycetes.pbworks.com/f/actinomycetes%202.jpg>)

Egyes fajoknál a spórák a spóratartóban képződnek, bizonyos fajok esetében pedig a spóráképzés a szubsztrátmicéliumon is megfigyelhető.

2.4. A baktériumok táplálkozása

A baktériumok táplálkozását két szempont szerint lehet tanulmányozni: az energiaforrás természete és a plasztikus anyagok (a sejt felépítésében részt vevő anyagok) forrása alapján (1. táblázat).

Az energiaforrás szempontjából két nagy csoportra osztjuk a baktériumokat:

1. **fototrófok:** az életükhöz szükséges energiát fotokémiai reakciók útján nyerik. Elsődleges energiaforrásuk a fény.
2. **kemotrófok:** az életükhöz szükséges energiát olyan kémiai reakciók révén nyerik, melyek függetlenek a fénytől. Az energia elsődleges forrását szervetlen és szerves exogén anyagok alkotják.

A felhasznált tápanyagok (elektrondonorok) természete alapján a baktériumok lehetnek:

1. **litotrófok:** szervetlen vegyületeket hasznosítanak.
2. **organotrófok:** szerves vegyületeket vesznek fel, és ezekből fedezik az energiaszükségletüket.

A plasztikus anyagok természete alapján a baktériumok lehetnek:

1. **autotrófok:** valamennyi anyagcsereterméküket szervetlen anyagokból állítják elő (szén-dioxid, víz, ásványi sók).

2. **heterotrófok:** nem képesek arra, hogy valamennyi metabolitjukat szintetizálják, ezért szükségük van arra, hogy a környezetből egy vagy több szerves anyagot vegyenek fel.

Ha a csoportosítás során említett két szempontot egyszerre tárgyaljuk, akkor a baktériumok esetében több táplálkozási típust lehet elkülöníteni (1. táblázat).

1. táblázat. A baktériumok táplálkozási típusai az energiaforrás és a plasztikus anyagok forrása szerint

A baktériumok elnevezése táplálkozási típusok alapján	Energiaforrás	Exogén H (elektron) donorok	Szénforrás
fotolitoautotróf	fény	szervetlen anyagok	szén-dioxid
fotoorganoautotróf	fény	szerves anyagok	szén-dioxid
fotoorganoheterotróf	fény	szerves anyagok	szerves anyagok
kemolitoautotróf	szervetlen anyagok oxidálása	szervetlen anyagok	szén-dioxid
kemoorganoautotróf	szerves anyagok oxidálása	szerves anyagok	szén-dioxid
kemolithoheterotróf	szervetlen anyagok oxidálása	szervetlen anyagok	szerves anyagok
kemoorganoheterotróf	szerves anyagok oxidálása	szerves anyagok	szerves anyagok

A fotoszintetizáló baktériumok, akárcsak a zöld növények, a fényt használják elsődleges energiaforrásként, a szén-dioxidot pedig szénforrásként.

A bakteriális fotoszintézis első szakasza kötelezően fény jelenlétében zajlik, melynek során bekövetkezik a fényenergiának kémiai energiává való átalakulása. Fotofizikai folyamatok során a fénykvantumokat a kromatofórákban lévő klorofill elnyeli, melynek során aktiválódik. A fotokémiai folyamatok során ATP képződik, az elnyelt energia az ATP-ben raktározódik el kémiai energia formájában (fotofoszforylálás). Ebben a szakaszban redukált NAD (NADH+H) képződik. Az ATP és a redukált NAD a fotoszintézis második szakaszában energia-, illetve hidrogéndonoroként szolgál. A fotoszintézis második szakaszában nem kötelező a fény jelenléte, a CO₂ egy endogén elektronakceptoron megkötődik.

2.4.1. Fotolitoautotróf baktériumok

A fényenergia segítségével, szervetlen exogén hidrogén donorok (H₂S, H₂, Na₂S₂O₃) és fotoszintetizáló pigmentek jelenlétében asszimilálják a CO₂-ot. Szin-

tén szervesanyagokból asszimilálják mindazokat az elemeket, amelyek részt vesznek sejtanyagaik felépítésében.

Ezek a baktériumok édesvizekben élnek, de előfordulnak sósvizekben és a vízzel elárasztott talajokban is. Mivel a szén-dioxidot csak anaerob körülmények között kötik meg, és szükségük van kén-hidrogénre, főleg a vizek iszapjának felszínén élnek, mivel ide még eljutnak a fénysugarak, és az iszap viszonylag nagy mennyiségben tartalmaz H_2S -t.

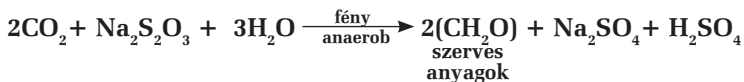
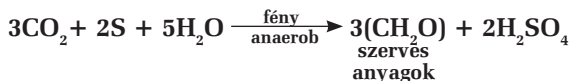
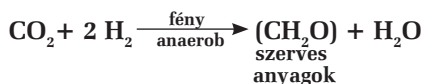
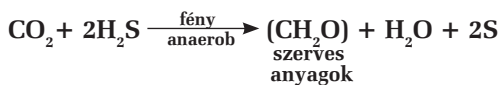
A kén-hidrogénnek két forrása van:

1. rothadási folyamat, amely során a rothasztó baktériumok a szerves vegyületekben (cisztein, metionin) lévő ként szervesanyagok formájában szabadítják fel.
2. deszulfifikáció, amely során a deszulfifikáló baktériumok a kénsav sóiból kén-hidrogént termelnek.

A fotolitoautotróf baktériumok csoportjába tartoznak a zöldkénbaktériumok és a bíborkénbaktériumok.

A zöldkénbaktériumok a *Chlorobiaceae* családot alkotják. A zöld elnevezés onnan származik, hogy a karotinoid pigment nem fedi el a baktérium klorofill zöld színét. A pigmentek jellegzetes kloroszómákban helyezkednek el. A *Chlorobium* nemzetség a legfontosabb.

A zöldkénbaktériumok élettevékenységét kémiai reakciókkal lehet szemléltetni:



A bíborkénbaktériumok a *Chromatiaceae* családba tartoznak (gör. chrom = szín). Nagy mennyiségben tartalmaznak vörös, narancssárga karotinoidokat, amelyek elfedik a zöld színű klorofillt, ezért bíborszínűek. Legfontosabb nemzetségük a *Chromatium*.

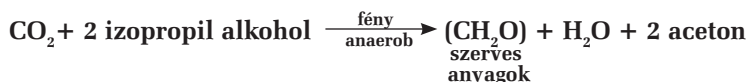
2.4.2. Fotoorganoautotróf baktériumok

A fényenergia segítségével, szerves exogén hidrogén donorok (acetát, butirát, borostyánkősav, glicin stb.) jelenlétében és a fotoszintetizáló pigmentek részvételével asszimilálják a CO_2 -ot. Szervetlen forrásból szerzik be mindazokat az elemeket, melyek alkotórészei sejtanyagaiknak. Szükségük van a környezetből vitaminokra.

Az iszapban élnek, ahol kén-hidrogén helyett szerves anyagokat használnak fel. Laboratóriumban szerves táptalajon kell tenyészteni, amelyeket meg kell világítani, a tenyészetet anaerob körülmények között kell inkubálni.

Népies elnevezésük: bíbornem-kénbaktériumok (bíorbaktériumok, mivel nagy mennyiségben tartalmaznak karotin pigmenteket, melyek elfedik a baktérium klorofill zöld színét).

Szerves anyagként kis molekulatömegű alkoholokat, főleg izopropil alkoholt használnak.



Három fontos nemzetség tartozik a csoporthoz: *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodomicrobium*. A zöld nem kénbaktériumok közé tartozik a fonalas *Chloroflexus aurantiacus*.

2.4.3. Fotoorganoheterotróf baktériumok

Ezeknél a baktériumoknál a fény segítségével létrehozott ATP szerves anyag asszimilációjára szolgál. A heliobaktériumok (*Heliobacterium chlorum*, *Heliobacillus mobilis*) a *Bacillus* és a *Clostridium* nemzetségbe tartozó baktériumokkal állnak rokonsági viszonyban, obligát anaerobok és egyesek endospóráképzésre képesek.

2.4.4. Kemotróf-kemoszintetizáló baktériumok

Bizonyos kémiai reakciók során felszabaduló energiát használják fel a szerves anyagok szintéziséhez. A reakciók függetlenek a fénytől.

2.4.4.1. Kemolitoautotróf baktériumok

Az életműködésükhez szükséges energiát szervetlen vegyületek oxidálása szolgáltatja, melyek során megkötik a CO_2 -ot. Szintén szervetlen anyagokból szerzik be azokat az anyagokat, melyek sejtanyagaik felépítésében vesznek részt.

Egyesek obligált autotrófok, melyek nem képesek hasznosítani a környezetben lévő szerves vegyületeket energia- és szénforrásként. Mások fakultatívak, fel tudják használni a környezetben lévő szerves vegyületeket is energia- és szénforrásként. Ezek képesek arra, hogy a kemolitoautotrófiáról áttérjenek a kemoorganoautotrófiára.

A kemolitoautotróf baktériumok több csoportját írták le aszerint, hogy milyen szerves anyagok oxidálása révén szerzik be energiájukat: nitrifikáló baktériumok, szintelen kénbaktériumok, vashbaktériumok, hidrogénbaktériumok és szénmonoxidot oxidáló baktériumok.

Nitrifikáló baktériumok

Talajokban és vizekben élnek. A nitritbaktériumok az ammóniából nitritet ($\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{HNO}_2$), a nitrátbaktériumok a nitritből nitrátot ($\text{HNO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3$) hoznak létre. A folyamat során felszabaduló energia egy részét a szén-dioxidnak szerves anyagba való beépítésére használják.

Legfontosabb nemzetségek a *Nitrosomonas* (nitritbaktériumok) és *Nitrobacter* (nitrátbaktériumok). Pálca alakú baktériumok, obligált aerobok és obligált autotrófok.

A nitrifikáció jelentősége nagy, mert a növények a nitrátokat sokkal hatékonyabban hasznosítják, mint az ammóniumot. A nitrátok kimosódhatnak a talajból és a talajvíz nitráttartalmának növekedését idézhetik elő, valamint a tavak eutrofizációs folyamataihoz járulhatnak hozzá. A nitrifikáló baktériumok tevékenysége során képződő salétromsav megtámadja és károsítja a szobrokat, műemlékeket, festményeket.

Szintelen kénbaktériumok

A kén-hidrogént és a nátrium-tioszulfátot oxidálják kénsavvá, illetve szulfátokká. Kénzárványokat tartalmazhatnak. Vizekben és/vagy talajokban élnek. Két csoportjukat írták le: fonalas és nemfonalas szintelen kénbaktériumok.

A fonalas szintelen kénbaktériumok vizekben, ritkán talajokban élnek. Többsejtűek, fonalaik sok egyedi sejtből állnak, melyek tartósan együtt maradnak. A sejtek nagyok és henger alakúak. Idetartoznak a *Beggiatoa*, *Thiothrix* és a *Thiospira* nemzetség tagjai.

A nemfonalas szintelen kénbaktériumok képviselői az alábbi nemzetségekbe tartoznak:

1. *Achromatium*: vizekben élnek, a sejtek nagyok, oválisak, kénzárványt tartalmaznak, kalciumzárványt is tartalmazhatnak.
2. *Thiobacillus*: talajokban élnek, de előfordulhatnak bányavizekben is. A sejtek pálca alakúak.
3. *Sulpholobus*: hőforrások vizében él.

A kénbaktériumok sekély vizekben, hévizekben, bányavizekben és talajokban egyaránt előfordulnak, ahol a különböző mikrobiológiai folyamatok eredmé-

nyeként keletkezett toxikus kén-hidrogén átalakítását végzik. A kén-hidrogénből keletkezett kén felhalmozódhat a baktériumok tokanyagaiban, vagy a sejten belül zárványokat képezhet. A kénvegyületek oxidálásából keletkező szulfátok talajokban a szikesedésben játszhatnak szerepet.

Vasbaktériumok

A kemotróf vasbaktériumok úgy nyerik az önálló szénasszimilációjukhoz szükséges energiát, hogy a talaj és a vizek két vegyértékű vasionjait három vegyértékű ionokká oxidálják. Mivel a vas oxidációja csekély energiafelszabadulással jár, ezek a baktériumok a létfenntartásukhoz szükséges energia megszerzéséhez nagy mennyiségű vasat oxidálnak, miközben vashidroxidot halmoznak fel.

A fonalas vasbaktériumok többsejtűek, számos egyedi sejt alkot egy fonalat. A sejtek henger vagy ellipszis alakúak. Egyes fajoknál a fonalat egy hüvely veszi körül, mely fehérje természetű alapszerkezetből áll, melyre vas-hidroxid rakódik. A fonalak elágazók. Képviselők: *Crenothrix polyspora*, *Leptotrix ochracea*.

A nemfonalas vasbaktériumok egysejtűek. A *Thiobacillus ferrooxidans* pálca alakú baktérium, a ként és a vasat egyaránt képes oxidálni. A *Siderocapsa* nemzetséghez tartozó baktériumok gömb alakúak, sejtjeiket tok veszi körül, amelybe vas-hidroxid halmozódik fel.

A vasbaktériumok autotrófiája fakultatív, szerves anyagok jelenlétében heterotróf táplálkozásra térnek át. Kivételt képez a *Thiobacillus ferrooxidans*, mely obligát aerob és obligát autotróf szervezet.

A vasbaktériumok vizekben, bányavizekben és talajokban tevékenykednek. Egyes fajok (*Sphaerotilus*) szennyezett vizekben fordulnak elő, és jelentősek a vizek öntisztulása szempontjából.

Hidrogénbaktériumok

A hidrogént oxidálják, és a felszabaduló energia segítségével megkötik a széndioxidot. Nem obligát autotróf szervezetek. Szerves táptalajon a szerves anyagokat használják energia- és szénforrásként. Az autotrófiáról rátérnek a heterotrófiára. Hidrogénakceptorként szolgál az O_2 , CO_2 , H_2SO_4 és HNO_3 . Képviselők: *Hydrogenomonas*, *Paracoccus denitrificans* (anaerob körülmények között a hidrogént nitrátokkal oxidálja, miközben molekuláris nitrogén képződik).

Szén-monoxidot oxidáló baktériumok

Néhány baktérium, mint pl. a *Carboxidomonas oligocarboxiphila*, képes a szén-monoxidot szén-dioxiddá oxidálni. Bizonyos metánképző baktériumok tudnak metánt előállítani szén-monoxidból is (a levegőbe jutó CO eltávolítása ezeknek a baktériumoknak köszönhető). A metánképzés sokkal gyorsabb szén-dioxiddal, mint szén-monoxiddal.

2.4.4.2. Kemoorganoautotróf baktériumok

Ezek a baktériumok energiaforrásként szerves vegyületeket használnak, a szenet pedig a szén-dioxidból asszimilálják. A *Pseudomonas oxalatius* egyes törzsei például oxidálják az oxálsavat és a hangyasavat.

2.4.4.3. Kemolitoheterotróf baktériumok

Energiaforrásként szervetlen anyagokat használnak, a szenet szerves anyagokból veszik fel (pl. *Desulfovibrio desulfuricans*, *Paracoccus denitrificans*, *Pseudomonas denitrificans*). A vasredukáló baktériumok között szintén találhatóak olyanok, amelyek kemolitoheterotrófiára képesek, például a *Geobacter metallireducens*.

2.4.4.4. Kemoorganoheterotróf baktériumok

Ezek a baktériumok a környezetből vagy a táptalajból egy vagy több szerves anyagot igényelnek, amelyek energia- és szénforrásként vagy növekedési tényezőként szolgálnak. Vannak heterotróf baktériumok, melyek csak néhány vegyülettípust tudnak hasznosítani. A *Cytophaga* nemzetségbe tartozó baktériumok pl. csak a cellulózt, a glükózt és néhány más cukrot tudnak felhasználni. A heterotróf baktériumok többsége számos szerves vegyületet tud hasznosítani. A *Pseudomonas putida* pl. 71-et, a *Pseudomonas fluorescens* legalább 200 különféle szerves vegyületet tud asszimilálni. A heterotróf baktériumok számos biológiai eredetű anyagot is hasznosítani tudnak. Ilyenek pl. a detergenssek, egyes peszticidek és szintetikus festékek és számos gyógyszer.

A szerves vegyületek mikrobák általi lebontása két úton valósulhat meg. A metabolikus út esetén a lebontott szerves anyag a baktérium számára szén- és energiaforrásként szolgál. A kometabolikus út esetén a szén- és energiaforrásként szolgáló szerves vegyület lebontása mellett más szerves anyagok is lebomlanak, amelyeket azonban a lebontó mikroorganizmus nem tud hasznosítani.

A heterotróf baktériumok fontos szerepet játszanak az állati és növényi maradványok lebontásában, a szén és más elemek természetes körforgásában, a vizek és a talajok öntisztulási folyamataiban.

A heterotróf baktériumokat több szempont szerint lehet osztályozni:

1. A felhasznált vegyületek nitrogéntartalmúak vagy nitrogénmentesek. Egyesek olyan szerves anyagokat bontanak le, melyek nitrogént nem tartalmaznak (keményítő, cukrok). Ha ez a folyamat anaerob körülmények között játszódik le, akkor erjedésről beszélünk. Ha a szerves anyag nitrogént tartalmaz, és a lebontás anaerob feltételek között történik, a baktériumokat rothasztó baktériumoknak nevezzük, a folyamat pedig a rothadás.

2. A felhasznált szerves anyag természete alapján. A szaprofita baktériumok elhalt szervezetek szerves anyagait hasznosítják, a paraziták pedig az élő gazdaszervezet szerves anyagait használják fel.

3. A szintetizáló képesség alapján *három csoportot különböztetünk meg*:

- a) A sejtjeiket alkotó valamennyi vegyületet képesek szintetizálni egyetlen külső szerves vegyületből (glükóz), ásványi sókból és vízből.
- b) Sejtalkotó vegyületeik egy energia- és szénforrásként szolgáló szerves vegyületből származnak, valamint szükségük van egy vagy több növekedési tényezőre.
- c) Táplálkozási igényeik még pontosan nem ismertek, nem tenyésztethők szintetikus táptalajon, csak olyanokon, melyekhez szerves eredetű folyadékot (vérplazmát) adnak (pl. *Gonococcus*). Vannak baktériumok, melyeket még ilyen táptalajon sem lehet tenyészteni, ilyenek pl. a *Mycobacterium leprae* és a *Treponema pallidum* (hím nyulak heréjében szaporítják).

A kórokozó baktériumok sokkal igényesebbek táplálkozási szempontból, mint a szaprofiták. Vannak azonban kivételek is, mint amilyen pl. a tejsavas baktériumok.

Heterotróf táplálkozásra a mikroorganizmusok túlnyomó többsége képes, néhány obligát fototróf és obligát kemolitoautotróf szervezetet kivéve.

A kemoorganoheterotróf baktériumok is képesek a szén-dioxidot asszimilálni, de sokkal kisebb mértékben, mint az autotrófok.

2.4.5. A baktériumok tápanyagigénye

A baktériumok tápanyagigénye igen változatos, szén- és energiaforráson kívül szükségük van nitrogénforrásra, kénforrásra és ásványi elemekre, egyes baktériumok növekedési tényezőket is igényelnek. A baktériumok fejlődéséhez szükséges tápanyagok az igényelt mennyiség alapján több típusba sorolhatók: makroelemek, mikroelemek és nyomelemek. A makroelemek (C, O, H, N, S, P) az alapvető sejtalkotók (cukrok, fehérjék, lipidek, nukleinsavak) összetételében fordulnak elő, ezekre nagyobb mennyiségben (g/l) van szükség. A mikroelemek (K, Ca, Mg, Fe) kisebb mennyiségben szükségesek (mg/l), számos enzim és kofaktor felépítésében vesznek részt. A nyomelemeket (Mn, Zn, Co, Mo, Ni, Cu) a baktériumok csak nagyon kis mennyiségben ($\mu\text{g/l}$) igénylik, ezek az elemek különféle enzimek működéséhez vagy kofaktorok felépítéséhez nélkülözhetetlenek.

A baktériumok szervetlen és szerves szénvegyületeket hasznosítanak szénforrásként. Az autotróf szervezetek számára a szénforrást a környezetükből felvett CO_2 jelenti. A szerves szénforrást igénylő baktériumok számára a cukrok jelentik a legfontosabb szénforrást, de különböző heterotróf mikroorganizmusok szénforrásként alifás vagy aromás szénhidrogéneket, alkoholokat, szerves savakat, étereket,

észtereket vagy komplexebb makromolekulákat (lignin, keratin, hulladékanyagok, kőolajszármazékok, xenobiotikumok) hasznosítanak.

A nitrogénforrást a baktériumok többsége számára a kötött nitrogén képviseli (ammóniumsók, nitrátok, nitritek, aminosavak, fehérjék, peptidek, nukleinsavak, karbamid). A nitrogénfixáló baktériumok a légköri nitrogént hasznosítják.

A foszfort és a vasat leginkább ásványi sókból, a kén pedig szulfátokból, kén-hidrogénből, kéntartalmú aminosavakból veszik fel a baktériumok.

A baktériumok a P-, K-, Ca-, Mg-, Mn-, Cl-, Fe-, Cu-, Zn-, Co-tartalmú vegyületeik előállítására főleg vízben oldott szervesen ásványi sókat vesznek fel a környezetükből.

2.5. Növekedési tényezők

Olyan szerves anyagok, amelyek feltétlenül szükségesek a növekedéshez, de amelyeket az adott baktérium nem képes szintetizálni, így ezeket a környezetből kell felvennie. Nem minden baktérium igényli a növekedési tényezőket.

1. Növekedési tényezők, melyeknek koenzim szerepük van: ide tartoznak a vízben oldódó vitaminok: B₁ (tiamin), B₂ (riboflavin), PP (nikotinsav-amid – a leggyakrabban igénylik a baktériumok), B₆ (piridoxin), B₁₂ vitamin (kobalamin), K-vitamin, H-vitamin (biotin – a legkisebb koncentrációban igénylik a baktériumok).

2. Növekedési tényezők, melyek nem játszanak koenzim szerepet, hanem plasztikus anyagként létfontosságúak. Aminosavak, glutation, purin- és pirimidinbázisok, olajsav, szterolok stb. tartoznak ide. A sejtanyagok képződésében van szerepük.

Azok a baktériumok, amelyek nem igényelnek vitaminokat a környezetükből, szintetizálhatnak és kiválaszthatnak olyan szerves anyagokat, amelyek növekedési tényezőként szolgálnak más mikroorganizmusok számára. Az *Azotobacter chroococcum* B-vitaminokat és aminosavakat választ ki a környezetébe, a *Bacillus megaterium* pedig biotint. A tápcsatornában található baktériumok közül az *Escherichia coli* és az *Aerobacter aerogenes* B- és K-vitamint termelnek, melyeket az emberi és az állati szervezet fel tud használni. A baktériumok növekedési tényezőket szintetizáló képességeit az iparban is alkalmazzák. A *Propionibacter shermanii* és a *Pseudomonas denitrificans* baktériumok egyes szelektált törzseit B12-vitamin előállítására használják.

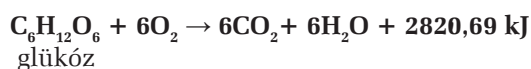
2.6. A baktériumok légzése

Légzésen a sejtben lejátszódó oxido-redukciós biokémiai reakciók összességét értjük, melyek révén a sejtben felszabadul a környezetből felvett energiaforrások hasznosítása nyomán az életműködésekhez szükséges energia.

Aszerint, hogy a különböző enzimek által a szubsztrátumból leválasztott hidrogén végső akceptorának a szerepét milyen anyag tölti be, aerob légzést, anaerob légzést és erjedést különböztetünk meg.

Az **aerob légzés** esetén a hidrogén végső akceptora a molekuláris oxigén. Az oxidáció végtermékei teljes oxidáció esetén a víz és a szén-dioxid, részleges oxidáció esetén szerves savak képződnek (oxálsav, ecetsav)

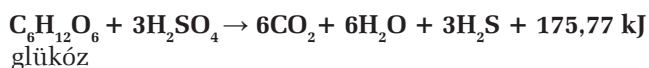
Teljes oxidáció:



Részleges oxidáció:



Anaerob légzés esetén a hidrogén végső akceptorai szervetlen anyagok (szulfátok, nitrátok).



Az **erjedés** során a hidrogén végső akceptora egy bizonyos szerves molekula. Így pl. az acetaldehid az alkoholos erjedésben, a piroszőlősav pedig a tejsavas erjedés során az akceptor.

Alkoholos erjedés:



Tejsavas erjedés:



A felszabaduló energia alapján az aerob légzés sokkal hatékonyabb, mint az anaerob légzés vagy az erjedés. Így az aerob légzésű mikroorganizmusok nagyobb

tömegű biomasszát termelnek ugyanannyi szubsztrátum felhasználásával, mint azok, amelyeknél nem az oxigén a hidrogén végső akceptora.

A baktériumok az oxigénnel szembeni igényük alapján különböző légzési típusokba sorolhatók (2.27. ábra):

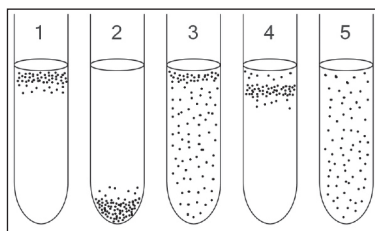
Obligát aerob baktériumok. Oxigént igényelnek, a táptalajok felszínén növekednek. Nagyon sok baktérium aerob. Ilyenek például a színtelen kénbaktériumok, az *Azotobacter*, a *Bacillus subtilis*, a *Mycobacterium tuberculosis*, a *Pseudomonas aeruginosa*.

Obligát anaerob baktériumok. Nincs szükségük oxigénre, számukra az oxigén jelenléte mérgező, mivel olyan toxikus oxigénformák, peroxidok és szabad gyökök képződését eredményezi, amelyeket nem tudnak lebontani, és ezek károsítják a biomembránokat. A táptalajok alsó rétegeiben fejlődnek. Anaerob baktériumok a metánképző baktériumok, a *Bacteroides fragilis*.

Fakultatív anaerob baktériumok. Mind oxigén jelenlétében, mind annak hiányában tudnak élni. A táptalaj különböző rétegeiben megtalálhatók. Ilyenek például az *Escherichia coli*, a *Streptococcus lactis* és a *Proteus vulgaris*.

Aerotolerans anaerobok. Anaerob körülmények között élnek, de alacsony koncentrációban tolerálják az oxigén jelenlétét, például a *Clostridium perfringens*.

Mikroaerofil baktériumok. Fejlődésükhöz csak kis mennyiségű (0,3–10%) oxigénre van szükségük, nem a táptalaj felszínén vagy alján fejlődnek, hanem egy köztes zónában. Idetartozik például a *Treponema pallidum*, *Campylobacter*, *Helicobacter*.



2.27. ábra. A baktériumok növekedése a táptalajban a légzési típusok alapján.

1. obligát aerob, 2. obligát anaerob, 3. fakultatív anaerob, 4. mikroaerofil,
5. aerotolerans anaerob

(<https://hu.webbloggraphic.com/difference-between-facultative>)

A baktériumok hőtermelése

A légzés során a sejtben termelődött energia nem használandó fel teljes egészében a sejt szükségleteinek a fedezésére, mert ennek egy része elvész a környezetben, hőenergia formájában. A különböző baktériumok különböző mértékben hasznosítják a légzés során termelt energiát, vagyis az energiafelhasználási együttható (*Rubner*-együttható) más-más értéket ad a különböző baktériumcsoportoknál.

Az aerob baktériumoknál: $k = c/c$ (c – a sejtanyagok energiaértéke, c – a külső környezetből felvett anyagok energiaértéke).

Az aerob heterotróf baktériumok esetében $k=10-30\%$, ezek a baktériumok a környezetből felvett anyagok energiataralmának csak 10-30%-át használják sejtanyagszintézisre, a 70-90% elvész a környezetben hő formájában.

Az aerob autotróf baktériumoknál a k értéke még kisebb: 5-10%, ezek a baktériumok még több energiát veszítenek hő formájában.

Az anaerob baktériumoknál: $k = c/c - c$ (c – az erjedési termékek energiaértéke), $k=1\%$. A külső környezetből felvett anyagoknak csak 1%-át használják fel sejtanyagképzésre, a többi elvész hő formájában.

A baktériumok hőtermelése a természetben is megfigyelhető. Ilyen például az istállótrágya felmelegedése és a szénaboglyák önmelegedése.

A baktériumok fénytermelése – fotogén baktériumok

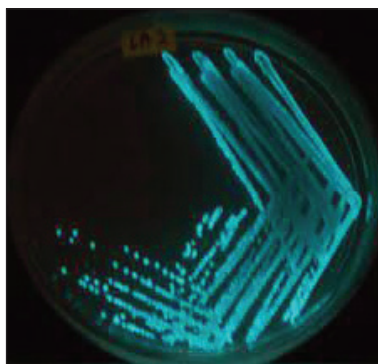
A fotogén baktériumok fényt bocsátanak ki, kivétel nélkül kemo-organo-heterotróf szervezetek (2.28. ábra).

A fotobaktériumoknak 3 csoportja ismert:

1. parazita fotobaktériumok: rovarokon és rákokon fordulnak elő,
2. szimbioták: egyes halak, lábasfejűek világítószerveiben élnek,
3. szaprofiták: húson és elpusztult halakon szaporodnak.

Ismertebb fotobaktérium-képviselők: *Photobacterium phosphoreum*, *Photobacterium fischeri*, *Vibrio albensis*.

A fotobaktériumok obligát aerobok vagy fakultatív anaerobok. A fakultatív anaerobok csak akkor termelnek fényt, ha oxigén áll a rendelkezésükre. Ha a fotogén baktérium teljesen anaerob körülmények közé kerül, a fénytermelés megszűnik.



2.28. ábra. Fénytermelő baktérium-tenyészet
(Yaser et al. 2014)

Az egyetlen sejt által kibocsátott fényt az emberi szem nem tudja érzékelni, de a fotobaktériumok telepei főleg sötétben szabad szemmel is megfigyelhetők.

A fiatal borsó vagy bükköny növények a fotobaktériumok fényére pozitív fototropizmussal válaszolnak.

A biológiai fotogenezis egy ún. kemolumineszcenciás jelenség, vagyis a fény bizonyos kémiai reakciók útján termelődik. A fénytermelésben fontos szerepet játszik a luciferáz enzim.

2.7. A baktériumok szaporodása

A növekedés egy adott mikroorganizmus alkotóelemeinek és térfogatának megváltozását jelenti, mely során a baktérium új anyagokat vesz fel a környezetéből, és ezeket asszimilációs folyamatok révén beépíti. Amikor a térfogat és a felület közötti arány megváltozik, akkor bekövetkezik a sejtosztódás. Az egyedek számának a növekedése jelenti a szaporodást.

A baktériumok szaporodása általában direkt sejtosztódással, haránthasadásal történik, ritkán bimbózással (*Rhodomicrobium*, *Ancalomicrobium*) vagy egyes baktériumok esetén a fonalak feldarabolódásával (a fonalas cianobaktériumoknál).

Kettéosztódás esetén a baktériumsejt mint anyasejt kettéosztódik, és két új leánysejtet hoz létre. A két leánysejt megközelítőleg azonos lehet (izomorf sejtosztódás), vagy a két leánysejt alakitanilag eltérhet egymástól (heteromorf sejtosztódás). A heteromorf leánysejtek később átalakulnak izomorffá.

A sejtosztódás szakaszai:

1. sejt növekedése,
2. az RNS mennyiségének növekedése,
3. fokozott fehérjeszintézis,
4. a citoplazma és a maganyag kettéosztódása,
5. befűződés,
6. a két leánysejt kialakulása.

A **generációs idő** két egymást követő osztódás közötti idő (például az *Escherichia coli* esetében 20 perc, *Mycobacterium tuberculosis* 20 óra, *Mycobacterium leprae* 12 nap).

Amikor a baktériumokat leoltjuk a táptalajra, egy bizonyos adaptációs idő után ezek osztódni kezdenek. A tenyésztés ideje alatt, ami általában 18-24 óra, egy baktériumból az egymást gyorsan követő osztódások eredményeképpen szabad szemmel is látható baktériumhalmaz jön létre, amit telepnek nevezünk. Telepek csak szilárd táptalajokon alakulnak ki. A táptalajon lévő telepek összességét tenyészetnek nevezzük. Tenyészet alakul ki folyékony táptalajban is, de telepek kialakulására nincs lehetőség.

2.7.1. A baktériumok szaporodásának dinamikája

Folyékony táptalajban létrehozott tenyészet esetén tanulmányozható a baktériumok szaporodásának dinamikája. Bizonyos időközönként történik az élő sejtek számának meghatározása, és ennek alapján ábrázolható a szaporodási görbe (a baktériumok számának logaritmus az idő függvényében). A szaporodási dinamika tanulmányozása általában zárt rendszerben valósul meg, ahol a tápanyagok mennyisége korlátozott, a tenyésztés során a baktériumok nem jutnak új tápanyagokhoz, és a kiválasztott anyagcseretermékek is a tápközegben halmozódnak fel. Ilyen körülmények között a kezdeti jó tápanyag-ellátottság a baktériumok intenzív növekedését váltja ki. A tápanyagforrások fokozatos kimerülése és egyéb zavaró feltételek kialakulása miatt a baktériumok szaporodási rátája csökken, és a túlélést szolgáló folyamatok kerülnek előtérbe.

Ideális laboratóriumi körülmények között a baktériumok szaporodása során több, változó időtartamú szakasz különíthető el (2.29. ábra):

Lag vagy adaptációs szakasz

- az új környezethez való alkalmazkodás szakasza;
- nincs sejtszótódás, a baktériumok száma változatlan;
- a baktériumok méretei növekednek;
- intenzív szintetikus folyamatok játszódnak le;
- általában 30 perctől két óráig tart.

Log vagy exponenciális szakasz

- a sejtszám exponenciálisan nő;
- a fiatal sejtek szakasza, a sejtek térfogata nagy, citoplazmájuk bazofil és homogén a nagy számban előforduló riboszómák miatt;
- a baktériumok tulajdonságai jellegzetesek (alaktan és festődés, anyagcsere optimális, biokémiai aktivitás, antigénszerkezet, virulencia, toxintermelés);
- a tápanyagok mennyiségének csökkenése;
- toxikus anyagcseretermékek felhalmozódása;
- ebben a szakaszban is pusztulnak el sejtek, de ezek aránya nem haladja meg a 20%-ot.
- a sejtek az intenzív anyagcsere-folyamatok miatt ebben a szakaszban a legérzékenyebbek a különböző kedvezőtlen behatásokkal szemben;
- általában 6-8 óráig tart.

Stacioner (stagnáló) szakasz

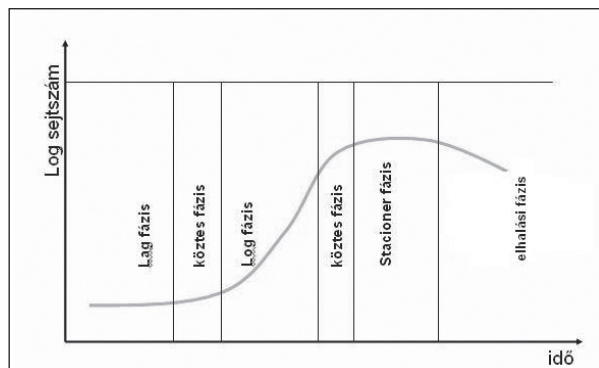
- a maximális koncentráció (M) fázisa, értéke fajonként változik;
- az érett sejtek szakaszának felel meg, a sejtek kisebbek, citoplazmájuk már kevésbé homogén és kevésbé bazofil, mint az előző szakasz sejtjei.

- az élő csíraszám állandósul, ugyanannyi utódsejt képződik, mint amennyi elpusztul;
- a sejtek zárványok formájában tartaléktápanyagokat halmoznak fel;
- ebben a szakaszban indulnak be az alkalmazkodást és túlélést szolgáló mechanizmusok, így a sejtek zárványok formájában tartaléktápanyagot halmoznak fel, egyes fajoknál elkezdődik a spóráképzés;
- időtartama függ a környezeti feltételektől, fajonként változó, néhány naptól több hétig terjedhet.

Deklinációs (pusztulási) szakasz

- csökken az élő sejtek száma, a pusztulások száma nagyobb, mint az osztódással létrejövő új sejtek száma;
- fokozatosan kipusztul a tenyészet;
- a sejtek tulajdonságai megváltoznak (pleomorfizmus), autolízis;
- időtartama változó, fajtól függ, napokig, akár évekig tarthat.

A nem sporogén fajok hosszú ideig életben tarthatók, ha a logaritmusos szaporodás szakasza végén a termosztátból hűtőszekrénybe helyezzük a tenyészetet. Bizonyos körülmények között az exponenciális szakasz hossza tetszőlegesen megnyújtható, ha folyamatosan biztosítják a baktériumok számára az optimális szaporodási feltételeket. Ez a nyílt tenyésztési rendszer, amit antibiotikumok és oltóanyagok előállítására használnak.



2.29. ábra. Növekedési görbe

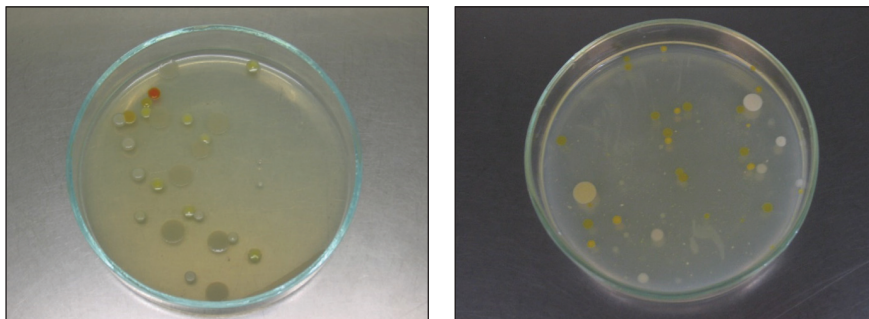
2.8. A baktériumok tenyésztése

A leoltáskor megfelelő körülményeket biztosítunk a baktériumok számára, és az inkubálást követően kialakul a tenyészet. Laboratóriumi körülmények között a szaporodás feltételeit biztosító anyagok keverékét táptalajnak nevezzük.

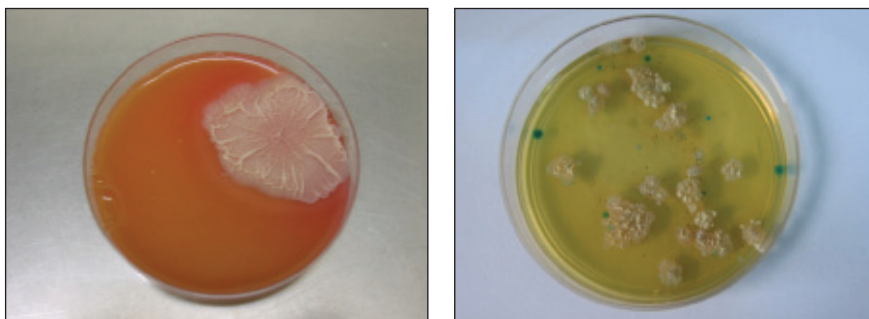
A tápanyagigények ismerete fontos az optimális tenyésztési körülmények megteremtése szempontjából. Minden táptalajnak biztosítani kell az anyagcseréhez, a szaporodáshoz szükséges energiát szolgáltató anyagokat, szén- és nitrogénforrást, a szükséges ionokat és a megfelelő pH-t. Halmazállapot szerint folyékony, félfolyékony és szilárd táptalajokat különböztetünk meg. Összetétel szerint a táptalajok lehetnek alaptáptalajok vagy összetett táptalajok. A táptalaj beoltásához használt baktériumtömeget inokulumnak nevezzük.

A **telep** szilárd táptalajon alakul ki, egyetlen baktériumsejtből jön létre, mely több milliárd baktériumot tartalmaz. A teleptípusok vizsgálatánál figyelembe vesszük a telepek méretét, alakját, felületét, széléit. A baktériumok esetében morfológia alapján a következő teleptípusokat lehet megkülönböztetni:

S típus – (smooth) kerek, domború, sima felszínű, fényes, egyenletes szélű telepek (2.30. ábra), fiziológiás sóoldatban könnyen elkeverhetők, főként virulens törzsek képezik.



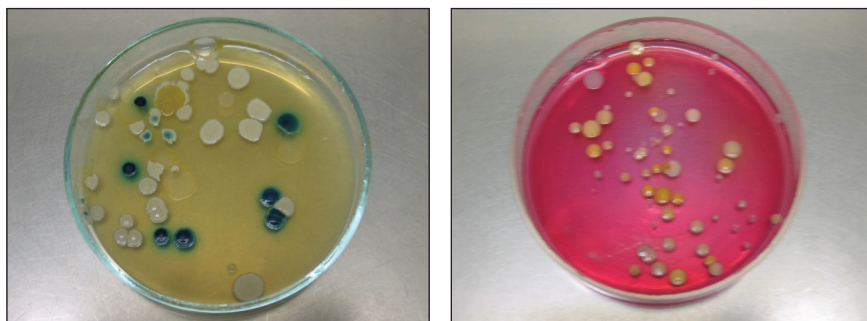
2.30. ábra. S típusú baktériumtelepek



2.31. ábra. R típusú baktériumtelepek



2.32. ábra. M típusú baktériumtelepek

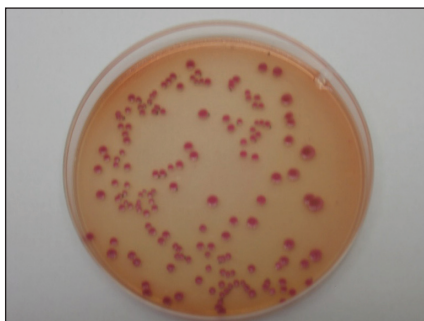


2.33. ábra. Vegyes baktériumtenyészetek szilárd táptalaj felületén

R típus – (rough) rögös, egyenetlen szélű, lapos telepek, közepük kidomborodik vagy behúzódik (2.31. ábra), fiziológias sóoldatban nem képeznek homogén szuszpenziót, a spontán agglutináció jelenségét tapasztaljuk. R típusú telepeket főleg az avirulens formák képeznek (kivételek: *Mycobacterium tuberculosis*, *Corynebacterium diphtheriae*, *Bacillus anthracis*).

A tenyészet folyékony és szilárd táptalajon alakul ki. Szilárd táptalajon a telepek összességét jelenti. A **vegyes tenyészet** többféle baktériumot (2.33. ábra), a **színtenyészet** csak egyféle baktériumot tartalmaz (2.34. ábra). A tiszta tenyészetek létrehozásának gyakorlati jelentősége van. A tiszta tenyészetek felhasználhatók a morfológiai és a fiziológiai tulajdonságok tanulmányozására, a baktériumok beazonosítására és felhasználási lehetőségeinek a meghatározására (például starter kultúrák létrehozása az ipari fermentációs folyamatokhoz).

M típus – nagy, kerek, domború, fényes, nyákos telepek, amelyek hajlamosak az összefolyásra (2.32. ábra). A tokos törzsek képeznek M típusú telepeket.



2.34. ábra. Színtenyészet

2.9. A környezeti tényezők hatása a baktériumokra

A baktériumok élete a környezet fizikai, kémiai és biológiai tényezőitől függ. A kedvezőtlen környezeti tényezők leállítják a baktériumok szaporodását, vagy a sejt pusztulását váltják ki. A környezeti tényezők mutációt válthatnak ki. A környezeti tényezők hatásának vizsgálata gyakorlati jelentőségű például az élelmiszeriparban, a mezőgazdaságban és a gyógyászatban. Például ezeknek a hatásoknak ismeretében dolgozhatók ki az élelmiszeriparban nélkülözhetetlen tartósítási és sterilizációs módszerek.

Megfelelő tápanyag-ellátottság és optimális környezeti feltételek mellett a baktériumok maximális rátával növekednek és szaporodnak.

2.9.1. A fizikai tényezők hatása a baktériumokra

2.9.1.1. A hőmérséklet

A mikroorganizmusok szaporodását, életképességét és pusztulását meghatározó legfontosabb környezeti tényező a hőmérséklet. A hőmérséklet változása befolyásolja az anyagcsere-folyamatok és a szaporodás sebességét, a baktériumpopulációk sejtszámát. A hőmérsékleti optimumon a mikroorganizmusok enzimei maximális hatékonysággal működnek.

Ha a baktériumok egész világát vesszük figyelembe, akkor levonható a következtetés, hogy a baktériumok nagyon széles hőmérsékleti zónában képesek élni. Vannak olyanok, amelyek még -4 °C -on is szaporodnak, mások bírják a 100 °C -ot is, sőt egyesek még 250 °C -on sem pusztulnak el.

A **sztenoterm** baktérium szűk hőmérsékleti határok között nő. A gonococcus (*Neisseria gonorrhoeae*) pl. 30-40 °C-on. Az **euterm** baktérium széles hőmérsékleti határok között nő, pl. az *E. coli* 8-47 °C-on.

– minimális hőmérséklet: az a legkisebb hőmérsékleti érték, amelynél a baktérium még tud szaporodni;

– optimális hőmérséklet: az a hőmérséklet, amely legkedvezőbb a baktérium szaporodása szempontjából;

– maximális hőmérséklet: az a legmagasabb hőmérséklet, amelyen még tud szaporodni az illető baktérium.

A **pszichrofil** (kriofil) baktériumok hidegkedvelők, az optimális hőmérsékletük 10–20 °C. Magas hegyvidéki talajokban vagy a sarkkörök zónájában élnek. Elsőrendű élőhelyük a hidegforrások vize, tengerek és óceánok. A mérsékelt hidegtűrés egyes baktériumoknál gazdasági jelentőségű (élelmiszerek romlása), illetve szelektív tényező lehet. Például ha a *Listeria monocytogenes* feltehetően tartalmazó vizsgálati anyagot egy hétre 4 °C-ra helyezzük, akkor más baktériumokhoz képest elszaporodik a vizsgálati mintában.

A **pszichrotrof** baktériumok elviselik az alacsony hőmérsékletű közeget, de optimális fejlődési hőmérsékletük 20 °C felett van.

A legtöbb baktériumfaj **mezofil**, optimálisan 20-40 °C-on szaporodnak, az emlősök patogén mikrobáinak optimális szaporodási hőmérséklete pedig 37 °C.

A **termofil** baktériumok életműködése magas hőmérsékleti értékeken zajlik. Hévízekben, tenger alatti vulkánok környékén lévő vizekben, az istállótrágyában fordulnak elő. Vannak termofil tejsavas baktériumok is. Az élelmiszerekben is jelen lehetnek a termofil baktériumok (például joghurtok). A *Bacillus stearothermophilus* spóráképző termofil baktérium spórái például magas hőmérsékleten (50 °C) csíráznak.

A **hipertermofil** baktériumok optimális fejlődési hőmérséklete 80 °C felett, gyakran 100 °C körül található, és egyesek 80 °C alatt nem is fejlődnek. Ebbe a csoportba főleg archebaktériumok tartoznak.

A **szupramaximális hőmérséklet** hatására a baktériumok elpusztulnak. Ezen alapszik a hősterilizálás. A hősterilizálás hatása több tényezőtől függ. Ilyen például a hőmérséklet foka, a hőhatás időtartama (az alacsony hőmérsékleten való sterilizálás hosszabb időt igényel); a nedvesség (nedves környezetben a hőmérsékletnek nagyobb a baktériumölő hatása); a baktériumok kezdeti száma (ha ez a szám nagy, valamennyi baktérium elpusztulásához hosszabb időre van szükség); a baktérium kora és a faji hovatartozása (a gonococcusok sokkal érzékenyebbek, mint a *Streptococcus*ok és a *Sarcinák*), a fiatalabb sejtek érzékenyebbek a hőhatásra, a vegetatív sejtek kevésbé ellenállóbbak, mint a spórák. A hőkezelés káros hatása a sejtfal roncsolásával, a fehérjék denaturálásával, a biomembránok felszakadásával és bizonyos nélkülözhetetlen anyagok (RNS, ionok) elvesztésével függ össze.

A mezofil baktériumok vegetatív sejtjei elpusztulnak 15 percig tartó 60-65 °C-os, illetve 10 perces 70-80 °C-os hőkezelés hatására, a spórák elpusztításához

120 °C-os hőmérséklet szükséges 30-60 percig. A baktériumok érzékenysége a hővel szemben akkor a legkisebb, ha a közeg pH-értéke 7, nő az érzékenység lúgos közegben, rendkívül megnő savas közegben. Kedvező táptalajon a baktériumok érzékenyebbek a hőre, mint kedvezőtlen körülmények között.

A hő baktériumölő hatásának az az oka, hogy a baktériumsejt fehérjéi koagulálnak. A fehérjék koagulálása könnyebb víz jelenlétében. Nedves környezetben a hősterilizálás alacsonyabb hőmérsékleten érhető el, mint száraz közegben.

A baktériumok sokkal ellenállóbbak a szubminimális hőmérséklet hatására, mint a szupramaximális hőmérsékletre.

A **szubminimális hőmérséklet** hatása több tényezőtől függ:

1. A hőmérséklet foka. Alacsony, de 0 °C feletti hőmérsékleten a mezofil és a termofil baktériumok nem szaporodnak, azonban számos sejt megőrzi vitalitását. Nulla °C alatti hőmérsékleten számos baktérium elpusztul (50-90%), de nem pusztul el valamennyi sejt. Alacsony hőmérsékleten a baktériumok nem szaporodnak, a számuk viszont csökken. Ha a fagyasztva tárolt élelmiszereket normális hőmérsékletre hozzák, egy idő után az élelmiszer elromlik, mert a hidegben is életképesek maradnak a baktériumok.

2. Az alacsony hőmérséklet hatásának időtartama: minél hosszabb az időtartam, annál nagyobb az elpusztult sejtek száma.

3. A fagyasztás sebessége: minél gyorsabban történik a fagyasztás, annál kevesebb baktériumsejt pusztul el, mint akkor, ha a fagyasztás lassan történik. A liofilizálást a baktériumtenyészetek és a biológiai eredetű anyagok konzerválására használják. A liofilizálás három folyamatot feltételez: gyorsfagyasztás -70 °C-on, vákuumban történő gyorsszárítás és +4 °C-on történő tárolás. Ilyen körülmények között a baktériumok 0,1-40%-a életképes marad, és megfelelő fejlődési körülmények biztosítása esetén aktív életmódra tér át. A baktériumok bizonyos számban évtizedeken át megőrzik életképességüket.

4. A kifagyasztás: minél lassabban történik, annál ártalmasabb a baktériumok számára. Ha a kifagyasztás magas hőmérsékleten történik, az károsabb a baktériumokra. Ha a fagyasztást és a kifagyasztást többször egymás után megismétlik, hatékonyabb, mint ha csak egyszer alkalmazzák.

5. A baktériumok kora és faja: a Gram-negatív baktériumok érzékenyebbek a hidegre, mint a Gram-pozitívak, a fiatal sejtek, illetve a vegetatív sejtek érzékenyebbek, mint a spórák.

A fagyasztás mechanizmusa a folyékony víz átalakulásával kapcsolatos. Ha a fagyasztás lassan történik, extracellulárisan jégkristályok képződnek. A közeg ozmotikus nyomása megnő, a jégkristályok képződésének hatására megnövekedik a sejtekben a vízhiány. Ha a fagyasztás gyors, a jégkristályok kezdetben intracellulárisan képződnek, később pedig a közegben. Ha a fagyasztás sebessége nagyobb, a víz nem tud kikristályosodni, üveges, amorf vízzé alakul. A víz kikristályosodása káros a baktériumsejtekre. A sejten kívüli és belüli jégkristályok mechanikusan teszik tönkre a sejt szerkezetét. A sejt vízvesztesége következtében fellép a kolloid

állapot, amely növeli a sejten belül az elektrolitok számát, aminek következtében a sejt szaporodása leáll, majd bekövetkezik a sejthalál.

Alacsony hőmérsékleten a membránok törékenyekké válnak és az anyagcsere nagyon lelassul.

Mind az alacsony, mind a magas hőmérsékletek alkalmazása az élelmiszeripar fontos tartósítási eljárása. A hűtés és fagyasztás hatására nem csak szaporodásgátlás történik. A mikroorganizmusok fokozatosan elpusztulnak, ha huzamosabb ideig a szaporodási minimumnál kisebb hőmérsékletnek vannak kitéve. Ez a pusztulás azonban igen lassú, és a fagyasztástól nem várható teljes sterilizáló hatás. A pusztulás mértékét az élelmiszerek összetevői mint védőanyagok csökkenthetik. Általában azok a fagyasztási körülmények, amelyek a termék minőségére előnyösek, kedvezőek a mikroorganizmusok túlélésére is. A termék csak addig eltartható, ameddig változatlanul és tartósan fagyott állapotban marad. A felfedtetett termékeken mindig vannak romlást okozó mikrobák, számítani kell a kórokozók túlélésére is. A hőmérséklet növelésével viszont gyakorlatilag teljes pusztulást lehet elérni.

Az élelmiszerek tartósítására kétféle hőkezelési eljárást használnak: a pasztörözést és a sterilizést. A pasztörözés célja, általában 100 °C-nál kisebb hőmérsékletet alkalmazva, a vegetatív sejtek elpusztítása vagy legalább számuk nagymértékű csökkentése. A sterilizés minden mikroorganizmust és a baktérium endospórákat is elpusztító, 100 °C-nál nagyobb, általában 105-130 °C-on való hőkezelés. Mind a pasztörözés, mind a sterilizés nedves hővel (vízzel telített gőztérben) történik. A savas közeg és a kis pH jelentősen csökkenti a hőellenállást, melynek jelentősége van az élelmiszerek hőkezelésénél. A 4,5-ös pH-értéknél savasabb termékek hőkezelésére a pasztörözés is elég, míg a nagyobb pH-nál 100 °C feletti sterilizés szükséges. Például az egészségvédelmi szempontból legfontosabb hőtűrő spórák *Clostridium botulinum* sem szaporodni, sem toxint termelni nem tud 4,4 pH-nál savasabb élelmiszerben, a hőkezelést túlélő spórák sem csíráznak ki.

2.9.1.2. A víztartalom

A baktériumok víztartalomigénye általában fokozott. A feleslegben levő víz nem ártalmas a baktériumokra, de közvetve, az oxigéntartalom csökkenése miatt, meggátolható az aerob baktériumok fejlődése. A vegetatív sejtek a kiszáradást általában nem tűrik. Ennek gyakorlati alkalmazása az élelmiszerek tárolása száritott formában.

2.9.1.3. Ozmotikus nyomás

A baktériumok a növényi és állati sejtekhez viszonyítva ellenállóbbak az ozmotikus nyomás változásaival szemben. Ez a fokozott ellenállás a sejtfal me-revségének és szerkezeti sajátosságainak tulajdonítható.

Ha a baktériumtenyészethez tömény só- vagy cukoroldatot adnak (hipertonikus táptalaj), kiváltódik a plazmolízis. A plazmolízis bekövetkezhet mind a Gram-pozitív, mind a Gram-negatív baktériumoknál, viszont léteznek olyan Gram-pozitív baktériumok, amelyeknél nem lehet a plazmolízist kiváltani. Egy bizonyos ideig tartó plazmolízis nem vezet a sejt halálához.

10-15%-os konyhasóoldat vagy 50%-os cukoroldat hatására a sejtek általában elpusztulnak, az endospórák nem tudnak kicsírázni. Gyakorlati alkalmazás az élelmiszerek sóval való tárolása, illetve a tömény cukoroldattal való tartósítás.

Hipotonikus közegben (desztillált víz, NaCl- vagy $MgSO_4$ -oldatok) a sejt megduzzad és szétesik (plazmoptízis).

Az ozmofil baktériumok magas ozmotikus nyomáson tudnak növekedni. Ide tartoznak a halofil és a szacharofil baktériumok.

A **halofil** baktériumoknak két típusát különböztetik meg:

a) fakultatív halofil baktériumok: a közeg 2% sót kell tartalmazzon,

b) obligált halofil baktériumok: a közeg sótartalma nagyobb, mint 2%.

A halofil baktériumok tengerek, óceánok, sós tavak vizében élnek. A *Halobacterium* nemzetség első faját a Holt-tengerben fedezték fel (ahol a sókoncentráció 25%). A *Halococcus* nemzetség képviselőit a besózott halakon, valamint a besózott bőrökön fedezték fel. A sós vízben élő halakon kifejlődő baktériumok telepei piros színű festéket termelnek.

A **szacharofil** baktériumok olyan növényi nedvekben fordulnak elő, melyekben magas a cukorkoncentráció, valamint cukrozott készítményekben, hígított mézben, nektárban, koncentrált gyümölcslevegekben növekednek.

2.9.1.4. Mechanikai hatások

1. A mechanikai nyomás

A baktériumok szaporodása leáll 600 atm nyomáson. A vegetatív sejtek elpusztításához 5000 atm szükséges 10 percig, míg az ellenállóbb spórák esetében 20000 atm 45 percen keresztül. Természetes körülmények között a baktériumok ilyen magas nyomásnak nincsenek kitéve. Kivételt képeznek a tengerek, óceánok kőolajtelepei, ugyanis léteznek baktériumok az óceán iszapjában 10462 m mélységben, ahol a vízoszlop hidrosztatikus nyomása 10000 atm. Az itt élő baktériumok halofilek.

2. Rázás

A lassú rázás (1-60 rázás/perc) serkenti a baktériumok növekedését és szaporodását. Elősegíti a tápanyagok bejutását a sejtbe, az aerob baktériumoknál pedig elsősorban a közeg levegőztetését. Az erős rázás szilárd anyagokkal a baktériumok szétzúzásához vezet.

3. Szétdörzsölés

Ezt mozsárban lehet végezni, finom üveg- vagy alumíniumporral. Szilárd anyagok jelenlétében a dörzsölés is káros hatású a baktériumokra.

4. Szűrés

A baktériumokat folyadékból vagy gázból szűréssel el lehet távolítani. A szűrőn maradt baktériumok megőrzik életképességüket.

5. Centrifugálás

Különböző folyadékokból a baktériumok centrifugálással eltávolíthatók, azáltal, hogy leülepednek.

6. Ultrahangos kezelés

Az ultrahang hatására vizes közegben a baktériumok elpusztulnak. A sejtet alkotó elemek elkülönülnek, az endotoxinok a sejtből kiszabadulnak. A folyékony fázisban feloldódó gázok az ultrahangok hatására kis buborékokká alakulnak át, és belülről szétzúzzák a sejt falát.

2.9.1.5. A sugárzások

A dózistól függően bakteriosztatikus, mutagén vagy baktericid hatást váltanak ki. A napsugarak hatását már az ókorban megfigyelték, hogy például a gennyek sebek könnyebben gyógyulnak. A napsugarak baktericid hatásával Koch, Büchner és Roux foglalkozott.

Büchner Petri-csészékbe, szilárd táptalajra leoltotta a tífuszt okozó baktériumokat, majd a táptalajt fekete papírral lefedte, melyről előzőleg kivágta három betűnek (TYP) az alakját. A Petri-csészéket kitette a napra, majd inkubátorba helyezte őket. Az inkubálás után megfigyelhető volt, hogy mindenhol megjelentek a tífuszbetegség bacilusai, csak a kivágott betűk helyén hiányoztak. Az ultraibolya és az infravörös sugarak felmelegítették és kiszárították a baktériumsejteket.

A fototróf baktériumoknak szükségük van a fényre, melyre pozitív fototaxissal válasszhatnak.

Az ultraibolya sugarak főleg 257 nm hullámhossznál hatnak a baktériumokra. A nukleinsavak purin- és pirimidinbázisai abszorbeálják ezt az energiát, aminek következtében megváltozik a nukleinsavak szerkezete, ami bakteriosztatikus lehet vagy a sejt halálát okozza. Az ultraibolya sugarak hatása oxigén jelenlétében fokozódik, valószínűleg a toxikus oxigénformák és peroxidok képződése miatt, amely fehérjék, nukleinsavak és biomembránok károsodását okozza.

A nem pigmentképző baktériumok és a fiatal sejtek érzékenyek a sugarakkal szemben. Az UV sugarakat kibocsátó lámpák hasznosak a gyakorlatban a levegő és a különböző felületek sterilizálására, például speciális laboratóriumokban, műtőkben, húsfeldolgozó üzemekben, gyógyszertárakban. Ha a levegőben sok a

porszemcse, az UV sugarak hatása gyengébb. A folyadékok (ivóvíz, vérsavó) sterilizálására az UV sugarak kevésbé hatásosak. Az ultraibolya sugarak nem tudnak áthatolni a közeget határoló üvegen. Az UV sugarak csak a táptalaj felszínén levő baktériumokra hatnak.

A baktériumok ultraibolya sugarakkal szembeni érzékenysége függ a sejtek fajától és korától. A fiatal sejtek érzékenyebbek, mint az érett vagy idős sejtek, a spórák ellenállóbbak, mint a vegetatív sejtek. A *Deinococcus radiodurans* baktérium különösen sugárrezisztens, ami részben sajátos sejtfalszerkezetének tulajdonítható, valamint annak a rendkívül aktív enzimmechanizmusnak, amely a DNS-töréseket javítja.

A röntgen- és γ sugarak nagy dózisban alkalmazva mutagén vagy baktericid hatásúak. Az infravörös sugarak elpusztítják a baktériumokat. A korpuszkuláris sugarak (elektron-, proton-, neutronsugarak) szintén pusztítják a baktériumokat. Élelmiszerek sterilizálására alkalmazhatók.

2.9.2. A kémiai tényezők hatása a baktériumokra

A koncentrációtól függően a kémiai anyagok hatása lehet pozitív, serkenti a baktériumok növekedését, vagy negatív (baktericid) hatás, illetve közömbös. Például a glükóz 0,5-2%-ban értékes táplálék a heterotróf baktériumok számára. Magas koncentráció esetén (20-40%) plazmolizáló hatást vált ki.

A fenol 5%-os töménységben baktericid hatású, de 0,01-0,1%-os koncentrációban energiát szolgáltat bizonyos baktériumok számára.

A kedvezőtlen vegyi anyagokkal szemben a mikroorganizmusok az ún. negatív kemotaktizmussal, a kedvezőekre pozitív kemotaktizmussal válaszolnak. Ha egy hajszálkémcsőbe peptonos táptalajt teszünk, és azt behelyezzük rothasztó baktériumok tenyészetébe, megfigyelhető, hogy a baktériumok összegyűlnek a hajszálcső kivezető végének környékére. Ha a kísérletet megismételjük, és a hajszálcsőbe savat, lúgot vagy alkoholt teszünk, a baktériumok eltávolodnak a nyílás környékéről. A gyakorlatban felhasznált kémiai anyagokat három típusba soroljuk: nem fajlagos kémiai anyagok, kemoterápiás anyagok és antibiotikumok.

A nem fajlagos kémiai anyagok nem csak a baktériumok számára, hanem valamennyi élőlény számára mérgezőek. Ezek az anyagok csak bizonyos tárgyak, anyagok felszínén található mikroorganizmusok pusztítására használhatók. Egyesek alkalmazhatók az állatoknál és az ember esetében is, de csak külsőleg, pl. bőrre, nyálkahártyákra, kisebb sebekre.

Az antiszeptikumoknak **bakteriosztatikus** (szaporodást gátló) hatásuk van, a fertőtlenítőszernek **baktericid** (pusztító) hatásúak. A két csoport közti elhatárolás nem mindig világos, mivel az antiszeptikumok is megölhetik a baktériumokat, ha nagy mennyiségben alkalmazzák, és hatásuk időtartama kellőképpen hosszú.

A különböző nem fajlagos kémiai anyagok hatásmechanizmusa nagyon változatos, és didaktikai szempontból a következőképpen csoportosítható:

- módosítják a sejtek permeabilitását,
- denaturálják a fehérjéket,
- blokkolják a fehérjék reaktív csoportjait.

A sejtek permeabilitását módosító anyagokat tenzioaktív anyagoknak nevezik. Csökkentik a felületi feszültséget, a sejtek hárttyája elveszíti félig átteresztő képességét, ami a szaporodás leállításához és a sejtek halálához vezet. Idetartoznak a fenolok, a detergensok, a szappanok.

A fenolt (karbolsav) elsőként Lister alkalmazta az aszeptikus sebészetben. Ma a fenolt (mivel korrozív anyag) csak bizonyos biológiai készítményekben használják, a mikrobák szaporodásának gátlása céljából. 0,5%-os mennyiségben az immun vérsavókhoz adják. A fenolt ma fenolszármazékok helyettesítik, melyek kevésbé korrozívak.

A detergensok lehetnek nem ionos detergensok, kationaktív detergensok és anionaktív detergensok.

A nem ionos detergensoknak nincs baktériumellenes hatásuk, sőt serkentetik a baktériumok szaporodását. A kationaktív detergensok erős baktériumölő hatásúak. Az ammóniumsóknál pl. legalább egy csoport hosszú nyílt szénlánc kell legyen. A kationaktív detergensok inkább lúgos közegben hatnak a Gram-pozitív baktériumokra. A ruhaneműk és az edények fertőtlenítésére alkalmasak.

Az anionaktív detergensok (pl. a nátrium-tetradecil-szulfát) gyenge antiszeptikus hatásúak, savas közegben elsősorban a Gram-pozitív baktériumokra hatnak.

A szappanok természetes vegyületek, nem erős antiszeptikumok, de elpusztíthatnak számos patogén baktériumot: a streptococcusokat, a tífusz bacilust, de nincs hatásuk a staphylococcusokra. Jobban hatnak meleg vagy langyos vízben, mint hidegben. A mikroorganizmusok a bőr által kiválasztott zsíros váladékban találhatóak, melyet a szappanhab emulzióval eltávolít.

A vegyi anyagok denaturálják a fehérjéket. Idetartoznak a savak, a bázisok és az alkoholok.

Az ásványi savak közül a kénsav, a sósav, a foszforsav és a salétromsav erős fertőtlenítőszer. E savak hatása az ún. elektrolitikus disszociációnak tulajdonítható, vagyis a hidrogénionok hatására pusztulnak el a baktériumok. A szerves savak sokkal erősebb fertőtlenítő anyagok. A szerves savak baktériumölő hatása arányosan nő a lánc hosszával. Az ecetsavat 5%-os töménységben bizonyos élelmiszerek tartósítására használják. Bizonyos takarmányok és élelmiszerek (silóku-korica, savanyú uborka, káposzta) tartósítását az a tejsav végzi, amely az erjedés során keletkezik.

A lúgot [NH₄OH, Ca(OH)₂] olyan anyagok fertőtlenítésére használják, melyek nem mennek tönkre a lúgok hatására. A bázisok hatása szintén az elektrolitikus disszociációnak tulajdonítható (OH ionok hatása).

Az alkoholok gyenge fertőtlenítőszer. Baktériumellenes hatásuk nő a lánc hosszával. A gyakorlatban leginkább az etil-alkoholt és a glicerint használják. Az etil-alkohol 2-10 perc alatt pusztítja el a Koch-bacilust, 1200 óra alatt a lépfenebacilust, 65 perc alatt a staphylococcusokat. Az etil-alkohol gyengébben hat 45%-os és 90%-os töménységben, mint 60%-osban. A 60%-os alkoholból több molekula jut be a sejtbe. Emiatt a 60%-os alkohol inkább baktericid hatású, mint a kisebb vagy töményebb oldata. A 60-70%-os etil-alkoholt a bőr fertőtlenítésére és a már sterilizált orvosi műszerek tartósítására használják. A glicerolt 50%-os töménységben alkalmazzák antibakteriális anyagként bizonyos vírusellenes oltóanyagok tartósítására. A glicerin leállítja a baktériumok szaporodását, de nem inaktíválja a kórokozó anyagot.

Nem fajlagos kémiai anyagok, melyek blokkolják a fehérjék (enzimek) reaktív csoportjait (NH_2 -, COOH -, szulfhidril-, OH - csoportok).

Aldehidek, etilén-oxid, nehézfémek, oxidálóanyagok, redukálóanyagok és a bázikus festékek is hatással vannak a baktériumokra.

Az aldehidek erős fertőtlenítőszer, antimikrobiális hatásuk csökken a lánc hosszával. A legerősebb aldehid a formaldehid, leginkább blokkolja az aminocsoportot. A kereskedelemben formolnak nevezik, és 40%-ban tartalmaz formaldehidet. 0,4%-os koncentrációban használják az ún. anatoxinok előállítására. Az anatoxin olyan baktériumtoxin, mely a formaldehid hatására elvesztette mérgező hatását, de megőrizte immunogén hatását. Az anatoxinokat vakcinaként használják.

Az etilén-oxid erős baktericid hatású gáz. A fehérjék aminocsoportjával reagál, melynek során létrejön a fehérjék etilezett származéka. Ruháink, cipők, könyvek, különböző műanyag tárgyak és az úrhajók belső terének a fertőtlenítésére használják. Mivel gyúlékony gáz, szén-dioxiddal keverve használják.

A nehézfémek hatását egyszerű kimutatni. Petri-csészében lévő táptalaj felszínére például *Staphylococcus aureus* baktériumot oltunk le. Ezt követően a táptalaj felszínére helyezünk egy ezüstérmét, utána inkubátorba tesszük a Petri-csészét. Inkubálás után az érme környékén hiányoznak a baktériumtelepek, **inhibíciós zóna** figyelhető meg. A gátlási zóna szélén sokkal nagyobbak a baktériumtelepek, ez a serkentő vagy stimulációs zóna. A gátlási zónában a leszakadt ezüstionok olyan koncentrációban képződtek, hogy ennek hatására a baktériumok elpusztultak, a serkentő zónába az ezüstionok olyan alacsony koncentrációban jutottak, melyek serkentően hatottak mint mikroelemek (az ezüst részlegesen oxidálódott, ezüst-hidroxid keletkezett). Ez a fémtárgyak önfertőtlenítő jelensége (pl. ezüstpénz).

A higanyklorid erős baktericid hatása a Hg-ionokra vezethető vissza, melyek a fehérjékben lévő szulfhidrilcsoportokkal reagálnak. Szintén erős baktericid hatású az ezüst-nitrát.

Oxidálószer: halogén oxidálószer

Az oxidálószer az aktív oxigén termelése révén károsítja a fehérjéket. A víz, a bőr és egyes tárgyak fertőtlenítésére használják.

A klórgáz erőteljes baktériumölő hatású, vízben hipoklóros savvá és sósavvá alakul. Szennyvizek, ivóvizek fertőtlenítésére használják.

A jódot alkoholos oldatban, jódtinktúra formájában a bőr és kisebb sebek fertőtlenítésére használják. A jódot szintén felhasználják ivóvizek fertőtlenítésére, esetenként más tisztítási eljárásokkal társítva.

Az ózon nedves közegben baktériumölő hatású. Ivóvíz, valamint üvegek sterilizálására használják.

A hidrogén-peroxid is antimikrobiális hatású. Hatását csökkentik a szerves anyagok.

A kálium-permanganátot 0,1%-os oldatban használják antiszeptikumként.

Bázikus festékek

Nemcsak a fehérjékkel lépnek reakcióba, hanem az RNS-sel és a DNS-sel is. Hatásuk erősebb a Gram-pozitív baktériumokra, mint a Gram-negatívokra. A malachit-zöld, a kristály-ibolya, a brilliáns-zöld, a bázikus fukszin festékeket bizonyos táptalajokhoz adják azért, hogy megakadályozzák a Gram-pozitív baktériumok szaporodását. A kristályibolyát bizonyos bőrbetegségek gyógyítására használják.

Kemoterápiás anyagok

Az állatorvosi és orvosi gyakorlatban használják. Erőteljes hatásuk van a mikroorganizmusokra, de nem mérgezőek, vagy csak kismértékben mérgezőek az állatokra és az emberre. Azáltal fejtik ki hatásukat, hogy valamilyen létfontosságú anyagcsere-folyamatot gátolnak vagy a baktériumok DNS-replikációját zavarják meg. Idetartoznak a szulfonamidok és ennek származékai, a tuberkulosztatikumok, a szulfonok.

A szulfonamidok a p-amino-benzoésav szerkezeti analógjai, ezért gátolják a folát-szintetáz enzimet, amely a p-amino-benzoésavból kiindulva a baktériumok folsavszintézisében játszik jelentős szerepet. A gyakran fellépő rezisztencia és mellékhatások miatt a szulfamidokat napjainkban ritkán használják a Gram-pozitív coccusok által okozott fertőzések kezelésére, de fontos alkotói a tuberkulózis elleni kombinált terápiának.

A tuberkulosztatikumok a *Mycobacterium tuberculosis* ellen hatnak. Idesorolható a p-amino-szalicilsav, amely a folsav szintézisét gátolja, és az izonikotinsav hidrazid, amely a PP-vitamin (nikotinsav) szintézisét zavarja meg, és a sejtfal szerkezetében található mikolsavak keletkezését is gátolja.

A szulfonok a *Mycobacterium leprae* ellen hatékonyak.

A pH

A pH befolyásolja az enzimműködést, a tápanyagok szállítását a sejtbe. A patogén baktériumok növekedésének optimális pH-ja a vér, a szövetek pH=7,2–7,4-es tartományában található. A nem patogén, de az emberi szervezetben gyakran előforduló tejsavbaktériumok a pH=5 körüli közeget kedvelik.

A táptalajok pH-ja nagymértékben befolyásolja a baktériumok növekedését, és elsősorban citoplazmahártyát alkotó fehérjék elektromos töltésére fejt ki hatását. A pH-értékek nagy ingadozásai károsítják a membránok integritását és megzavarják az enzimek működését.

A baktériumok optimális fejlődési pH-tartományuk alapján három csoportba sorolhatók: acidofilek (pH=1–5,5), neutralofilek (pH=5,5–8) és alkalofilek (pH=8,5–11,5). A legmagasabb savtűrő képességgel a valódi baktériumok közül a *Thiobacillus*ok és a *Helicobacter pylori* rendelkeznek (optimális pH=1,5–2,5). A rothasztó baktériumok és az urobaktériumok a bázikus közeget kedvelik.

2.9.3. A biológiai tényezők hatása a baktériumokra

Bakteriocinek

A bakteriocinek a baktériumok által termelt, baktericid hatású, fehérjetermészetű anyagok. Számos baktériumfaj termel bakteriocint, amely azonos vagy más fajhoz tartozó baktériumokra hat, bakteriosztatikus vagy baktericid hatású. A kódoló gén plazmidon található. A baktériumok bakteriocinérzékenysége sejtfelszíni receptorok jelenlétével függ össze. Az első bakteriocint *Escherichia coli* tenyészetből vonták ki, kolicinnek nevezték. A *Lactococcus lactis* által termelt nizin antibakteriális hatását elsősorban a Gram-pozitív baktériumokra fejt ki, különösen a spóráképzőkre. Az érzékeny sejt pusztulását okozza azáltal, hogy a citoplazmahártyán pórusokat képez, amelyeken keresztül kismolekulájú anyagok áramlanak ki a sejtől. Az elektrontranszport-láncban az oxigén felvételét gátolja, a sejt nem képes a makromolekulák szintéziséhez szükséges energia termelésére.

Bakteriofágok

A bakteriofágok a baktériumok vírusai. A litikus fágok a szaporodásuk során nagyszámú fágot létrehozva a gazdasejt elhalását váltják ki.

Antibiotikumok

Az antibiotikumok különböző mikroorganizmusok által szintetizált másodlagos anyagcseretermékek, amelyek más mikroorganizmusok fejlődésére fejtenek ki gátló hatást. Az antibiotikumokat termelő mikroorganizmusok a környezetben elterjedtek, fontos szerepet játszanak a talaj, a víz, a szennyvíz, a komposzt baktériumpopulációjának a szabályozásában.

Az antibiotikumokra jellemző a szelektív toxicitás, vagyis csak bizonyos mikroorganizmusok számára toxikusak. A baktériumellenes antibiotikumok csoportján belül megkülönböztethetők a Gram-pozitív baktériumokra ható antibiotikumok (pl. penicillin), a Gram-negatív baktériumokra ható antibiotikumok (pl. klozoxanil), valamint a Gram-pozitív és a Gram-negatív baktériumokra egyaránt ható antibiotikumok (pl. tetraciklin). Vannak gombaellenes és protozoonok elleni

antibiotikumok is. Gyógyászati szempontból a legjelentősebbek a *Streptomyces* nemzetségbe tartozó baktériumok által termelt antibiotikumok.

Az antibiotikumok osztályozása hatás szerint:

1. Baktericid hatású antibiotikumok: elpusztítják a baktériumokat (penicillinek, aminoglikozidok).
2. Bakteriosztatikus hatású antibiotikumok: meggátolják a baktériumok növekedését. Kevésbé hatásosak, mint a baktericid szerek, viszont megadják a szervezet számára az esélyt, hogy a saját védekezési mechanizmusai révén győzze le a kórokozókat (például a klóramfenicol, a tetraciklin, az eritromicin stb.).

Az antibiotikumok osztályozása a hatásmechanizmus függvényében:

- a sejtfal szintézisét gátló antibiotikumok,
- a fehérjék szintézisét gátló antibiotikumok,
- a nukleinsav szintézisét gátló antibiotikumok,
- a sejtmembrán funkcióját gátló szerek.

A mikroorganizmusok az antibiotikumokkal szemben toleranciát vagy rezisztenciát fejlesztettek ki. A tolerancia (fenotípusos rezisztencia) átmeneti jellegű és számos tényező befolyásolja: a tenyészet kora (a stacioner szakaszban levő sejtek ellenállóbbak), a sejtciklus fázisai (a vegetatív sejtek érzékenyebbek, mint a spórák), a táptalaj összetétele. Tolerancia esetén a törzs 2-10-szeres antibiotikum-koncentrációkat visel el. Rezisztencia esetén egy adott törzs, szemben ugyanazon faj más törzseivel, az antibiotikum-koncentráció 10- vagy akár 1000-szeres értékeinél is szaporodik. A baktériumok antibiotikumokkal szembeni rezisztenciája lehet természetes vagy szerzett. A természetes rezisztencia a törzsfelődés során jön létre, a sejt szerkezeti és élettani sajátosságai miatt védett egy adott antibiotikummal szemben, mivel hiányzik a felvételi rendszer, a célmolekula vagy az a folyamat, amelyre az antibiotikum hat. A *Pseudomonas aeruginosa* baktérium például számos antibiotikummal szemben természetes rezisztenciával rendelkezik, ilyenek például az aminopenicillinek, a cephalosporin, a macrolidek, sulphonamidok, tetracyclinek, chloramphenicol. Széles körű természetes antibiotikum-rezisztenciáját a baktérium sejtfalának impermeabilitása, a baktériumban termelődő indukálható β -laktamáz enzim, valamint az energiaigényes pumparendszerének működése magyarázza. A szerzett (genotípusos) rezisztencia genetikai változásokat igényel, kétféle típusa létezik: mutációs rezisztencia és átviteli rezisztencia.

A baktériumok antibiotikumokkal szembeni rezisztencia-mechanizmusai változatosak lehetnek. Idetartozik az antibiotikum inaktiválása, a permeabilitás módosítása az antibiotikummal szemben, a receptorhelyek számának vagy affinitásának módosítása, a célmolekula megváltoztatása.

2.10. A baktériumok genetikája

A baktériumoknak fontos szerep jut a genetikai kutatásokban, mivel haploid genommal rendelkeznek, rövid a generációs idő, olcsón és egyszerűen nagy populációkhoz lehet jutni.

A genetikai anyag szerepe a genetikai információ tárolása és átörökítése, a meghatározott tulajdonságok kifejeződésének szabályozása. A **genotípus** jelenti a genetikai információk összességét, a **fenotípus** pedig az összes megnyilvánuló sajátságot.

A genotípus változása a fenotípus megváltozásához vezethet, a fenotípus változása viszont nem szükségszerűen a genotípus megváltozásának a következménye.

A baktériumok kifejezett alkalmazkodó képességgel rendelkeznek. A generációs idő rövidege miatt a genetikai változás következtében előnyhöz jutott sejt utódai hamar túlnövik a populáció többi tagját. A baktériumok genetikai változás nélkül is képesek a környezeti feltételek megváltozásához alkalmazkodni.

A **módosulás** genotípus megváltozása nélkül bekövetkező fenotípusos változás. A módosulások a környezethez való alkalmazkodás (adaptáció) eszközei. A bakteriális gének működése legnagyobb részben nem konstitutív (állandó), hanem induktív. A gének ki-bekapcsolása széles körű alkalmazkodást biztosít a mikroba sejt számára. A módosulás megnyilvánulhat például a sejt járulékos szerkezeti elemeinek tekintetében. Például a *Bacillus anthracis* toxinja csak szén-dioxid-tartalmú közegben fejlődik ki, a szokásos tenyésztés során pedig nem. A csillók kifejlődéséhez megfelelő nedvesség szükséges, ez gyakran csak folyékony táptalajban figyelhető meg. Stacioner fázisban lévő baktériumok kismértékű antibiotikum-rezisztenciát mutatnak.

A genomban foglalt információ bármely állandó, öröklődő megváltozását **mutáció**nak nevezzük. A mutáció a DNS bázisszekvenciájában bekövetkezett változás. A mutáció eredménye maradandó, független a környezeti tényezők változásától, öröklődik. Ha a mutáció előnyös, a baktériumsejt utódai dominánssá válhatnak az illető populációban.

A beavatkozás nélkül fellépő mutációkat **spontán mutációknak**, a mutagén tényezők hatására kialakult mutációkat pedig **indukált mutációknak** nevezzük. A legkorábban megismert mutagén ágens az ultraibolya besugárzás. A kémiai mutagén ágens a bázisanalogok, amelyek a bázisok helyére épülnek be, és a hibás párképzéssel keletkeznek a mutációk. Ugyancsak kémiai mutagén tényezők a bázismódosítók, például a hidroxilamin, ami a citozint dezaminálja.

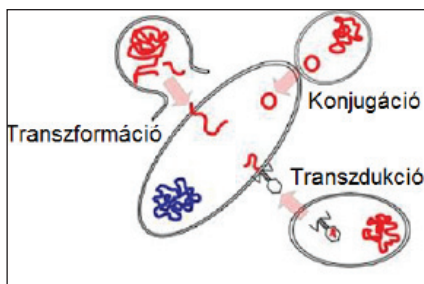
Azt a mikroorganizmust, amelyik természetes, nem mutált tulajdonságokkal rendelkezik, **vad típusnak** vagy vad törzsnek nevezzük. A mutáns törzsek valamilyen változást mutatnak a morfológiai bélyegek, a táplálkozási igények, a különböző kémiai szerekkel szembeni ellenállóság, hőmérsékleti igény stb. szempontjából. Gyakorlati genetikai célokra jól felhasználhatók azok a mutánsok, melyek

valamely aminosav, nitrogénbázis, növekedési faktor bioszintézisében szenvedtek mutációt. Ezek minimál táptalajon nem képesek szaporodni, dependensek arra a termékre, melyet nem képesek szintetizálni. Ezeket **auxotróf mutánsoknak** nevezük. A szénhidrát-fermentáció szempontjából fellépő mutánsokat **fermentációs mutánsoknak** hívjuk. Ugyancsak jelentősek a rezisztens mutánsok is.

2.10.1. Genetikai anyag átvitele baktériumok között

A prokariótáknál az egyes fajok között gyakori jelenség a genetikai anyag cseréje. Az átvitt DNS-szakaszok rezisztenciagéneket, virulenciafaktorokat hordozhatnak, a recipiens sejtnek új tulajdonságot kölcsönöznek.

A genetikai információ átadása történhet vertikálisan (az utódoknak) vagy horizontálisan (a donor sejtől a befogadó sejtbe). A baktériumok közti horizontális információátadás történhet transzformáció, transzdukción és konjugáción által (2.35. ábra).



2.35. ábra. A horizontális genetikai anyag átadásának lehetőségei a baktériumoknál
(Hendrickson 2008)

2.10.1.1. A transzformáció

A transzformáció során a baktérium közvetlenül DNS-t vesz fel a környezetéből. A DNS származhat a környezetben elpusztult és szétesett sejtekből, vagy lehetnek mesterségesen előállított DNS-fragmentumok. Azokat a baktériumsejteket, amelyek képesek az idegen DNS felvételére, kompetens sejteknek nevezzük. A kompetencia genetikailag meghatározott tulajdonság, amely specifikus fehérjék meglétét és működését igényli. A DNS-fragmentum hidrogénhidakkal kapcsolódik a homológ recipiens DNS-szakaszhoz, majd a következő replikáció alkalmával kicserélődnek a donor és recipiens DNS-szakaszok, és megtörténik a rekombináció. A transzformáció több Gram-pozitív baktériumban végrehajtható, magas Ca^{2+} -szint mellett, az *E. coli*-ban is.

A kompetens sejteknek két típusát különböztethetjük meg: ideiglenesen kompetens és állandóan kompetens sejtek. Az ideiglenesen kompetens baktériumsejtek transzformációja a quorum sensing jelenséggel hozható kapcsolatba. A *Streptococcus pneumoniae* rövid ideig, a szaporodás exponenciális szakaszában transzformálható, amikor a megfelelő sejtsűrűség elérésekor a kompetens sejtek egy kis molekulatömegű, 17 aminosavból álló fehérjét (kompetenciafaktort) választanak ki, amely a sejtmembrán receptoraihoz kötődve specifikus fehérjék szintézisét indukálja, elősegítve a transzformációt. Az állandóan kompetens sejtek esetében nincs kompetenciafaktor-termelés. A kompetencia kialakulásában és fenntartásában valószínűleg a cAMP jelmolekula játszik szerepet, amelynek mennyisége megnő a sejten belül, amikor a sejtek a stacioner szakaszba kerülnek. Ez jellemző például a *Haemophilus influenzae* baktériumra.

2.10.1.2. Transzdukció

Transzdukció esetén a génátvitel bakteriofág közvetítésével történik. A bakteriofágok nem mindig pusztítják el a gazdaszervezetet, és amíg a megtámadott sejtben szaporodnak, integrálhatnak DNS-szakaszokat gazdájuk genomjából. Ezeket azután mint vektorok, átvihetik más gazdaszervezetbe, ahol leadhatják, és e szakaszok beépülhetnek az új gazdába, új tulajdonságot adva neki.

Általános transzdukció esetén az elbomló gazda-DNS-ből véletlenszerűen integrálódnak fragmentumok a fágba. Specializált transzdukció esetén megkülönböztetett szakaszokat vesz fel a fág, és saját genomjának darabjait visszahagyja.

A temperált fágok alkalmasak transzdukcióra, ezek profág állapotban beépülnek a gazdasejt genomjába, és attól kezdve a szaporodásuk a gazdasejt ellenőrzése alatt áll. Az ilyen sejt vonal lizogén állapotban van. Külső ingerek (például UV sugárzás) indukálhatják a lízist, ami a fággenom kivágódásával kezdődik, és ha ez pontatlan, akkor viszi magával a fág a szomszédságában lévő baktériumgéneket. A profágot tartalmazó lizogén sejt immunis a többi, hasonló típusú bakteriofággal szemben, vagyis fenotípusa megváltozott a nem lizogén sejtekhez képest. Az immunitáson kívül gyakran más fenotípusos változás is kimutatható (például a toxintermelő képesség, antibiotikum-rezisztencia). A jelenséget fágkonverciónak nevezik. A transzdukció genetikai információt közvetíthet az élővilág egymástól távol álló képviselői között.

2.10.1.3. A konjugáció

A konjugáció során a donor és a recipiens sejtek között szexpilusokon keresztül történik a plazmidok, kromoszómáriszek vagy egyéb genetikai anyag átadása. Ez a folyamat jellegzetesen a Gram-negatív baktériumokban játszódik le. A donor (F⁺) sejtek F-plazmidjának cirkuláris DNS-én hasítás történik, és az egyik DNS-szál átadódik a recipiensnek. Ezt követően a donorsejtben az átadott szál újra

szintetizálódik az ún. guruló kerék mechanizmus szerint, és a recipiens sejt is elkészíti a befogadott információ komplementer szálát. Miután az F⁺ sejtek is szertettek a plazmidra, ők is képesek lesznek szexpilus fejlesztésére és donorfunkciók ellátására. Vannak Hfr (high frequency of recombination=nagy gyakorisággal rekombinálódó) donorok is, amelyeknél az F plazmid nemcsak konjugatív, hanem integratív is. Ezekben a törzsekben az F plazmid episzómaként változatos helyekre integrálódott a kromoszómába. Egyes esetekben a Hfr donorok kromoszómájából kivágódhat az F plazmid, magával ragadhat géneket, és ezekkel együtt kerülhet át a recipiensekbe, ahol önállóan replikálódva új tulajdonságokat kölcsönöz a befogadónak.

Konjugációval fontos tulajdonságokat meghatározó gének kerülhetnek át a recipiensbe, mint például az antibiotikum-rezisztencia, nehézfémekkel szembeni ellenálló képesség, toxintermelés, bakteriocintermelés, virulenciafaktorok szintézisének képessége. A Gram-pozitív baktériumokban ritkábban figyeltek meg konjugációt.

2.10.2. Mobilis genetikai elemek

A mobilis genetikai elemek képesek a genom egyik részéről a másikra áthelyeződni. Ilyenek például az inszerciós szekvenciák és a transzpozonok.

Az **inszerciós szekvenciák** csak a transzpozícióhoz szükséges gént hordozzák. Végeiken fordítottan ismétlődő szekvenciák vannak. Képesek áthelyezni magukat a kromoszóma egyik végéről a másikra, vagy a kromoszómáról a plazmidra, és fordítva is. Az inszerciós szekvenciák azáltal okozhatnak változást a fenotípusban, hogy blokkolják azokat a géneket, amelyekbe beépültek, de poláros hatással lehetnek a szomszédos génekre is.

A **transzpozonok** nemcsak a transzpozícióhoz szükséges információt hordozzák, hanem más géneket is. Inszerciós elemek által közrefogott gének. Jelentőségük az antibiotikum-rezisztencia kialakulásában van.

3. A PROKARIÓTÁK VÁLTOZATOSSÁGA

3.1. A prokarióták rendszerezésének alapelvei

A prokarióta sejt mikroszkópos vizsgálata nem elégséges a baktériumok meghatározásához és különböző rendszertani csoportokba való besorolásához. A baktériumsejt morfológiai jellemzői mellett fontos adatokat szolgáltatnak a különböző diagnosztikai reakciók, a sejtfestési eljárások és a szelektív tenyésztési módszerek eredményei.

A mikroorganizmusok rendszerezésében a faj központi szerepet foglal el. A prokarióta faj több, általában stabil bélyeg alapján hasonlóságot mutató törzsek csoportja. Azonos fajba 70%-nál nagyobb genomi DNS-DNS hibridizációs értéket mutató törzsek tartoznak, ami megfeleltethető a 16S rRNS gén összehasonlító bázissorrend elemzésénél tapasztalható 97%-osnál nagyobb hasonlóságnak.

A baktériumfajok megnevezésére is latin binomiális neveket használunk, pl. *Bacillus subtilis*. A bakteriológiában gyakran találkozunk faj alatti kategóriaként alfajokkal. Ezek megjelölése különböző lehet: szerotípus (serotype, serovar), ha valamely antigén sajátosságban, patotípus (pathotype, patovar), ha valamely patogenitást érintő sajátosságban, vagy biotípus (biotype, biovar), ha valamely biokémiai vagy fiziológiai sajátosságban mutatnak eltérést. Az ökotípus hasonló környezeti feltételekhez adaptálódott populációk csoportja, a morfortípus (morfovar) hasonló alaktani tulajdonságokkal rendelkező törzsek csoportja.

A baktériumok rendszerezése során használt hagyományos eljárások közül elsőként a morfológiai vizsgálatokat említhetjük. A morfológiai vizsgálatok során meghatározható a baktériumok mérete, alakja, a sejtek jellegzetes elrendeződése, a sejtek mozgékonyasága. Mikroszkópos festések alkalmazásával feltárható a bakteriális tok vagy az endospórák jelenléte és elhelyezkedése, elvégezhető a Gram-jelleg kimutatása. A baktériumok meghatározása során jelentősek a különböző táptalajokon megfigyelhető telepmorfológiai sajátosságok (például a telep mérete, színe vagy általános morfológiája).

A hagyományos eljárások közé tartozó biokémiai teszteknek és a metabolikus sajátosságok vizsgálatának szintén fontos szerepe van a baktériumok rendszerezése során. A különböző táptalajokban és táptalajokon, változatos feltételek mellett történő tenyésztéssel meghatározhatók a vizsgált baktérium növekedéséhez szükséges optimális és minimális feltételek, például az oxigénellátottság, a pH, a sókoncentráció, a hőmérséklet és a tápanyagigény. Különösen fontos a különböző szén- és nitrogénforrások hasznosítási képességének vizsgálata, valamint azok a tesztek, melyek különböző enzimek és toxinok termelését mutatják ki. Az enzimek közül például a koaguláz (a vérplazma koagulálása), az ureáz (karbamid bontása),

az amiláz (keményítő hidrolízise), a kataláz (a hidrogén-peroxid elbontása), a zselatináz (zselatin hidrolízise). A toxinok közül leggyakrabban a hemolizinek kimutatása történik, melyek véres táptalajon hemolízist okoznak.

A baktériumizolátumok meghatározása során egyre inkább használják a szelektív és differenciáló táptalajokat, melyek csak egy vagy néhány közeli rokon faj vagy taxon jellegzetes növekedését teszik lehetővé.

A kemotaxonómiai és a molekuláris taxonómiai vizsgálatok a sejt kémiai összetételére és genetikai állományára vonatkozó eredményeket szolgáltatnak a bakteriális rendszerezés céljából. Például megemlíthető a sejtfal kémiai összetételének különbözősége a Gram-pozitív és a Gram-negatív baktériumoknál, a Gram-pozitív baktériumoknál fontos a teichonsavak jelenléte, míg a Gram-negatív baktériumoknál a rájuk jellemző felszíni lipopoliszaharidok. Esetenként a Gram-pozitív baktériumokban olyan sejt felszíni poliszacharidok mutathatók ki, melyek differenciáló értékűek. A baktériumok jellegzetes különbségeket mutathatnak a sejtmembrán összetételében, elsősorban az előforduló lipidek kémiai természeté alapján.

Az élővilágról alkotott képet alapvetően megváltoztatták az 1980-as években kibontakozott molekuláris vizsgálatok, amelyek elsősorban az rRNS-re alapozódtak. Az ezeket alkotó nukleotidok sorrendjét (szekvenciáját) összehasonlítva kiderült, hogy az egységesnek vélt prokarióta baktériumok két nagy csoportra oszthatók: az ősbaktériumokra és a valódi baktériumokra, amelyek egymástól éppannyira különböznek, mint bármelyikük az eukariótáktól.

A prokarióta 16S rRNS, valamint az eukarióta 18S rRNS oligonukleotid szekvenciáinak analízise alapján az élővilág három birodalomra osztható: Bacteria, Archaea és Eukarya. A Bacteria domén megfelel a valódi baktériumoknak, az Archaea domén az ősbaktériumokat tartalmazza, az Eukarya doménba az eukarióta szervezetek sorolhatók. Általánosságban elmondható, hogy az Archaea és az Eukarya domének az információátvitel és kifejeződés folyamata alapján rokoníthatók, az anyagcsere-folyamatokban az Archaea és a Bacteria hasonlósága fokozottabb (3.1. táblázat).

Napjainkban a több rendszertani módszer együttes alkalmazása, a polifázikus taxonómia a legmegfelelőbb a baktériumok rendszerezése és azonosítása során, valamint az új fajok leírása esetében. A polifázikus taxonómia magába foglalja a fenotípusos (morfológiai, anyagcsere- és élettani), a kemotaxonómiai (a sejtek kémiai összetételére vonatkozó), a genotípusos (a genom különböző jellemzői) és a filogenetikai eredményeket.

3.1. táblázat. *A valódi baktériumok, az ősbaktériumok és az eukarióták fő tulajdonságainak az összehasonlítása*

Tulajdonság	Bacteria	Archaea	Eukarya
Sejttípus	prokarióta	prokarióta	eukarióta
Sejtátmérő (átlag)	0,5-2,0 μm	0,5-2,0 μm	> 10 μm
Membránnal határolt, nukleoluszt tartalmazó sejtmag	-	-	+
Membránnal határolt sejtszervecskék	-	-	+
Sejtváz	-	-	+
Az örökítőanyag szerveződése	cirkuláris kromoszóma	cirkuláris kromoszóma	lineáris kromoszóma
A kromoszómák száma	1	1	>1
Meiózis, mitózis	-	-	+
Intronok a DNS-ben	nagyon ritka	-	+
Operonok	+	+	-
Plazmidok	+	+	ritkán
RNS-polimerázok	1	több	3
Iniciátor aminosav	formil-metionin	metionin	metionin
Murein típusú sejtfal	+	-	-
Pszeudomurein	-	+	-
Sejtmembrán lipidek kötéstípusa	észter	éter	észter
Szteránvázas vegyületek	ritkán	-	+
Hopanoidok	+	-	-
Gázvakuólumok	+	+	-
Riboszómák	70S	70S	80S
Endospóra	+	+	-
Szaporodás 80 °C felett	+	+	-
Biológiai nitrogénkötés	+	+	-
Nitrifikáció	+	+	-
Denitrifikáció	+	+	-
Metanogenezis	-	+	-
Klorofill alapú fotoszintézis	+	-	+

3.2. Ősbaktériumok – Archaeobacteria

Az **ősbaktériumok** döntő szerepet játszottak a földi élet fejlődésében, az eukarióta sejt kialakulásában. Mai képviselőik, amelyek többnyire különleges, szélsőséges viszonyok között élnek (nagy hőmérsékletű, erősen savas, nagy só-koncentrációjú vagy anaerob élőhelyeken) tanúsítják az élet lehetőségeinek határait, utalnak azokra a körülményekre, amelyek közt a földi élet kialakulhatott. Ökológiai szerepük ma is számottevő.

Az ősbaktériumoknak egyes képviselői előfordulnak mérsékelt körülmények között is, például édesvízben, óceánban, talajban. Parazita életmódot folytató ősbaktérium a *Nanoarchaeum equitans*, az egyik legkisebb genommal rendelkező mikroorganizmus.

Az ősbaktériumok sajátos jellemzője, hogy sejtmembránjukat éterkötéssel kapcsolódó lipidek alkotják, szemben a baktériumokra és az eukariótákra egyaránt jellemző észterkötésű lipidekkel. A sejtfalból hiányzik a murein.

Érdekes, hogy sok molekuláris jellegzetesség közös az ősbaktériumok és az eukarióták között. Ilyenek főként a genetikai információt átíró és átfordító rendszerekben találhatóak (pl. hisztonfehérjék, antibiotikum-érzékenység, RNS-polimeráz).

Alakjuk szerint lehetnek kokuszok, pálcák, fonalas vagy mikoplazmaszerű képletek. Festődésük szerint Gram-pozitív és Gram-negatív fajaik egyaránt vannak.

3.2.1. Metántermelő (metanogén) ősbaktériumok

Közös sajátosságuk, hogy a szén-dioxid (szén-monoxid vagy hangyasav) metánná történő redukálásával nyernek energiát, elektrondonorként hidrogént használva. A Föld légkörében előforduló metán 8-9%-át termelik.

Szerves anyagokban gazdag anaerob környezetben élnek (mocsarak, tavak üledéke, elárasztott talajok, kérődző állatok bendője). Szennyvíztisztító üzemekben energiaforrásként szolgáló metángáztermelésre használják őket, a szennyvíz-iszap rothasztása révén.

Gram-festés és morfológia alapján heterogén csoport. Vannak köztük kemo-litoautotrófok, de a legtöbb ősbaktérium kemoorganoheterotróf. Légzésük alapján obligált anaerob élőlények. Általában mezofilek, de vannak köztük termofil baktériumok is. Fejlődési optimumuk semleges pH-n van, néhány fajuk halofil.

A *Methanobacterium* nemzetségbe pálcikaalakú, endospórát nem képző, nem mozgékony, nagyrészt mezofil, anaerob fajok tartoznak. Sejtfaluk pszeudomurein, általában Gram-pozitív festődésűek. A kérődzők bendőflórájának fontos tagjai, pl. a *Methanobacterium ruminantium*, *Methanobrevibacterium ruminantium*.

A *Methanoccus*ok sós mocsarakban, tengeri környezetben élnek. Sejtfaluk fehérjékből épül fel, sejtjeik poláris flagellumokkal mozognak. Gram-negatív festődésűek.

A *Methanospirillum* fajoknak spirális vagy görbült pálca alakja van. Gram-negatív baktériumok. Főleg csatornaiszaphól izolálhatók.

A *Methanosarcina* gömb alakú sejtjei csomagokba rendeződnek. Szennyvíz-iszapban és a bendőben fordulnak elő. Gram-pozitív festődésű sejtjeik heteropoliszacharidból és fehérjékből álló sejtfallal rendelkeznek. Hidrogén és hangyasav mellett metanolt, metilamint és acetátot is hasznosítanak. A légköri oxigén megkötésére is képesek.

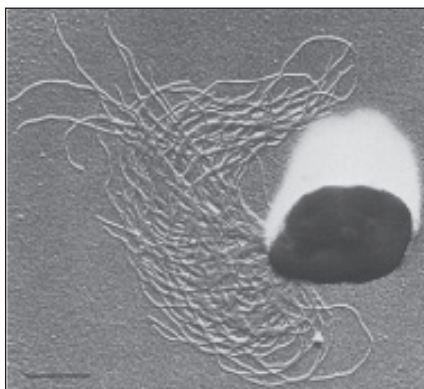
A *Methanotrix* és a *Methanobolus* fajok sejtjei hosszú láncokat alkotnak. Szénforrásként acetátot is hasznosítanak. Tartalék tápanyagként polifoszfátot és glikogént halmoznak fel.

3.2.2. Őskénbaktériumok

A *Sulfolobus* nemzetségbe tartozó fajok (például: *Sulfolobus acidocaldarius*) extrém termoacidofilek. Savas kéngőzös forrásokban élnek (70-80 °C). Nincsenek köztük kórokozó fajok. Gömb alakú baktériumok, a sejt felszín lebenyes. Fakultatív vagy obligát anaerobok. Litotróf körülmények között kén-hidrogént, ként, szulfidokat szulfáttá oxidálnak. Képes a Fe^{2+} -t Fe^{3+} -á oxidálni. Organotróf energianyerés során cukrokat, aminosavakat hasznosítanak.

A *Thermoproteus* nemzetség tagjai 90 °C-on élnek, pálcikaalakúak, nem képesek mozgásra. Kemolitotrófok, az elemi ként kén-hidrogénné redukálják.

A *Thermococcus* és *Pyrococcus* nemzetségbe tartozó fajok a tenger alatti kénkiválások környékén élnek, anaerob élőlények. A *Thermococcus* 88 °C-on, a *Pyrococcus* 100 °C-on fejlődik (3.1. ábra). Kén és hidrogén hasznosítására képes litotrófok, de szerves szubsztrátumok fogyasztására is képesek. Obligát anaerobok. Rendkívül hőellenálló proteázokat és amilázokat tartalmaznak.

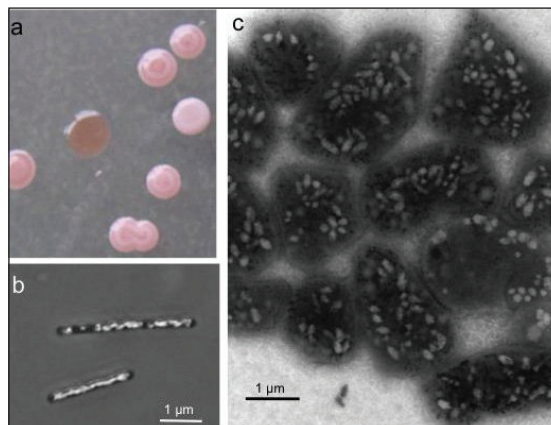


3.1. ábra. *Pyrococcus furiosus* termofil ősbaktérium
(Fiala–Stetter 2004)

A *Desulfurococcus* és *Staphylothermus* fajok rugalmas sejtfallal rendelkező coccusok, egyesek ostorral mozognak. Anaerobok. Szénforrásként fehérjéket és peptideket, energianyerésük során pedig hidrogént és elemi ként használnak.

3.2.3. Halofil ősbaktériumok

Nagy sókoncentrációjú tavakban, holt tengerekben fordulnak elő. Optimális sókoncentráció: 20-30%. Jellegzetes tulajdonságuk a vörös színük, melyet a membránjukban lévő karotinoidoknak köszönhetnek. Ezek a pigmentek védik a sejteket természetes élőhelyükön a nagy intenzitású fénytől. Membránjukban bakteriorodopszint tartalmaznak. Aerobok vagy fakultatív anaerobok. Kemoorganotrófok. Jellegzetes képviselőik: a *Halococcus*, a *Halobacterium* (3.2. ábra), a *Haloarcula* nemzetség képviselői (sós vizekben, például a Holt-tengerben, vagy besózott halakon, sókristályokon fordulnak elő). A *Natronobacterium* és a *Natronococcus* nemzetségekbe tartozó fajok az afrikai Natron-tó vizében, alkalikus közegben (pH=9,5) szaporodnak, a *Quadra* a Sínai-félsziget tavában él.



3.2. ábra. *Halobacterium*-telepek (a) és sejtek gázvakuólumokkal (b, c) (Pfeifer 2015)

3.2.4. Sejtfal nélküli ősbaktériumok

Sejtfal nélküli, fakultatív aerob, obligált termoacidofil élőlények. A sejtjeiket határoló sejtmembrán 510 nm vastagságú, mannózban gazdag glikoproteint és lipopoliszacharidot tartalmaz. Ez a két vegyület együtt valószínűleg egy poliszacharid-réteget hoz létre a sejtek felszínén, és ez rigiditást kölcsönöz nekik. Optimális

növekedési feltételeik: pH=1-2, 55°C. Semleges pH-n sejtjeik feloldódnak. Növekedésükhöz speciális növekedési faktort, egy, az élesztőkivonatban megtalálható oligopeptidet igényelnek. Jellemző képviselőjük a heterotróf *Thermoplasma acidophilum*, ostorral mozog. Szénbányák meddőhányóiból izolálták, természetes élőhelyük feltehetőleg a felszínhez közeli, átlevéggel szénréteg.

3.3. Valódi baktériumok – Bacteria

3.3.1. Gram-negatív baktériumok

Változatos morfológia, anyagcsere és környezeti igény jellemző a csoportra. Komplex Gram-negatív sejtfallal rendelkező baktériumok. Kemo- és fotoautotróf, kemoorganotróf és obligát sejtparaziták tartoznak ide.

3.3.1.1. Gram-negatív, nem fotoszintetizáló baktériumok

Spirális Gram-negatív baktériumok

Sejtjeik hosszúak (2-250 μm), dugóhúzó szerűek. A periplazmatikus térben elhelyezkedő endoflagellumaikkal mozognak. Kemoorganotrófok. Aerob, fakultatív anaerob és anaerob életmódot folytatók egyaránt vannak közöttük. Szabadon élő fajok és patogén fajok tartoznak a csoporthoz.

A *Spirochaeta* nemzetségbe tartozó fajok szabadon élők, gyakoriak a kén-hidrogén-tartalmú vizekben. Anaerob vagy fakultatív anaerob fajok. Növekedésükhöz komplex táptalajt igényelnek.

A *Treponema* nemzetségbe tartozó fajok az ember és az állatok szájüregében, emésztőrendszerében és a genitális traktusokban élnek. Számos faj patogén. Anaerobok vagy fakultatív anaerobok.

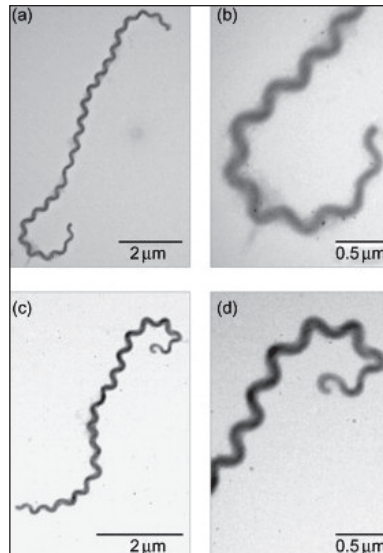
A *Treponema pallidum* a vérbaj (szifilisz) kórokozója. Szexuális úton terjed. A legérzékenyebb mikrobák közé tartozik, szerkezeten kívül gyorsan elpusztul. A mikroba behatolási helyén elsődleges fekély keletkezik, mely spontán gyógyul. 2-12 hét múlva jelennek meg a bőr- és nyálkahártya-kiütések testszerte, ilyenkor a mikrobák az egész szervezetet elárasztják (másodlagos stádium). A betegség súlyosabb, harmadik stádiuma súlyos idegrendszeri és szívkoszorúér-érelváltozással jár. A kemoterápia első sikeres eredményei a *Treponema pallidum*-mal kapcsolatosak (Paul Ehrlich, salvarsan). A betegség korai stádiumában ma már penicillinnel jól gyógyítható.

A *Treponema vincentii* az emberi nyálkahártyákon (főleg szájüregben) fordul elő, és a *Fusobacterium*okkal társulva helyi fertőzéseket okoz. Hajlamosító tényezők az elhanyagolt szájápolás, a különböző táplálkozási hiánybetegségek, valamint idült betegségek, amelyek gyengítik a szervezet védelmét.

A *Borrelia* nemzetség tagjai anaerobok vagy mikroaerofilek. 8-30 μm hosszú, szabálytalan csavarulatokkal rendelkező baktériumok. Általában vérparaziták, a fertőzést a legtöbb fajnál ízeltlábúak, tetvek vagy kullancsok viszik át.

A *Borrelia recurrentis* a visszatérő láz kórokozója. Európában és Kelet-Afrikában fordul elő, a ruhatetű terjeszti. A visszatérő láz a fertőzés után 3-10 nap múlva magas lázzal kezdődik. Ilyenkor a vér nagyszámú kórokozót tartalmaz. Néhány nap múlva a láz megszűnik, és a kórokozók eltűnnek a vérből. A láztalanságot 5-10 nap múlva újabb lázroham, majd láztalan szakasz követi. Ez a folyamat többször ismétlődik. A kórokozó a lázas szakaszban Giemsa-festéssel a vérből kimutatható. A tetű által terjesztett járványok megfelelő higiénés viszonyok mellett nem fordulnak elő.

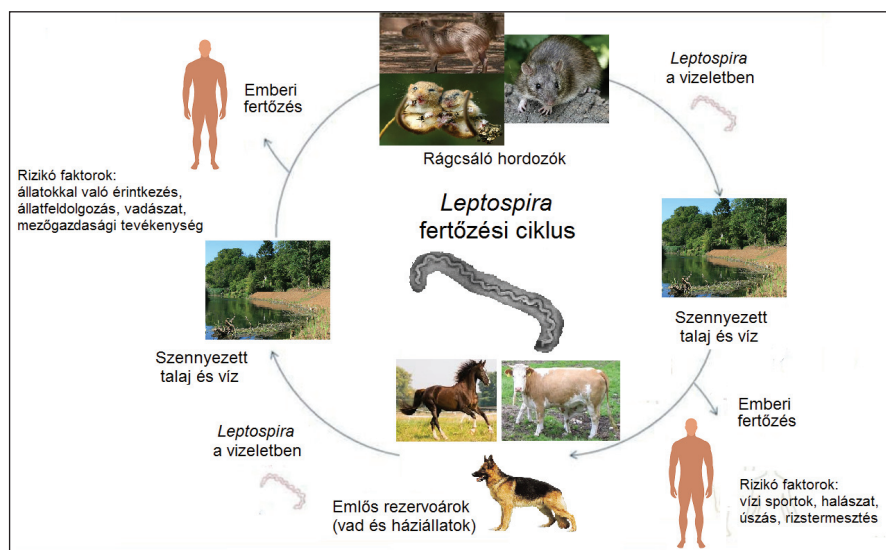
A *Borrelia burgdorferi* a Lyme-betegség kórokozója. A betegséget kullancs terjeszti. A kullancscsípés helyén 1-3 héten belül koncentrikusan terjedő vörös elváltozás figyelhető meg. A későbbi szakaszban ízületi elváltozások, szív- és idegrendszeri bántalmak jelentkeznek. A penicillin és a tetraciklinek hatásos gyógyszerek.



3.3. ábra. A *Leptospira* baktérium mikroszkópi képe
(Fraga et al. 2015)

A *Leptospira* 5-15 μm hosszú, 0,1-0,2 μm átmérőjű, igen vékony baktérium, sok finom hullámú csavarulattal (3.3. ábra). Mozgása élénk, testének két vége kampó- vagy horogszerűen visszagörcbült. A gazdaállatokban tünetmentes hordozás és betegség is előfordul. Az állatok a kórokozót vizeletükkel ürítik (3.4. ábra). A fertőzés legfontosabb terjesztői a kisemlősök, elsősorban a rágcsálók, amelyek

kapcsolatban vannak mezőgazdasági és állattenyésztési tevékenységekkel. Közvetett módon terjedhetnek fertőzött víz vagy talaj által is, például tavak, folyók, szennyvizek forrásai lehetnek a *Leptospira* baktériumoknak, melyek hetekig képesek túlélni a környezetben semleges vagy enyhén lúgos pH-értékek mellett. A kórokozók a bőr- vagy nyálkahártya-sérüléseken juthatnak be, de gyakori a leptospirákat tartalmazó étel vagy víz útján történő enterális fertőzés is. Valamennyi *Leptospira*-fertőzésre jellemző, hogy a kórokozó elsősorban a májban, a vesében és a központi idegrendszerben telepszik meg. Általában magas láz, fejfájás és izomfájdalmak a tünetei. Letális esetek is előfordulnak.



3.4. ábra. A *Leptospira* baktériummal való fertőződés lehetőségei (Fraga et al., 2015 alapján)

Aerob vagy mikroaerofil, mozgékony, helikális vagy vibroid Gram-negatív baktériumok

Többségük kemoorganotróf, de kemolitotróf fajok is vannak. Poláris csillókkal mozognak. A *Spirillum*, *Aquaspirillum*, *Oceanospirillum* és *Azospirillum* nemzetségek fajai különböző természetes élőhelyeken élnek (édesvizekben, tengerekben, talajban).

Az *Azospirillum* nemzetséghez tartozó fajok pázsitfűfélék, gumós növények gyökerein társulva gyakoriak. A sejtek enyhén görbültek, és egyetlen poláris flagellumuk van. Alacsony oxigéntenzió mellett nitrogént fixálnak.

A *Campylobacter* nemzetségbe tartozó baktériumok túlnyomó része állatpatogén és a természetben igen elterjedt. Rövid, poláris csillóval rendelkező, hajlott palca alakú baktériumok. Mikroaerofilek. Képesek 42 °C-on is szaporodni.

A *Campylobacter jejuni* az enteritis kórokozója. A baktérium az ürülékkel kerül a környezetbe. Az állatról emberre való átvitelben legnagyobb szerepe az állatgondozóknak vagy az állati eredetű termékekkel foglalkozó dolgozóknak van. Terjesztheti a nyers tej, a grillcsirke fogyasztása, terjedhet kutyával történő kontaktus révén. Az enterálisan bejutó kórokozók a vékonybélben elszaporodnak, és a hámot károsítva gyulladást okoznak. Jellemző tünet a görcsös hasi fájdalom, hasmenés, hányás, láz, fejfájás, esetenként húgyúti fertőzések. A baktérium infekciós dózisa kicsi, már 10-100 sejt megbetegedést okozhat.

A *Campylobacter fetus* a szarvasmarha és a juh vetélését okozza.

A *Helicobacter pylori* baktérium csillós és ureázt termel. Mindkét tényező szerepet játszik a patogenitásban. A gyomornyálkahártya felszínén, mélyen a mucusréteg alatt szaporodik, ahol a savassági viszonyok ezt lehetővé teszik, ugyanis a baktérium pH-optimuma 6-7 között van. A baktérium ammóniatermelése (ureázaktivitás) szintén elősegíti a gyomorsav semlegesítését. Elszaporodásának helyén a pylorusban (gyomorszáj) gastritist (gyomorhurut) okoz. Ha a gyulladás krónikussá válik, hozzájárul a gyomorfekély kialakulásához. A nyálkahártya-károsodásban szerepe van a baktérium által termelt citotoxinnak. Emberről emberre terjednek. A *Helicobacter pylori* kimutatása a gyomornyálkahártyában, valamint jelentőségének felismerése 1983-ban elősegítette a gyomorbetegségek megítélését és kezelését. A világon mindenütt előfordul.

A *Bdellovibrio* fajok más baktériumokon, ragadozó módjára élnek. Monotrich poláris flagellummal rendelkeznek. A megtámadott baktérium sejtfalát intenzív rotációs mozgásával, litikus enzimek kibocsátása közben mintegy átfúrja. A periplazmatikus térben növekszik, a lizáló gazdasejtéből kiszabaduló anyagok közvetlen felhasználásával, miközben flagellumát elveszíti. Nagyon gyorsan hosszú filamentté nő, mely osztódással kis flagellált utódokat hoz létre, melyek kiszabadulnak. Életciklusuk hasonlít a bakteriofágok életciklusára. Bakteriális tenyésztésben a fágokhoz hasonlóan plakkokat hoznak létre.

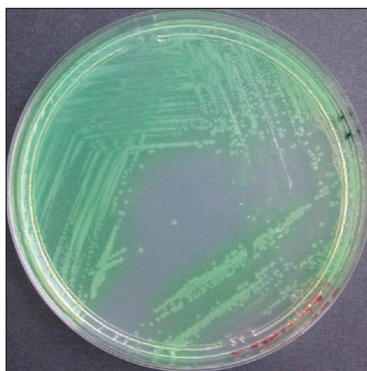
Aerob Gram-negatív pálcák és coccusok

Növény-, állat- és humánpatogén fajok egyaránt tartoznak ehhez a csoporthoz. Egyesek nitrogénmegkötésre képesek.

A *Pseudomonas* nemzetségbe poláris csillókkal mozgó, egyenes vagy enyhén görbült pálcika alakú baktériumok tartoznak. Aerobok, oxidáz és kataláz pozitívak. Többségük kemoorganotróf, egyes fajaik fakultatív kemolitotrófok, hidrogént vagy szén-monoxidot használva energiaforrásként. Fajban gazdag csoport, bizonyos jellegzetességek alapján, például poli-hidroxi-vajsav-termelés, fluoreszkáló pigmenttermelés, patogenitás, glükózhasznosítás stb., további alcsoportokat lehet elkülöníteni. Számos fajuk sokféle szerves anyag lebontására képes, jelentős szerepük van a mineralizációban. Tenyésztés tekintetében igénytelenek, igen elterjedtek a természetben. Patogén fajok is léteznek.

A *Pseudomonas aeruginosa* állat- és humánpatogén, a sebek gennyesedését, húgyúti fertőzéseket okoz. Természetes vizekben, szennyvízben gyakran megtalálható, de közvetlen környezetünkben is. 1,5-3 μm hosszú, egy poláris csillóval rendelkezik. Pigmenteket termel: a kék színű piocianint és a sárga fluoreszcint. A két vízdékony pigment keveredése következtében telepei és a táptalaj is zöld színű lesz (3.5. ábra). A *P. aeruginosa* feltűnően rezisztens egyes fertőtlenítőszerrel és antibiotikumokkal szemben, a kórházi fertőzések gyakori okozója. A multirezisztens *P. aeruginosa* törzsek a közelmúltban komoly közegészségügyi gondot jelentenek. Mint opportunista kórokozó súlyos kórképet okozhat immunhiányos egyéneknél, a genetikai betegségben szenvedő betegek tüdejében cisztás fibrózist okoz.

A *Pseudomonas syringae*, *P. phaseolicola*, *P. tabaci* és a *P. solanacearum* jelentős növényi kórokozók.



3.5. ábra. *Pseudomonas aeruginosa*-telepek Cetrimid agar szelektív táptalajon (Ismael–Kshash 2014)

A *Pseudomonas fluorescens* és a *P. putida* a természetben elterjedt fajok. Humán jelentőségüket az adja, hogy jól szaporodnak hűtőszekrények hőmérsékletén, és így élelmiszerek romlását okozhatják. A *P. fluorescens* képes korlátozni a talajlakó növényi kórokozó mikrobákat.

A *Xanthomonas* nemzetséghez tartozó fajok poláris csillóval mozgó, élénk-sárga telepet képző, tojásdad pálcák. Szaprofita baktériumok, számos növényi kórokozó is ismert közülük. Sejtfalukon kívül vastag, xantánból álló tokot képeznek. A xantán ipari termeltetésére is használják.

Az *Azotobacter* és az *Azomonas* nemzetség tagjai szabad nitrogénkötők. Jelentős szerepük van a talaj felső rétegének nitrogénellátásában. Az *Azotobacter* nemzetség tagjai a talajokban szabadon élő, szaprofita, obligált aerob nitrogénkötők legfontosabb képviselői. Minden földrajzi övezetben és minden talajtípusból kimutathatók. Legfontosabb fajok az *Azotobacter chroococcum*. Kolóniáik a talajokban nyálkás burokba (tokba) ágyazva fordulnak elő, mely a sejteknek védelmet

jelent. Tápanyaghiány és kiszáradás esetén cisztát képeznek, mely kedvező feltételek között újra kicsírázik. A ciszta ellenálló, részleges nyugvó állapotot biztosít.

Jelentős nitrogénkötő baktériumok a *Rhizobium* nemzetség fajai. Pillangós virágú növények gyökérszövetén behatolva, a gyökereken gümőt hoznak létre, és ebben elszaporodva, bakteroid formát felvéve végzik a nitrogén megkötését (3.6. ábra). Szabadon nem, csak szimbiózisban képesek nitrogénfixálásra. A gümő kialakulásáért bakteriális gének által indukált növényi gének felelősek.

A *Rhizobium* nemzetség legfontosabb faja, a *Rhizobium leguminosarum*. 2-6 peritrich csillóval mozognak, pleomorfozók, nem spórák. Szénhidrát-tartalmú tápközegeken poliszacharid nyálkát választanak ki. Kemoorganotróf. Hőmérséklet-optimuma 25-30 °C, pH-toleranciája: 5-8,5 között van. A borsó (*Pisum*), a büköny (*Vicia*) és a lencse (*Lens*) gyökerein gümőképződést vált ki, ahol bakteroidjai gyakran szabálytalanok: x-, y-, csillag stb. alakúak. Intracelluláris szimbionta, a gümőkben nitrogént fixál, amit nagyrészt a gazdanövény hasznosít.



3.6. ábra. Pillangós virágú növény gyökerén megfigyelhető gümők

A *Bradyrhizobium japonicum* szójával társult nitrogénkötő.

Az *Agrobacterium* nemzetség fajai számos növényt képesek megtámadni, és tumoros elváltozásokat váltanak ki. A tumorképződésért a baktérium Ti nevű plazmidján kódolt gének felelősek. Pálca alakú baktériumok, kemoorganotrófok. Ismert képviselő az *Agrobacterium tumefaciens*. Gyakran alkalmazzák a transzgénikus növények előállításánál, genetikai transzformáció révén különféle géneket (pl. a β -glukuronidáz szintéziséért felelős gén) juttatva a növényekbe. A baktérium természetes antagonistája az agrocin nevű bakteriocint termelő *A. radiobacter*.

A *Methylococcus* nemzetség tagjai szén- és energiaforrásként metánt vagy metanolt hasznosítanak. A metánt metanollá, majd formaldehiddé alakítják.

Az *Acetobacter* nemzetség képviselői pálcika- vagy tojásdad alakúak. Az etanolt ecetsavvá, az ecetsavat és a tejsavat pedig szén-dioxiddá és vízzé alakítják. Egyes fajukat ecetsavgyártásban napjainkban is használják. Jellemzőségük, hogy a tokanyaguk cellulóz, ami a prokariótáknál ritkán fordul elő.

A *Gluconobacter* nemzetség képviselője a *G. oxydans*, az ecetsavgyártásban használják.

A *Legionella* nemzetség legismertebb képviselője a *Legionella pneumoniae*, mely baktérium a vizek és a talaj természetes biotájának a tagja. Aerob, poláris csillókkal mozgó baktérium. Tenyésztése nehézségekbe ütközött, mert növekedéséhez vasat, ciszteint és egyéb aminosavakat igényel. Az általuk okozott ún. légiós betegségben főleg 50 év feletti, immunhiányos vagy legyengült szervezetű egyének betegednek meg. Terjedni emberről emberre nem képes. Valószínűleg csak a kórokozó belégzésével terjed. Tüdőgyulladást okoz.

A *Neisseria* nemzetségbe veszélyes humánpatogén törzsek tartoznak. Kisméretű coccusok, melyek gyakran kettesével rendeződnek. Obligált aerobok, oxidáz- és kataláz-pozitívak. A *Neisseria gonorrhoeae* a gonorrhea (kankó) kórokozója. Nemi úton terjed. Anyáról átterjed a magzatra is, ami a csecsemők megvakulásához vezethet. A *Neisseria meningitidis* gerinc- és agyvelőgyulladást okoz. Az orr és garatüregi nyálkahártyán keresztül kerül a szervezetbe.

A *Moraxella* fajok aerobok, sejtjeik kisméretű coccusok. Az emberi bióta tagjai, elsősorban a hártás felületek gyulladását okozzák.

A *Beijerinckia* nemzetség képviselői légköri nitrogénkötők, tokpoliszaharidként alginátot termelnek.

A *Thermus* nemzetségbe termofil bacilusok tartoznak. Élőhelyeik különböző hőforrások. A *Thermus aquaticus*ból izolálták az első hőstabil DNS-polimerázt, a Taq-polimerázt.

A *Flavobacterium* nemzetség elnevezése a sárga pigmenttermelésükkel kapcsolatos, jellegzetes sárgás, olykor élénk narancssárga színű telepeket képeznek. Leginkább a fülvialadékból ismertek. Rossz higiénés körülmények között fertőzhet is. A környezetben, talajban, édes- és tengervízben, növényeken elterjedt szaprobionták, élelmiszereken, feldolgozó vonalakon is előfordulhatnak.

Gazdasági és egészségügyi szempontból jelentős nemzetség a *Brucella*. Coccus, coccobacilus vagy pálcika alakúak. Elsősorban állatpatogének, és vetélést okoznak a gazdaállatban. Vetelés alkalmával nagy tömegű *Brucella* kerül a környezetbe, de az állat tejével is évekig ürülhet. A *Brucella melitensis* gazdaállata a kecske és a juh, a *B. abortus* esetében a szarvasmarha, míg a *B. suis* a sertés. Az ember brucellózist foglalkozási betegségként vagy a nyers tej fogyasztása révén kaphat. Fő tünete a lázas megbetegedés. Tenyésztés tekintetében igényesek, szükséges, hogy a táptalaj vért és szérumot tartalmazzon.

A *Bordetella* nemzetség képviselőinek sejtjei kisméretű kokkobacilusok. Növekedésükhöz nikotinsavat és szerves kén- és nitrogénforrást igényelnek. A *Bordetella pertussis* a számarköhögés kórokozója. Cseppfertőzéssel terjed. A tünetekért a pertussis toxin felelős, ami a légutak hámsajtjeinek fokozott hisztamin- és szerotonin-érzékenységet váltja ki.

A *Francisella* nemzetségbe tartozó *F. tularensis* a tularémia kórokozója. Bőrön kiütéseket, nyirokcsomó-gyulladást, tüdőgyulladást okozhat.

Fakultatív anaerob Gram-negatív, pálca alakú baktériumok

Heterogén csoport. Az *Enterobacteriaceae*, a *Vibrionaceae* és a *Pasteurellaceae* családok tartoznak ide.

Az *Enterobacteriaceae* család számos nemzetséget magába foglaló fontos baktériumcsalád. Általános jellemzői: Gram-negatív peritrich csillós vagy csillótlan pálca alakú baktériumok, csillót nem képeznek, glükózt fermentálnak, és a nitrátokat nitritekké redukálják. A bélmikrobiota tagjai, jelentős B- és K-vitamin-termelők. Az enterobaktériumok az emberi és állati bélcsatornán kívül talajokban, vizekben, levelek felszínén is előfordulnak. Ürülékekkel, fertőzött élelmiszerekkel, fertőzött vízzel terjedhetnek.

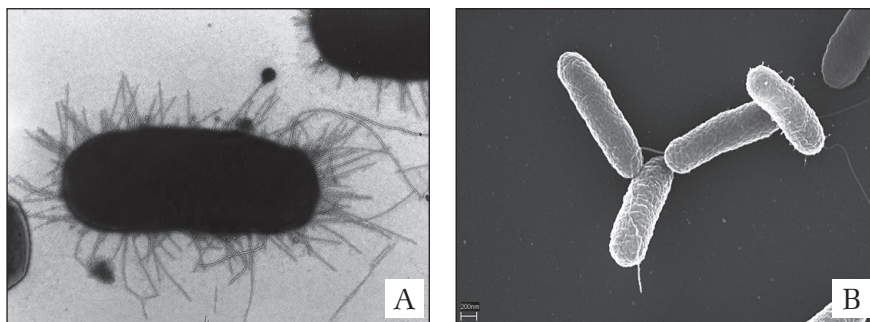
Az *Escherichia coli* a legjobban tanulmányozott mikroorganizmus. Az *E. coli* K12 törzs biokémiai, genetikai, géntechnológiai kísérletek alanya, vele kapcsolatosak az első géntechnológiai eredmények (plazmidizolálás és transzformáció). Számos biotechnológiai eljárás során használják különböző termékek, például inzulin, szomatotropin, interferon előállítására.

Az *E. coli* csillós, Gram-negatív, rövid pálca. Tápanyagok tekintetében igénytelen, de diagnosztikai célra, vizsgálati anyagból való kitenyésztésre laktózt és indikátort tartalmazó differenciáló táptalajon tenyésztjük. Jellegzetes nemzetséget meghatározó tulajdonságai: számos szénhidrát fermentálása sav- és gázképzéssel (fontos a laktóz és a szorbóz bontása), indolt termel, kén-hidrogént és ureázt nem termel, a Voges–Proskauer-reakció negatív, a metil-vörös próba rendszerint negatív.

Az *E. coli* a kétéltűektől kezdődően az emberig a normál bélbióta tagja (3.7. A. ábra). Az emberi ürülékben átlagosan 10^9 sejt/g található. Hasznosak, mivel védelmet nyújtanak különböző enterális patogén baktériumokkal szemben, és vitamínokat szintetizálnak.

Közegészségügyi szempontból a fekális szennyeződés indikátorai ivóvízben és különféle élelmiszerekben. Az *E. coli*nak patogén csoportjai is vannak. Az eredetileg apatogén *E. coli* egyes csoportjai plazmidok és fágok közvetítésével virulenciafaktort kódoló génekhez jutottak az evolúció során. Kromoszomális mutációra rendkívül hajlamos. Mutációval olyan tulajdonságot nyerhet, ami patogénné teheti. Az *E. coli* patogenitás egyik fontos területe a bélfertőzéseké, de vannak extraintesztinális, pl. húgyúti fertőzések is. Humánpatogén törzseik különböző, hasmenéssel járó tüneteket okoznak. A kórfolyamat kiváltásáért hólabilis exotoxinja felelős.

A *Shigella* nemzetségbe egyenes, csilló nélküli, pálca alakú baktériumok tartoznak, melyek ismert képviselője a *Shigella dysenteriae*. Vérhast okoznak. Jó körülmények között, felnőttek esetében a klinikai tünetek 3-5 nap múlva eltűnnek, spontán gyógyulás következik be. Csecsemők, kisgyermekesek esetében a kórkép sokkal súlyosabb, akár halálos kimenetelű is lehet. A shigellák emberre adaptálódott patogének. A fertőzés forrása mindig a beteg vagy ürítő ember. A *Shigella dysenteriae*-nél mutatták ki először az antibiotikum-rezisztencia terjedéséért felelős önálló genetikai elemet, az ún. R-faktort.



3. 7. ábra. Az *Escherichia coli* (A) és a *Salmonella typhimurium* (B) mikroszkópi képe

(<https://newsroom.uw.edu/news/e-coli-superbug-strains-can-persist-healthy-women%E2%80%99s-guts>, <http://media-2.web.britannica.com/eb-media/24/123224-004-C1A4B848.jpg>)

A *Salmonella* nemzetség tagjai csillós, pálca alakú baktériumok. Az emberi és állati bélcsatorna lakói. Ürülékkel kerülnek a környezetbe (vízbe, talajba, növényekre), ahol hosszú ideig túlélhetnek, bár nem szaporodnak. Leggyakrabban a fekális szennyeződés révén, a szennyvízkezelés és a higiénia hiányosságai miatt kerülnek a vízbe és az élelmiszerekbe. Darált húspan, tojásos, majonézes termékekben, ha a hőmérséklet 4 °C-nál nagyobb, akkor a szalmonellák képesek elszaporodni. Emberben a *Salmonella typhi* hastífuszt (enterális lázt), a *S. paratyphi*, *S. typhimurium* (3.7. B. ábra) és a *S. enteritidis* pedig szalmonellózist (gastroenteritist) okoznak. A betegségek súlyossága változó, a hastífusz kimenetele 10%-os halálozással, a szalmonellózisé csak kevesebb mint 1%-kal jár, főleg csak legyengült szervezetek esetén. A betegség általában 1 hét alatt gyógyul, de a tünetmentes ember vagy állat még hetekig ürít szalmonella baktériumokat.

A *Klebsiella* nemzetség tagjaira jellemző a tok, hiányzik a csilló. A telepek rendszerint nagyok, erősen domborúak és nyákosak. Fontos képviselőjük a *Klebsiella pneumoniae*. Talajban, vízben, az emberi emésztőrendszerben fordul elő. A patogén változatok tüdőgyulladást, fülgyulladást, hólyaghurutot okoznak.

Az *Enterobacter* nemzetség tagjai a vízben, a talajban és az emberi emésztőtraktusban egyaránt előfordulnak. Egyes fajok anaerob körülmények között nitrogént képesek fixálni. Jelentős patogén fajok nem tartoznak a csoporthoz.

Az *Erwinia* nemzetség tagjai szaprofiták és növénypatogének. Egyenes pálcák, peritrich elrendezésű csillókkal. Képviselőjük az *E. amylovora*, az *E. carotovora* (a burgonya kórokozója), az *E. chrysanthemi* és az *E. stewarti* (a kukorica kórokozója).

A *Serratia* nemzetség tagjai csillós, pálca alakú baktériumok. Tenyésztésük során 48 óra múlva jelentkezik a telepek piros pigmentációja. A képződő élénkörös pigment, a prodigiosin, a fertőzött mintának „véres” külsőt kölcsönöz. A *Serratia marcescens* krónikus felső légúti, húgyúti fertőzéseket okoz.

A *Proteus* nemzetséghez tartozó csillós baktériumok igen elterjedtek a természetben. Szaprofita talajlakók, de az emberi bélbiótában is előfordulnak. Erőteljes proteolitikus aktivitásuk miatt rothasztó baktériumoknak tekintik őket. Gyakran előfordulnak az állati és az emberi ürülékben. A *Proteus vulgaris* a kiválasztórendszer súlyos fertőzését okozhatja.

A *Yersinia* nemzetséghez tartozó *Yersinia pestis* (*Pasteurella pestis*) a pestis kórokozója. Ovoid pálca alakú baktérium, aerob, optimális hőmérséklete 28 °C. A kórokozó gazdaszervezetei a rágcsálók. Az ókorban és középkorban hatalmas járványok pusztítottak Európában. Az egyes járványok során, sűrűn lakott területeken a pestisnek a lakosság 25-50%-a is áldozatul esett. E járványokat a patkányok elhullása előzte meg, és az emberek a patkánybolha csípésével fertőződtek. A véráramba kerülve a kórokozó eljut a nyirokcsomókba, melyek erőteljesen megduzzadnak és elgennyesednek (bubópestis). Ezt követi általában a tüdő gennyes gyuladása (tüdőpestis) és más szövetelhalásos folyamat. A bőr észlelhető sötétedése miatt fekete halál néven is ismert. Mivel a köpettel nagy mennyiségű kórokozó ürül, a tüdőpestis rendkívül ragályos, a halálozás a bubópestis 50-60%-os letalitásával szemben kezeletlen esetekben megközelíti a 100%-ot. Formalinnal előlt kórokozóval aktív immunizálás lehetséges. Különbőféle antibiotikumokkal (tetraciklin, sztreptomycin), a bacillusgázzal irtásával, szigorú karanténnal védekeznek ellene.

A *Yersinia pestis* kivételével a *Yersinia* nemzetséghez tartozó más fajok (*Yersinia enterocolitica*, *Yersinia pseudotuberculosis*) alacsonyabb hőmérsékleten (22-25 °C) peritrich csillóval mozognak, és enterális kórképet mutatnak. A *Y. enterocolitica* az enterobaktériumok között szokatlan módon pszichotróf, szaporodik még 4 °C-on és túléli a fagyasztást. Számos vad- és háziállatban tünetmentesen él, vagy bennük gastroenteritist okoz. Ezek közvetítik az emberi megbetegedést. Hasmenéses fertőzést leginkább gyermekeknél okoz, idősebbekben gyakran vakbélgyulladás-szerű tünetekkel. Gyakori tejtermékekben, fagylaltokban, közvetítői a húsok és hústermékek is.

A *Vibrionaceae* családba tartozó fajok természetes élőhelye a víz és a vízi állatok. Sok fajuk humán és állatpatogén. Egyenes vagy hajlott (vibroid), poláris csillóval mozgó sejtek. A *Vibrio* nemzetség legfontosabb tagja a *Vibrio cholerae*, erősen hajlott („comma bacillus”), monotrich csillós, gyorsan mozgó baktérium, a kolera kórokozója. Exotoxinjával mérgez, amely károsítja az iontranszportot a bélhámsejtekben. A betegség hirtelen, heves hányással, bőséges, vizes székletürítéssel kezdődik. A víz- és sóvesztés rövid idő alatt igen nagyfokú lehet, és a következőben kialakuló keringési zavar miatt a halál gyorsan beállhat. A fertőző forrás elsősorban a fekáliával szennyezett kéz, ivóvíz és élelmiszer, valamint a nyersen fogyasztott alacsonyabb rendű víziállatok. A molekuláris biológiai módszerek eredményei alátámasztják, hogy ez a baktérium kimutatható olyan területeken is, ahol korábban nem volt izolálva, ami e baktérium globális elterjedését jelzi az endémiás régiókon kívül. A baktérium túlélése a vízi környezetben különféle intra- és interspecifikus stratégiáknak tulajdonítható, például gęnszabályozás,

biofilmképződés biotikus és abiotikus felületeken, kölcsönhatások más szervezetekkel. A *V. parahaemolyticus* gasztroenteritist, a *V. vulnificus* sebfertőzést, vérmérgezést okoz.

A *Photobacterium* fajok tengeri állatokkal élnek szimbiózisban. Jellemző a biolumineszcenciájuk és a poli-hidroxi-vajsav akkumulálása a sejtekben.

A *Pasteurellaceae* családba kisméretű, pleiomorf, nem mozgó kokkobacillusok tartoznak.

A *Pasteurella* nemzetség fajai elsősorban háziállatok emésztőrendszeri és légúti megbetegedéseit okozzák. Az emberi mikrobióta tagjai, ritkán megbetegedést is okoznak. A *Pasteurella multocida* esetében az emberi fertőzések elsősorban kutya- és macskaharapást, karmolást követő bőrfertőzések. A *P. pneumotropica* gyakori laboratóriumi egerekben. A ritka emberi esetek bőrfertőzések. A *P. urea* néha emberi légúti váladékból tenyészthető. Krónikus légúti fertőzéseknel előfordulhat társfertőzőként.

A legtöbb humán patogenitással rendelkező *Haemophilus* nemzetséghez tartozó faj, a *Haemophilus ducreyi* kivételével, ha kis számban is, de megtalálható egészséges emberek orr- és szájüregében. Többnyire kisméretű kokkobacillusok. A külvilágban általában hamar elpusztulnak. A *Haemophilus influenzae* elsősorban gyermekekben agyhártyagyulladás okoz.

Anaerob Gram-negatív pálcák

A különböző alakú, mozgó vagy nem mozgó, obligált anaerob, spórákat nem képző mikroorganizmusok tartoznak ide. Ember és állatok szájüregében, bélrendszerében és a bendőben élnek. A gazdaszervezet számára sokszor hasznosak.

A *Bacteroides* nemzetséghez tartozó *Bacteroides succinogenes* és a *B. rumicola* kérődzők bendőjében élnek. A *B. succinogenes* a cellulózlebontást, a *B. rumicola* pedig a keményítő- és pektinlebontást végzi.

Az emberi székletből izolált baktériumok mintegy 30%-a a *Bacteroides* nemzetségbe tartozik. Egyes fajaik humán kórokozók. A *Bacteroides fragilis* különböző gyulladásos megbetegedéseket (tüdő, mellhártya, agyvelő, vakbél) okoz. A *B. melaninogenicus* fogászati problémákat okoz.

A disszimilációs szulfát- és kénredukáló baktériumok morfológiai szempontból változatosak, fiziológiailag azonban homogén csoportot alkotnak. Anaerob baktériumok. Elektronakceptorként szulfátot vagy elemi ként hasznosítanak, melyet kén-hidrogénné redukálnak. Egyes fajaik kemoorganotróf fermentatív úton is képesek energianyerésre. A természetben a kén körforgásában játszanak fontos szerepet. Szennyvizekben, iszapban, szennyezett tavakban, tengerparti üledékekben gyakoriak. Legismertebb nemzetségeik a *Desulfovibrio*, a *Desulfomonas*, a *Desulfococcus*, a *Desulfobacter* és a *Desulfosarcina*.

Anaerob Gram-negatív coccusok

Kisméretű sejtjeik egyedül, párban vagy láncot alkotva fordulnak elő. Mozgásra nem képes kemoorganotróf fermentálók. Melegvérű állatok parazitái.

A *Veillonella* fajok a normál szájbíóta tagjai. A szájüregben elszaporodó veillonellák endotoxinja károsítja a szöveteket.

Sejtélősködő Gram-negatív baktériumok

Ide a *Rickettsiales* és *Chlamydiales* rendekbe obligált intracelluláris sejtparaziták tartoznak. Mesterséges táptalajon általában nem, csak szövetkultúrában tenyészthetők. A sejtek igen kisméretűek.

A *Rickettsia* fajok emlőssejtek mellett gyakran élnek ízeltlábúakban (tetvek, bolhák, kullancsok), melyek egyben a vektoraik is. Plazmamembránjuk permeábilis, és a gazdasejt metabolitjait, koenzimjeit, valamint egy antiport transzportban ATP-jét közvetlenül felveszik és hasznosítják. A rend neve Howard Taylor Ricketts (1871–1910) amerikai patológus iránti tiszteletből adódik, mivel a rickettsiákkal való foglalkozás közben halálos kimenetelű fertőzést kapott. A rickettsiák okozta betegségek nagyszámú csökkenéséhez a tetraciklinek és a chloramphenicol alkalmazása vezetett.

A rickettsiák pleomorf baktériumok, általában kokkobacilusok, de előfordulnak gömb vagy pálca alakú sejtek is, amelyek egyesével vagy párosával helyezkednek el. Nagyon kisméretűek (0,4-2 μm). Mureintartalmú sejtfaluk rostos szerkezetű és három rétegből épül fel. Számos fajnál mikrokapszula figyelhető meg. Kettéosztódással szaporodnak, kb. 8 óránként jelenik meg az új generáció.

A *Rickettsia prowazekii* okozza a tetvek által terjesztett, bőrkiütéssel és lázzal járó betegséget, a kiütéses tífuszt. A kórkép Afrikában, Közép- és Dél-Amerikában fordul elő. A kezdeti stádium tünetei fejfájás, általános rosszullet, láz. A betegség 4-7. napján bőrkiütések jelennek meg. A typhus elnevezése görög eredetű, és a typhosus (ködös) állapotra utal, ami az idegrendszeri tünetek megjelenésének következménye. A felgyógyult egyének tartós immunitással rendelkeznek.

Enyhébb lefolyású a *Rickettsia typhi* által okozott kiütéses tífusz. A fertőzés forrásai különböző rágcsálók, terjesztője a patkánybolha. A *R. rickettsii* Észak-Amerikában előforduló szikláshegységi láz kórokozója, melyet a kullancs terjeszt. A *R. tsutsugamushi* a Távols-Keleten idéz elő lázzal járó, kiütéses betegséget, különböző atkák terjesztik.

A *Chlamydia* nemzetség fajai obligált sejtparaziták. A madarak, emlősök és az ember kórokozói. Szénhidrátok lebontására nem képesek, az ATP-t a gazdasejtből nyerik. Két formában jelennek meg: az elemi testek 200-300 nm-es, gömbölyded alakú sejtek, a retikuláris testek pedig a vegetatív sejteknek felelnek meg és 1 μm nagyságrendűek. A chlamydiák jellegzetes fejlődési ciklussal rendelkeznek, amely az elemi testekkel kezdődik, amelyek sejten kívüli, latens állapotú, fertőző formák. A vastag sejtfallal rendelkező elemi testek fagocitózissal jutnak a gazdasejtbe, aktiválódnak, és többszörös kettéosztódással nagyobb méretű retikuláris testeket

hoznak létre, amelyek nem fertőző, sejten belüli vegetatív formák. A retikuláris testek ismét fertőző elemi testekké alakulnak. A fejlődési ciklus időtartama 24-72 óra.

A *Chlamydia trachomatis* a fertőző szemgyulladás, a trachoma kórokozója, de légzőszervi és genitális gyulladásokat is okozhat. A *Chlamydia psittaci* a papagálykór kórokozója, de átterjedhet emberre is (ornitózis), ahol leggyakrabban a tüdő és a kiválasztószervek gyulladását okozza. A *Chlamydia pneumoniae* humánpatogén, légúti megbetegedéseket okoz.

Aerob kemolitotróf Gram-negatív baktériumok

Közös tulajdonságuk a kemolitotrófia, vagyis energiájukat szerves anyagok oxidálása által nyerik, szénforrásuk a szén-dioxid. Néhány faj szerves szénforrást hasznosít (litoheterotróf). Idetartoznak a nagy ökológiai jelentőségű nitrifikáló baktériumok, a szintelen kénbaktériumok, valamint a hidrogén- és fémoxidáló baktériumok.

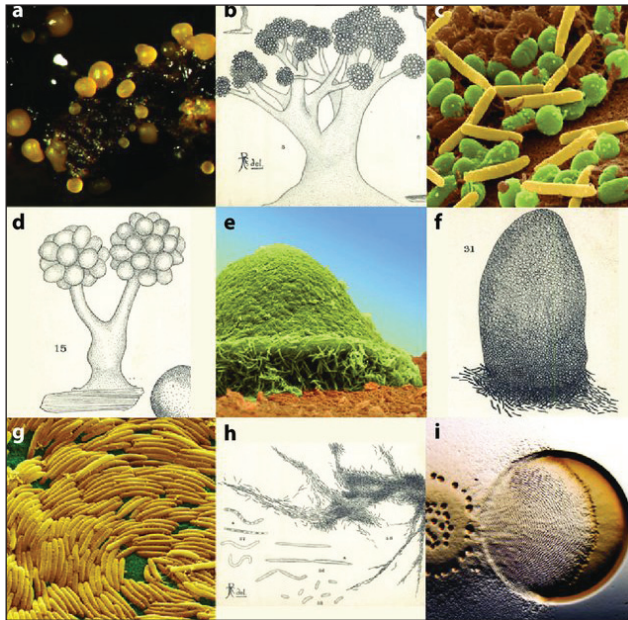
Csúszva mozgó, termőtestet képező baktériumok

Aerob talajbaktériumok. A DNS G/C tartalma magas (65-72%). Kemoorganoheterotróf szervezetek, melyek számos makromolekula hidrolízisét végzik. A legtöbb faj ragadozó, baktériumokat és gombákat támadnak meg. Antibiotikumokat választanak ki, amivel más baktériumot elpusztítanak, majd emésztőenzimeket termelnek, amelyekkel azok makromolekuláit lebontják és hasznosítják. Enzimeszkészletük gazdag, bakteriolitikus (proteázok, lipázok, nukleázok) és mikolitikus (kitinázok, glükánázok) enzimekkel rendelkeznek. Gyakran képeznek polifoszfát- vagy poliszacharid-zárványokat. Sejtfaluk vékony, hajlékony és a sejtet nem folyamatosan veszi körül, hanem csak helyenként, foltokban borítja. A sejtek nyálkás anyagot termelnek, amely lipidekből, fehérjékből és poliszacharidokból áll, és a sejtek csúszó mozgását biztosítja.

Életciklusuk komplex, hasonlít a nyálkagombák életciklusára. Ha megfelelő a tápanyag-ellátottság, a szilárd felületen elcsúszva mozognak, nyálkás váladékot hagyva hátra. Ha tápanyaghiány van, aggregációval és differenciálódással termőtestet hoznak létre, mely a pigmenttermelés következtében feltűnő színű (3.8. ábra). A termőtestben mixospórák jönnek létre, melyek életképességüket hosszú ideig megőrzik. Legismertebb képviselőjük a *Myxococcus xanthus*, valamint a *Chondrococcus*, *Chondromyces*, *Stigmatella* és *Polyangium* nemzetségekbe tartozó fajok.

Csúszva mozgó, termőtestet nem képező baktériumok

Közös sajátosságuk a csúszva mozgás, mely egyes fajok esetében igen gyors, 600 $\mu\text{m}/\text{perc}$ is lehet. Sok aerob, kemoheterotróf nemzetség tartozik ide, melyek cellulóz, kitin és más makromolekulák lebontására képesek. Mozgásuk célja, hogy ökológiailag a legmegfelelőbb pozícióba (fény, oxigén, kén-hidrogén, hőmérséklet stb.) igyekezzenek kerülni. Ismert nemzetségek a *Cytophaga* és a *Beggiatoa*.



3.8. ábra. A mixobaktériumok megjelenési formái. *Myxococcus xanthus* termőtestek (a). A *Chondromyces crocatus* termőtest vázlatja (b). Gömb alakú spórák és pálcá alakú vegetatív sejtek a *M. xanthus* esetében (c). A *Stigmatella aurantiaca* termőtest vázlatja (d). Egy *M. xanthus* termőtest (e). *Myxococcus corraloides* termőtest vázlatja (f). *M. xanthus* sejtek összehangolt mozgása (g). *S. aurantiaca* különálló és csúszó sejtek vázlatja (h). *M. xanthus* csúszó mozgása balról jobbra egy *Escherichia coli* telepet fogyasztva (i). (Velicer–Vos 2009).

3.3.1.2. Gram-negatív fotoszintetizáló, oxigént nem termelő baktériumok

Oxigénigény és oxigéntermelés nélkül fotoszintetizálnak. Idetartoznak a bíbor baktériumok és a zöld baktériumok. A bíbor baktériumok három nagyobb csoportba oszthatók: bíbor kénbaktériumok (*Chromatium*, *Thiocystis*, *Thiospirillum*, *Thiocapsa*), az *Ectothiorhodospiraceae* család (*Ectothiorhodospira*), bíbor nem kén baktériumok (*Rhodospirillum*, *Rhodobacter*, *Rhodocyclus*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodophila*, *Rhodomicrobium*). A zöld baktériumoknak is két csoportjuk van: a zöld kénbaktériumok (*Chlorobium*) és a zöld nem kén baktériumok (*Chloroflexus*).

3.3.1.3. Gram-negatív fotoszintetizáló, oxigént termelő baktériumok

Aerob fotoszintetizálók, elektront vízbontásból nyernek, és oxigént termelnek. Nitrogén megkötésére is képesek. A cianobaktériumok (klorofill a-t és fikobilineket tartalmaznak) és a *Prochloron* típusú baktériumok (klorofill a-t és b-t tartalmaznak) tartoznak ide.

A cianobaktériumok igen változatos csoportot képviselnek. Egysejtű, kisebb telepet képző és fonalas fajaik is vannak. Kettéhasadással, bimbózással, fragmentálódással és egyetlen sejt többszörös osztódásával is szaporodhatnak. Egyes fajok vastag falú nyugvó sejteket (akinétákat) hoznak létre. Sok faj esetében a nitrogénfixálás speciális sejtekben, a heterocisztákban történik. Termofil és hidegtűrő fajaik egyaránt ismertek. Sok esetben hozzájárulnak a vizek eutrofizációjához. Toxintermelésük révén a halak pusztulását okozhatják. Gyakran előfordulnak szimbiózisban is.

Jelentősebb nemzetségek: *Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Dermocapsa*, *Anabaena*, *Anacystis*, *Nostoc*, *Synechococcus*, *Cylindrospermum*.

3.3.2. Gram-pozitív baktériumok

Közös tulajdonságuk a vastag peptidoglikán szerkezetű sejtfallal. Külső membránjuk és endotoxinjuk nincs. Gömb, pálcika és fonalas megjelenésű, mozgó és mozgásra nem képes, tokos és tok nélküli baktériumok tartoznak ide. Kemoorganotrófok. Aerob, anaerob és fakultatív anaerob baktériumok egyaránt előfordulnak a csoportban.

3.3.2.1. Gram-pozitív coccusok és pálcák

Gram-pozitív coccusok

A *Micrococcus* nemzetségbe aerob, nem csillós, gömb alakú baktériumok tartoznak. Színük sárga, narancssárga vagy vörös, mivel a legtöbb faj karotinoid pigmenteket termel. Talajban, levegőben, vízben, tejben, emlősök bőrfelületén fordulnak elő. Nem patogének. Embernél a *Micrococcus luteus* a normál bőr- és szájbíóta tagja. Gyors növekedése és igénytelensége miatt a mikrobiológiai laboratóriumokban gyakran fertőző forrást jelent.

A *Staphylococcus* nemzetség tagjai fakultatív anaerob, nem mozgékony coccusok, melyek szabálytalan szőlőfürtszerű halmazokat alkotnak. Melegvérű állatok és az ember bőrén, nyálkahártyáján fordulnak elő. Gennykeltő kórokozók, a bőrfelületen gyakran okozzák tüszők, mirigyek, sebek gennyesedését, de felső légúti fertőzésekben is előfordulnak. Jelentős képviselőjük a *Staphylococcus aureus*. A legtöbb faj vérplazmát kicsapó koaguláz enzimet, valamint nagyszámú fehérje-, zsír-, szénhidrát- és nukleinsavbontó enzimet termel, melyek közül a

bőr faggyúrétegét feloldó lipáz és a kötőszövetbe történő behatolást segítő hialuronidáz a patogenitást szolgálják. Négyféle exotoxint termelnek, melyek közül az α hemolitikus hatású és letális. Többféle hőstabil enterotoxint is termelnek. Ezek a bélfal receptoraihoz kötődve hányást, valamint hasmenést okoznak. Jelentős a staphylokináz enzimük, mely a vérben lévő plazminogén aktiválásával fokozza a fibrinolízist.

A koaguláz próbával negatívnak bizonyuló staphylococcusok a bőr normál biótájának állandó képviselői: a *Staphylococcus epidermidis* és a *S. saprophyticus*.

A *Deinococcus* nemzetségbe tartozó fajok aerobok, sejtheik párban vagy tetradokban fordulnak elő. Membránjukban nagy mennyiségben tartalmaznak palmitoleátot. Sejtheik mind a kiszáradással, mind a sugárzással szemben igen rezisztensek.

A *Streptococcus* nemzetségbe fakultatív anaerob és anaerob, nem mozgékony, párba vagy láncba rendeződött, szaprofita, kommenzalista és kórokozó fajok tartoznak. Patogenitásuk az enzim- és toxintermelésnek tulajdonítható.

A pyogén (gennyképző) *Streptococcus*ok általában patogének. Sebfertőzésekben, felső légúti gyulladással megbetegedésekben fordulnak elő. A *S. pneumoniae* (*Diplococcus pneumoniae*) a tüdőgyulladás kórokozója. A *S. pyogenes* a skarlát (vörheny) kórokozója. Eritrogén toxint termel, amely a bőr hajszálereit károsítja és kiütéseket okoz, de vesekárosodást, szívizomgyulladást és vérmérgezést is okozhat.

Az orális *Streptococcus*ok a normál bióta tagjai, a szájüregben és a felső légutakban élnek. Képviselőjük a *Streptococcus salivarius* és a *S. mutans*. Vastag poliszacharid tokot (dextrán, leván) képeznek. Csökkent oxigénkoncentráció esetén intenzív savképzők, és ezáltal a fogszuvasodás kialakulásában fontos szerepet játszanak.

Az enterális *Streptococcus* fajok, például a *Streptococcus faecalis*, a normál bélbióta tagjai. Kórokozó jelentőségük az epeutak és a húgyutak gyulladásáiban, valamint enyhe lefutású ételmérgezésekben van. A többi *Streptococcus*tól eltérően sótoleránsak, még 6,5%-os NaCl-tartalmú táptalajon is fejlődnek. A *Streptococcus faecalis* a 60 °C-os hőmérsékletet 30 percig elviseli.

A tejsavtermelő *Streptococcus* fajok (például a *Streptococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*) aerotoleráns, nem patogén baktériumok. A *S. thermophilus* baktériumot a tejiparban oltóanyagként alkalmazzák.

Az anaerob *Streptococcus*ok sajátosságai a fehérjehidrolízis, a szén-dioxid és bűzös gázok termelése. Normális körülmények között is megtalálhatók a szájban, a bélcsatornában, a hüvelyben. Mint kórokozók bűzös, üszkös gennyesedéseket, szövetelhalással járó folyamatokat okoznak. Anaerob *Streptococcus* fajok a *Streptococcus hansenii*, a *S. parvulus* és a *S. polymorphus*.

A *Leuconostoc* nemzetségbe fakultatív anaerob, megnyúlt vagy ellipszis alakú, párban vagy láncszerűen elrendeződött baktériumok tartoznak. A fermentáció

során a glükózból tejsav és alkohol keletkezik. A savanyítóiparban, tejiparban, valamint dextranszintézisre használják (*L. mesenteroides*).

A *Ruminococcus* fajok anaerob, fermentatív, kemoorganotróf baktériumok. A bendőben a cellulóz és egyéb poliszacharidok lebontását végzik.

A *Sarcina* nemzetség fajai anaerob coccusok. A *Sarcina ventriculit* vastag fibrózus réteg borítja, melynek fő komponense a cellulóz. Savtoleráns, a gyomor alacsony pH-ján is életképes.

Endospórák képező Gram-pozitív pálcák és coccusok

A legtöbb idetartozó faj természetes élőhelye a talaj, mely környezetben az endospórák szelektív előnyt jelentenek.

A *Bacillus* nemzetségbe kataláz pozitív, aerob és fakultatív anaerob spórák képező fajok tartoznak. Az egyik legjobban tanulmányozott baktériumcsoportok közé tartozik.

Legismertebb apatogén faj a *Bacillus subtilis* (szénabacillus), melyet gyakran használnak fiziológiai és genetikai vizsgálatokhoz.

A *Bacillus anthracis* az anthrax (lépfene) kórokozója. Az anthrax elsősorban juhok, szarvasmarhák, lovak betegsége, emberre ritkán terjed. Az emberi szervezetbe sebfertőzéssel, enterális úton (fertőzött állat húsnak a fogyasztásával), ritkábban inhalációval jut, ahol elszaporodva exotoxin-termeléssel fejti ki hatását, bőr-, bél- vagy tüdőantraxot okozva. A betegség gyors lefutású, néhány óra alatt halálos kimenetelű lehet. Az anthraxbacillus egyike a leghosszabb patogén baktériumoknak: 5-10 μm hosszú, 1 μm vastag pálcika. Végei levágottak, rendszerint láncokba rendeződik. Spórája ovális alakú, legtöbbször centrálisan helyezkedik el, és nem deformálja a baktériumsejtet. Élő szervezetben spórák képzés nincs, itt az anthraxbacillus betokosodik. A bőranthrax esetén a bőrsérülés után egy napon belül nekrotizáló gennyes hólyag fejlődik ki. A nyirokutakon keresztül a kórokozók gyorsan eljutnak a véráramba, és szepszis jöhet létre. A tüdőantraxot a spórák belégzése okozza. A spórák germinációja után a gyors szaporodásnak induló vegetatív alakok vérzéses tüdőgyulladást, szepszist és agyhártyagyulladást okoznak. Rendszerint halálos kimenetelű. Anthraxszepszis esetén $10^7/\text{ml}$ baktériumsejt is számlálható a vérben. A bél-anthrax emberben ritka.

A *Bacillus cereus* a leggyakoribb *Bacillus* faj, mely talajban, levegőben egyaránt előfordul. Az ételmérgezések kórokozói közé tartozik. Az általa okozott kór-képek két megjelenési formája van: a hányással járó változat többnyire rizstartalmú ételek fogyasztása után, 1-6 óra elteltével jelentkezik. A hasmenéses változat lappangási ideje legtöbbször hosszabb (1-24 óra), és húskételek fogyasztása után lép fel. A patogenézis elsősorban a baktérium által termelt enterotoxinoknak tulajdonítható. A *B. cereus* obligát aerob baktérium a bélcsatornában oxigén hiányában nem tud elszaporodni, ott nem termel enterotoxinokat. Az ételmérgezést a táplálékban a baktérium által kiválasztott enterotoxin okozza. A hántolatlan gabona vagy rizs felületen konyhatechnikai feldolgozása és szobahőmérsékleten

való tárolása köretként vagy tölteléként lehetőséget nyújt a spórák kicsírázására, a baktériumok elszaporodására és az enterotoxinok kiválasztására az ételben. Vendéglátások esetén a sokáig szobahőmérsékleten, huzatos helyen hagyott, majd otffejejtett ételekbe (pl. majonézes salátákba) a levegőből behullanak a *B. cereus* spórák, kicsíráznak, elszaporodnak és enterotoxinokat termelnek. Az ilyen ételek elfogyasztása következtében jöhet létre a kétféle *B. cereus* ételmérgezés.

Egyes *Bacillus* fajok (*Bacillus polymyxa*, *B. licheniformis*, *B. brevis*, *B. subtilis*) antibiotikumot (polymyxin B, gramicidin, tyrocidin, edein, bacitracin) termelnek. Más fajok az ipari enzimtermeltetésben (például lúgos proteázok, α -amiláz) jelentősek. Vannak olyan *Bacillus* fajok is, melyek rovarellenes vegyületeket termelnek. A *Bacillus thuringiensis* az endospóráképzés során egy, a spóra mellett elhelyezkedő kristályos fehérjét termel, mely a lepkék (*Lepidoptera*) ellen hatásos. A toxin a hernyók lúgos béltraktusában feloldódva az epiteliális sejteket károsítja, a béltartalom a vérkeringésbe jut, melynek következtében azok elpusztulnak.

A *Sporolactobacillus* nemzetségbe egyenes pálca alakú, mikroaerofil, fermentatív fajok tartoznak.

A *Clostridium* nemzetségbe tartozó fajok között egyaránt vannak patogének és szaprofiták. A patogének igen mérgező exotoxint termelnek. A *Clostridium*ok a talajban csaknem mindenütt, de különösen a trágyázott termőföldben megtalálhatók. Természetes előfordulási helyük a talajon kívül az állati és emberi bélcsatorna. A mikrobák a talajban spórát képezve nem pusztulnak el, és visszakerülve az élőlények bélcsatornájába, széles körben elterjedhetnek. Jellemző alakját a spóra kifejlődésekor veszi fel, amely mindig vastagabb, mint a baktériumsejt, ezért azt deformálja. A spóra elhelyezkedhet a baktérium közepén, végén vagy a végéhez közel. A spóráknak nagyfokú az ellenálló képessége.

Kemoorganotrófok, cukrok vagy fehérje bontásával jutnak energiához. Jellemző erjedési termékük a kellemetlen szagú vajsav. Egyes fajok fermentáló képességét ipari oldószergyártásban hasznosítják (pl. *Clostridium acetobutylicum*).

A *Clostridium tetani* a merevgörcs (tetanusz) kórokozója. A betegség halálos kimenetelű is lehet. A tetanuszbaktérium 2-5 μm hosszú, peritrich csillós pálca. Spórája a sejt végén helyezkedik el, a baktériumsejtnél nagyobb, így jön létre a jellegzetes dobverő alak. A spóra nélküli vegetatív alakok ellenállása azonos a legtöbb baktériuméval, a spórák azonban rendkívül ellenállóak. A szervezetbe mindig valamilyen sérülésen keresztül jut be. A baktérium csak a sérülés helyén, az elhalt szövetekben szaporodik, és a szervezetet elárasztja a toxinjával. A toxin a sérülés helyétől távol, a központi idegrendszer károsítva idézi elő a merevgörcsöt. Az emberi tetanuszban az első tünet a száj körüli izmok görcse, majd a görcsös állapot lefelé terjed. A halált a légzőizmok görcse miatti légzési és keringési elégtelenség okozza. A *Clostridium tetani* elsősorban a lovak, de más állatok belében is szaporodik, így főként trágyázott talajokban található. Ezért a földdel szennyezett sérüléseknek erősebben kitett egyének körében fordul elő. A toxin rendkívül kis koncentrációban hatásos. Ma már kötelező védőoltás van ellene, mely a tetanusz toxin inaktivált formáját tartalmazza.

A *Clostridium perfringens* az ún. gázugangrénát okozza. Patogenitását a termelt toxin és enzimek mellett az intenzív gázképződés szövetroncsoló hatása is fokozza. A *Clostridium perfringens* erősen nekrotizáló és hemolizáló toxinokat termel. A baktériumok az állati és emberi bélcsatornában állandóan jelen vannak. Kórokozóvá csak akkor válnak, ha a szövetekbe hatolnak. Ez történhet endogén úton a bél felől, de leggyakrabban exogén úton jut be, valamely földdel szennyezett sérülésen keresztül. Súlyos betegség akkor támad, ha a sérülés kiterjedt szöveti roncsolást okoz. A betegség lappangási ideje 1-3 nap. A fertőzés főként a végtagok, elsősorban az alsó végtagok izomzatának sérüléséből indul ki. A baktériumok megfelelő anaerob körülmények között gyorsan szaporodnak, és nagy mennyiségben termelődő toxinjaikkal elárasztják a szervezetet, melyek további szövetkárosodásokat okoznak. A sérülés helyén a szövetek elhalnak, nagyfokú gázképződés, váladékozás kíséretében a szervezet az általános mérgezés állapotába kerül.

A *Clostridium botulinum* a botulizmus kórokozója. A hideg- és melegvérű állatok tápcsatornájában (1-35 °C-on) képes szaporodni, exotoxintermelő képességét lizogén konverzió útján bakteriofágok közvetítésével veszi fel a már exotoxint termelő fajtársaitól. Az állatok tápcsatornájából ürülve gyorsan spórává alakul, és ilyen formában évtizedekig életképes marad a trágyázott talaj felszínén is. A talajban mindenütt előforduló *C. botulinum* spórák különböző élelmiszerekbe kerülve kicsíráznak, és elszaporodva toxint termelnek. Fehérje természetű exotoxinjai csak 80 °C felett denaturálódnak, és ellenállóak az emberi tápcsatorna proteolitikus enzimjeinek. Házilag készült kolbászokban, disznósajtban, húsookban, rosszul sterilizált konzervekben szaporodhat el. Nyolcféle exotoxinja közül három (A, B, E) rendkívül hatásos idegméreg, mert már 1 µg is halálos. Termelése virális gén ellenőrzése alatt áll. A betegség tünetei hamar, órák, esetleg napok múlva jelentkeznek. Ezek az idegrendszeri bénulás, kettős látás, nyelési és beszédzavarok, légzési nehézség, izombénulás, szívizom-elégtelenség. A halál oka rendszerint légzésbénulás.

A *Desulfotomaculum* nemzetség fajai anaerob, egyenes vagy enyhén görbült, peritrich pálcák. Szulfátot vagy elemi ként redukálnak kén-hidrogénné.

Az endospórát képező Gram-pozitív pálcák és coccusok csoportjához tartoznak a *Sporosarcina* és az *Oscillospira* nemzetségek.

Szabályos, endospórát nem képező Gram-pozitív pálcák

Heterotróf, általában nem mozgó, spórát nem képező fajok tartoznak ide.

A *Lactobacillus* nemzetségbe tartozó homofermentatív fajok csak tejsavat, a heterofermentálók tejsav mellett etanolt és ecetsavat termelnek. A *Lactobacillus* fajok az emberi test normál (száj, bél és hüvely) biótájának tagjai. A gazdaszervezet számára előnyös körülményeket alakítanak ki, mivel tejsavtermelésükkel elnyomják a fertőző baktérium- és gombatorzseket. A laktobacillusok természetes élőhelyei az emberi és állati szervezet, valamint a növényzet. Számos fajt oltóanyagként használnak a húsiparban, a tejiparban, a kenyérgyártásban, sőt

a borászatban is. A növényzeten, a termesztett zöldség- és gyümölcsféléken is előforduló tejsavbaktériumok a silót, valamint a savanyúságokat erjesztik. A probiotikumok egyik ismert képviselője a *Lactobacillus acidophilus*.

A *Listeria* nemzetségbe rövid, pálcika alakú, aerob vagy fakultatív anaerob, peritrich csillókkal mozgó fajok tartoznak. Gyakoriak a természetben, főleg rothadó, korhadó hulladékokon találhatóak. Humánpatogén faj a *Listeria monocytogenes*. Bár a liszteriózis enterális úton kapott fertőzés, tünetei a bélcsatornán kívül jelentkeznek. A bélhámsejteket áttörve a fagocitákban is elszaporodik, a vérrel általános szepszist, agyhártyagyulladás, elvetélést okoz. A mosatlan zöldségfélék, fertőzött hús vagy tej útján jut az emberi szervezetbe. A baktérium 3-4 °C-on is szaporodik, élelmiszerekben a fagyasztást, szárítást túléli.

Az *Erysipelothrix* nemzetséghez tartozik az *Erysipelothrix rhusiopathiae*, a sertésorbánc kórokozója. 1-2 µm nagyságú pálcika, csillóval és spórával nem rendelkezik, telepei harmatcseppszerűek. Főként fiatal sertésekben okoz enterális úton súlyos orbáncot. Elsősorban állati kórokozó, emberi megbetegedések a fertőzött állattól származnak. A bőrön, az ujjakon vörös elszíneződés, duzzadás észlelhető, élesen elhatárolt szélekkel. Az elváltozás fájdalmas. A fertőzés közvetlen érintkezéssel a sérült bőrön keresztül jön létre.

3.3.2.2. Gram-pozitív, elágazó, fonalas növekedésű baktériumok

Szabálytalan, nem spórázó Gram-pozitív pálcák

Szabálytalan alakú, aerob, fakultatív anaerob és néhány anaerob nemzetség fajtái tartoznak ide.

A *Corynebacterium* nemzetségbe aerob és fakultatív anaerob, egyenes vagy enyhén hajlott pálcika alakú és bunkós végű sejteket képező fajok tartoznak. A sejtfal lipidtartalma magas. A *Corynebacterium*okban található mikolsavak (α -szubsztituált β -hidroxizsírsavak) lánchosszúsága 29-40 szénatomszám között változik. Jellemző, hogy sejtosztódást követően a sejtjeik fűrészfog vagy Y-szerű elrendeződésben együtt maradnak.

A természetben igen elterjedtek. Néhány faj a légutak normál biotájához tartozik. Exotoxin-termelése következtében a *Corynebacterium diphtheriae*, a torokgyík kórokozója, a csoport egyik legismertebb tagja. A betegségért a baktérium exotoxinja felelős, melynek génjét egy temperált bakteriofág hordozza. A baktériumokban bipolárisan elhelyezkedő volutinszemcsék találhatóak. A *C. diphtheriae* leggyakrabban a torok és az orr nyálkahártyáján telepszik meg. Felületes inváziója következtében a fibrinkiválás szürkésfehér álhártya kialakulásához vezet, amely leukocitákat és vörösvértesteket is tartalmaz. Az álhártya szorosan kapcsolódik a nyálkahártyához, onnan nehezen választható le, és ilyenkor vérzés is lehetséges. Az álhártya a gégefedőre, tracheára áttérjedve fulladásos halálhoz vezethet, vagy előfordulhat az álhártyadarabok belégzése is. A kórokozó a bőrön is jellegzetes léziókat okozhat. Patológiai szempontból azonban az exotoxin távolhatása az alap-

vető, mely elsősorban a szívizom degenerációját okozza. Ritkábban bénulások (szemizmok, légyszájpad, végtagok sorrendjében) következnek be. Fertőzés után tartós immunitás marad. Ma már aktív védőoltás van ellene.

Több növénypatogén faj is ismert. A *C. michiganense* a paradicsom, a *C. insidiosum* a lucerna, a *C. sepedonicum* a burgonya hervadásának a kórokozója.

A *C. glutamicum* törzseit az iparban glutaminsav-termelésre, bizonyos mutánsait pedig egyéb aminosavak (pl. lizin) termeltetésére használják.

Az *Arthrobacter* nemzetséghez tartozó fajok aerob baktériumok. Sejtfalukban lizint tartalmaznak. Jellemző tulajdonságuk, hogy a sejtek alakja az életciklus folyamán változik: az exponenciális fázisban elágazó, szabálytalan alakú pálca, a stacioner fázisban pedig coccus alakúak. A coccusok friss táptalajra leolva újból elágazó pálca alakban nőnek. Leggyakoribb élőhelyük a talaj, ahol komplex szerves molekulák lebontásában játszanak szerepet, és növényvédő, valamint rovarellenes szereket is képesek lebontani.

A *Propionibacterium* fajok pleomorf anaerob, illetve aerotoleráns baktériumok. Fermentációjuk során nagy mennyiségű propionsavat és tejsavat termelnek. Tejtermékekben és silóban fordulnak elő. Egyes fajokat a sajtgyártásban használják, mivel fontos ízanyagokat kölcsönöznek a sajtoknak.

A *Propionibacterium acnes* és a *P. granulosum* a bőr és a bőrképletek normál biótájához tartoznak, de bármely szervben okozhatnak gennyes folyamatokat. A faggyúmirigy-trigliceridek lebontásával, szabad zsírsavak lehasításával irritáló gyulladáshoz vezető folyamatokat, acné vulgarist hoznak létre.

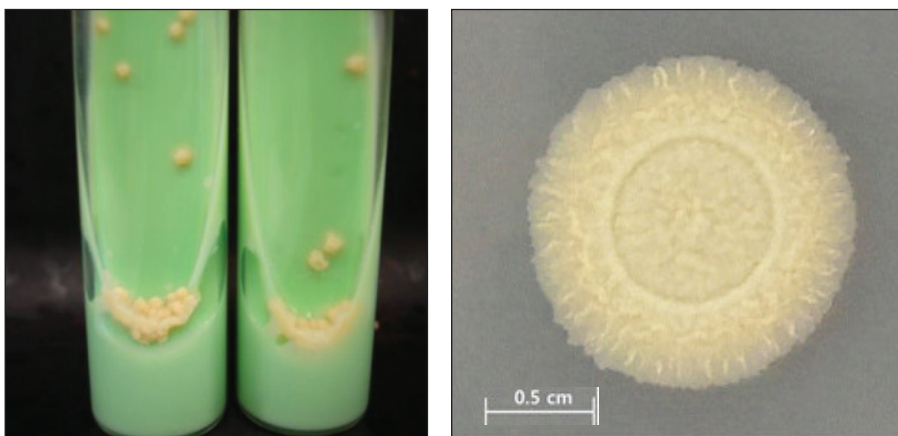
A *Bifidobacterium* nemzetségbe tartozó fajok sejtjei a bifid (elágazó Y) sejtek mellett V alakot is formálhatnak, vagy paliszád (oszlopos) elrendeződést is felvehetnek. A normál bélbióta tagjai. Anyatejjel táplálkozó csecsemők bélbiótájának domináns képviselői. Anaerobok. Speciális heterofermentáció jellemzi őket, melynek végeredménye 3:2 arányban ecetsav és tejsav. A *Bifidobacterium* fajok az egészséges vastagbél mikrobiotájának aktív tagjai, amelyeknek immunrendszeret stimuláló és a patogén baktériumokat gátló antibiotikus hatást tulajdonítanak. Ez utóbbiban a szerves savaknak és a bakteriocin termelésnek van szerepe. Képviselőik a *Bifidobacterium bifidum*, *B. longum* és a *B. infantis*.

Az *Actinomyces* nemzetségbe tartozó fajok sejtjei egyenes vagy enyhén hajlott pálcika alakúak, melyek elágazó fonalakat hoznak létre. Nevük görög szóból ered, amely a sugaras elhelyezkedésű (actino) és a gombához hasonló (myces) fonalakra utal. Anaerobok vagy fakultatív anaerobok. Optimális növekedésükhöz szén-dioxidot igényelnek. Fermentációjuk végeredménye hangyasav, ecetsav, tejsav, borostyánkóssav. Leggyakrabban melegvérű állatok szájüregében fordulnak elő, és a fogak megbetegedését okozzák.

Mycobacteriumok

Aerob, nem mozgékony, egyenes vagy enyhén hajlott pálcika alakú, néha elágazó, fonalas növekedésű baktériumok tartoznak ebbe a csoportba, egyetlen nemzetséggel.

A fonalszerű képletek abban különböznek az *Actinomycetese*ktől, hogy a legkisebb behatásra egyedi sejtekre esnek szét. Növekedésük rendkívül lassú. A baktérium növekedéséhez purin- és pirimidinbázisokat, valamint vitaminokat igényel. Tenyésztésére szerves anyagokat, állati szérumot, tojást, burgonyát, aszparagint, glicerint, sókat és malachitzöldet tartalmazó szilárd táptalajt használnak (pl. Löwenstein–Jensen-féle táptalaj). A malachitzöld festék bakteriosztatikus hatású, a váladékban esetleg jelen levő egyéb baktériumok szaporodását gátolja. Ez a hosszú, több hetes (4-6 hét) tenyésztési idő miatt fontos. Sejtfaluk lipidtartalma igen magas, ezért saválló festés jellemzi őket. Jellemző lipidjük a 60-90 szénatomszámú mikolsav, melynek β -szénatomján OH-csoportot, α -szénatomján pedig alifás szénláncot tartalmaz.



3.9. ábra. *Mycobacterium tuberculosis* baktériumtelepek Löwenstein–Jensen-féle és 7H10-OADC szilárd táptalajon
(Agarwal et al. 2005; Han et al. 2015)

Szaprofita és patogén fajok tartoznak a csoporthoz. A *Mycobacterium tuberculosis* a gümőkór (TBC) kórokozója. Számos szerv megbetegedését okozhatja, azonban a leggyakoribb a tüdőtuberkulózis. Tünetei: fáradtság, általános rosszullét, éjszakai izzadás, köhögés, esetleg véres köpettel, mellkasi fájdalom. A fertőzés helyén granuloma (gümő) alakulhat ki, amelyekben a baktériumok fertőzőképesek maradhatnak. A gümők közepében elhalt tüdőszövetet, makrofágokat és kórokozót tartalmazó váladék képződik. A gümők el is meszesedhetnek és ún. Ghon-komplexek alakulnak ki. Másodlagos fertőzéskor a gümőkben található kórokozók reaktiválódnak és a tüdőszövetet károsítják vagy elterjedhetnek más szervekben is, számos fertőzési gócot hozva létre. A gümőkől a baktériumok az általuk termelt tuberkulin toxin hatására elhalt sejtekkel együtt véres köpet formájában távoznak a szervezetből, a tüdőszövetben üregeket hagyva hátra. Legtöbbször cseppfertőzés-

sel terjed. A laboratóriumi diagnózis történhet közvetlen mikroszkópos vizsgálattal (a köpetből készített kenet Ziehl–Neelsen-festésével), a baktérium tenyésztése megfelelő táptalajon (3.9. ábra) vagy tengerimalac oltása. A *Mycobacterium bovis* a szarvasmarhák, a *Mycobacterium avium* a baromfi tuberkulózisának kórokozója. A *M. bovis* gyakran emberre is átterjed. Sokáig a fertőzött szarvasmarha tejének fogyasztása volt a fertőző forrás. Leggyakrabban tüdőtuberkulózist, ritkábban csont- vagy vese-TBC-t okoz. Csecsemőkorban a kötelező aktív immunizálás BCG védőoltással történik, ami legyengített *M. bovis* sejteket tartalmaz.

A *Mycobacterium leprae* a lepra kórokozója. Elsősorban a trópusokon jelenleg is mintegy 10 millió ember szenved ebben a betegségben. A kórokozó nem tenyészthető, immunitás nem jön létre. Korlátozott szaporodás érhető el az egér talpába történő oltáskor, ezért ezt a módszert használják a lepra elleni szerek kipróbálásakor. A leprabaktérium hasonlít a *M. tuberculosis*hoz, de savállósága nem annyira kifejezett. A fertőzés első jelei a bőrön tapasztalhatók, kisebb léziók formájában, majd a perifériás érzőidegeket támadja meg. Később az idegi degeneráció folytatódik, egész végtagok halnak el, és spontán amputáció is bekövetkezik. Az orrcsontokat nagyon gyakran megtámadja, és ezek elpusztulása következtében az orrszövet eltűnik. Korábban feltételezték, hogy a fertőzés bőrről bőrre terjed, azonban valószínű az orrváladékkal való fertőzés is. Ezen kívül a beteg vére is nagy mennyiségben tartalmaz leprabacillust, ami a fertőzés ízeltlábúakkal való terjedését teszi lehetővé. A betegség inkubációs ideje igen hosszú, rendszerint 3-5 év.

***Nocardia*-formájú Actinomyceták**

Az idetartozó nemzetségeknek közös sajátossága a gombákhoz hasonló micéliális növekedés. A micélium mechanikai hatásra könnyen szétesik pálca alakú vagy kokkoid sejtekre. A táptalajt átszövő elágazó micéliumhálózatot szubsztrát-micéliumnak nevezünk. Egyes fajok a táptalajból kiemelkedő ún. légmicéliumot is képeznek. A légmicéliumon képződhetnek az aszexuális kitaró sejtek, a spórák. A DNS G+C-tartalma magas. Saválló, sejtfaluk mikolsavat tartalmaz. Termőtalajban nagyon elterjedtek, ahol fontos tevékenységük a szerves anyagok lebontása.

A *Nocardia* nemzetséghez tartozó fajok talajban és vizekben egyaránt előfordulnak. Egyes fajok az alifás és aromás szénhidrogének lebontására képesek, ezért olaj- és üzemanyag-szennyezések eltávolítására használhatók. A néhány patogén faj elsősorban sebfertőzéseket okoz. Néhány törzs β -laktám típusú antibiotikumot termel.

A *Rhodococcus* nemzetségbe coccus vagy rövid pálca alakú aerob fajok tartoznak, melyek sokféle szerves anyag lebontására képesek. Kórokozó fajai is vannak.

Sporangiumot képező Actinomyceták

A túlélést szolgáló sejtek, a spórák külön spóratartóban, a sporangiumban tömörülnek. Hifafonalaik hossz- és keresztirányban is szeptálódnak.

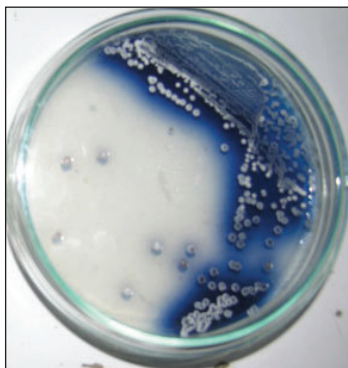
A *Geodermatophilus* nemzetség fajai aerob talajbaktériumok.

A *Dermatophilus* nemzetségbe aerob és fakultatív anaerob patogén törzsek tartoznak. Bőrfertőzéseket okoznak.

A *Frankia* nemzetség fajai (pl. a *F. alni*) aerob vagy mikroaerofil, lassan növekvő baktériumok. Általában zárvatermő növények gyökerein szimbiózisban élnek, nitrogénmegkötésre képesek.

Streptomycesek

A *Streptomyces* nemzetségbe tartozó fajok aerobok (3.10. ábra), nem mozgékony spórákat képeznek. A spórák általában pigmentáltak. Talajlakó baktériumok, ahol fontos szerepük van a mineralizálásban. Sokféle exoenzimet termelnek, melyekkel a pektint, kitint, keratint, latexet és egyéb szerves molekulákat is képesek lebontani. A *Streptomyces*ek termelik a jelenleg ismert és a gyakorlatban alkalmazott antibiotikumok (aminoglikozidok, tetraciklinek, kloramfenikol, makrolid, polién stb.) mintegy 70-80%-át. Geozminoknak nevezett jellegzetes terpenoid típusú telítetlen, ciklikus vegyületeket képeznek, amelyek a nedves talajnak a jellegzetes földszagát idézik elő. Ismertek növénypatogén (*S. scabies* a burgonyagyümölcs rothadást okozza) és humánpatogén (*S. somaliensis*, amely actinomycetómát okoz) fajok is. Emberben a fertőzés rendszerint a bőrön keresztül történik.



3.10. ábra. *Streptomyces coelicolor* telepek keményítő kazein tápagaron
(Prabhu–Lingappa 2013)

Thermoactinomycetes

Növekedésük miceliális, endospórákat képeznek. Aerob, szaprofita, termofil mikroorganizmusok. Élőhelyük a talaj és a növényi maradványok. Nedves, jól levegőző takarmányokban gyorsan szaporodnak, a felszabaduló hő pedig gyakran öngyulladásához vezet. A *Thermoactinomyces* nemzetség tartozik ide. A *T. vulgaris* okozza a „farmertüdő”-nek nevezett allergiás betegséget, mely elsősorban a mezőgazdaságban dolgozó munkásokat érinti.

3.3.3. Sejtfal nélküli baktériumok

Hiányzik a sejtfal, membránjukhoz kívülről poliszacharid kapcsolódik. A sejtfal hiánya miatt közös tulajdonságuk az ozmotikus érzékenységük, a penicillin és más sejtfalszintézisre ható antibiotikumokkal szembeni rezisztencia, pleomorfizmus és a könnyen deformálható alak, ami lehetővé teszi, hogy baktériumszűrőn is áthatoljanak. Eukarióta sejtek parazitái, komplex növekedési faktor igényük van (aminosavak, zsírsavak, nukleotidok, szterin). Telepeik kicsik, lassan fejlődnek, szilárd táptalajon jellemző ún. „tükörtojás” alakúak. Általában nem képesek mozgásra, de néhány faj csúszva változtatja helyét, mások spirálisan elhelyezkedő fonalszerű képletek segítségével forogva mozognak. Genomméretük kicsi, kb. 10^9 Dalton, kisebb, mint a nagy vírusoké. Sejtosztódásuk kettéhasadással vagy fonalszerű növekedést követő fragmentálódással történik.

A *Mycoplasma* nemzetség fajai fakultatív anaerobok. Emlősök és madarak parazitái. Elsősorban légző- (*Mycoplasma hominis*, *M. salivarum*, *M. orale*) és a nemiszervek, a húgyhólyag és a húgyvezeték (*M. genitalia*) nyálkahártyái, valamint az ízületek megbetegedéseit okozzák. A leggyakoribb általuk okozott megbetegedés a pleuropneumonia. Terjedése cseppfertőzéssel történik.

Az *Ureoplasma* nemzetség fajai energiájukat a karbamid hidrolízisével nyerik. Növekedésük jobb, ha szén-dioxidban gazdag a légtér, mert részben semlegesíti a karbamid hidrolízisekor képződő ammóniát. Mikroaerofilek. Emberek és állatok légzőszerveiben, szemében és urogenitális szerveiben élnek, azok gyulladással megbetegedéseit okozzák. Nőknél spontán abortuszt, az újszülöttnél agyhártyagyulladást okozhatnak.

A *Spiroplasma* nemzetség fajai elsősorban ízeltlábúak és növények kórokozói. Az ízeltlábúak gyomrában, hemolimfájában, nyálmirigyekben találhatóak. A növények szállítószövetekben fordulnak elő. A sejtek spirális lefutásúak. Mozgásra képesek.

Az *Anaeroplasma* nemzetség tagjai anaerobok, a szarvasmarhák és juhok bendőjében élnek. Fermentációjuk során különböző savakat (hangyasav, ecetsav, propionsav, tejsav, borostyánkősav), valamint etanolt és szén-dioxidot termelnek. Néhány fajuk bakteriális sejtfalbontó enzimeket termel.

3.4. Az emberi test normál mikrobiótája

A testfelszínen és a külvilággal közlekedő testüregekben állandóan vagy átmenetileg jelen levő és az egészséges szervezetben betegséget nem okozó mikroorganizmusok alkotják a normál mikrobiótát. Az állandóan jelen lévő mikroorganizmusok képezik a rezidens mikrobiótát, a tranzienst mikrobiótát képviselői

csak átmenetileg találhatók meg a szervezetben. Nagyrészt baktériumok, kisebb számban gombák és protozoonok vesznek részt a normál mikrobióta alkotásában.

A normál mikrobióta mennyiségi és minőségi összetételét számos tényező határozza meg: az egyén kora, neme, tápláltsági állapota, a stressz és a genetikai háttér. Egyes baktériumok rendszeresen megtalálhatók bizonyos anatómiai helyeken, mások az élet meghatározott szakaszaiban (pl. hormonális változások, mesterséges táplálás bevezetése) vagy ideiglenesen vannak jelen. Ezen változások ellenére a normál mikrobióta rendelkezik egy bizonyos állandósággal, ami lehetővé teszi a jellemzését.

Az emberi szervezet normál mikrobiótájában megközelítőleg 10^{13} baktériumsejt található a szervezetet alkotó 10^{12} sejttel szemben. Egy átlagos felnőtt testében közel 1,5 kg mikroba él. A különböző baktériumfajok meghatározott arányban, egyensúlyi állapotban vannak jelen. Az egyensúly megbomlása esetén egyes baktériumok, gombák endogén fertőzéseket válthatnak ki.

Az ép normál mikrobióta bizonyos mértékű védelmet biztosít a patogén baktériumokkal szemben, azáltal, hogy gátolja a patogénnel való kolonizációt. Versengés folyik a receptorokért és tápanyagokért, emellett különböző anyagok (toxikus anyagcseretermékek, bakteriocinek) termelése révén a rezidens mikrobiótához tartozó baktériumok gátolják más baktériumok szaporodását. A tápcsatorna normál mikrobiótáját alkotó baktériumok vitaminokat szintetizálnak, és elősegítik a tápcsatornai nyirokszövet fejlődését.

A normál mikrobióta baktériumai adaptálódtak bizonyos biotopokon uralkodó viszonyokhoz, ezért egyes fajokat csak jól meghatározott helyekről lehet kimutatni. Ez a tropizmus növekedési faktorok jelenlétével magyarázható. Másrészt a baktériumok olyan tapadási tényezőkkel rendelkeznek (fimbriák, sejtfal-komponensek, tok), amelyek a nyálkahártyák felszínén található specifikus receptorokhoz kötődnek. A normál mikrobiótát alkotó baktériumok biofilm képzésére képesek, a biofilmben általában több baktériumfaj lehet jelen.

A felnőtt ember normál mikrobiótája zavartalan körülmények között viszonylagosan állandó összetételű, ugyanakkor a környezetben vagy a gazdaszervezetben bekövetkező változások a mikrobióta összetételére is hatással vannak. A testhőmérséklet és a bőr nedvességtartalmának emelkedése a bőr mikrobiótáját alkotó populációk egyedszámának növekedését eredményezi. A személyes higiénia hatása sem elhanyagolható a mikrobióta összetételének alakulásában. Kutatási eredmények alapján a mikroorganizmusok egy része, melyeket a táplálékkal együtt veszünk magunkhoz, egyúttal a bélmikrobióta tagjaivá válhatnak.

3.4.1. A bőr normál mikrobiótája

A bőr különböző területeinek mikroba-összetétele és csíraszama változó. Az összefekvő, nedves bőrfelületeken (hónalj, ágyék, ujjak között) a mikrobióta

gazdagabb ($10^6/\text{cm}^2$), más területeken a baktériumok száma 100-as, 1000-es nagyságrendű négyzetcentiméterenként.

A bőr mikroorganizmusainak szerepe a patogén baktériumok elleni védelem, azáltal, hogy a jelen levő baktériumok antibakteriális hatású anyagokat termelnek, anyagcseretermékeik a bőrfelszín savas pH-ját biztosítják, ami kedvezőtlen a patogén baktériumok számára. A normál mikrobióta baktériumai lefoglalják a kötőhelyeket, és ezáltal megakadályozzák a patogének megtapadását.

A bőr normál baktériumflóráját szaprofita vagy fakultatív patogén baktériumok alkotják. Átmeneti jelleggel patogén baktériumok is előfordulhatnak a bőrön, például a *Staphylococcus aureus*, főleg azoknál az egyéneknél, akik az orrnyalhártyájukon is hordozzák a baktériumot.

A bőrön nagy számban található *Staphylococcus* fajok, *Staphylococcus epidermidis*, *S. haemolyticus*, *S. warneri*, *S. capitis*, *S. auricularis*, *S. saprophyticus*, *Corynebacterium*, *Propionibacterium*, *Peptostreptococcus*, *Clostridium* fajok, az Enterobacteriaceae család képviselői, valamint lipofil (*Pityrosporum ovale*, *Pityrosporum orbiculare*) és nem lipofil gombafajok.

A bőr mikrobiótáját alkotó legtöbb baktérium a felszíni vagy az elhalt sejteket kolonizálja, valamint a verejték- és faggyúmirigyeket népesíti be. A mirigyek által termelt váladék biztosítja a vizet, az aminosavakat, karbamidot, elektrolitokat és specifikus zsírsavakat elsősorban a *Staphylococcus epidermidis* és az aerob korinebaktériumok számára. Gram-negatív baktériumok általában a nedvesebb bőrfelszíneken fordulnak elő. A *Pityrosporum ovale* és a *P. orbiculare* élesztők a fejbőrön jellemzőek, ahol szerepet játszanak a korpásodásban. A faggyúmirigyekben a Gram-pozitív, anaerob, lipofil, pálca alakú *Propionibacterium acnes* a legelterjedtebb baktérium. Ez a rendszerint ártalmatlan baktérium közrejátszik az acne vulgaris bőrbetegség kialakulásában is.

3.4.2. A légutak mikrobiótája

A felső légutak gazdag és változatos baktériumbiótát tartalmaznak, az alsó légutak fiziológiás körülmények között sterilek. A felső légutak az újszülött felsírásáig vagy a mesterséges lélegeztetés megkezdéséig sterilek. A születés után 2-3 nap alatt bekövetkezik a légutak baktériumokkal való kolonizációja. A mikrobiótát a hemolizáló és nem hemolizáló streptococcusok, *Staphylococcus epidermidis*, micrococcusok, *Neisseria*, *Corynebacterium* fajok, aerob bacillusok, ezen kívül a szájbíóta tagjai közül spirochaeták, *Fusobacterium* és *Bacteroides* fajok képviselik. Hordozói állapot esetében egyes patogén baktériumok átmenetileg, hosszabb-rövidebb ideig kimutathatók a felső légutak nyálkahártyájáról pl. a *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *S. pneumoniae*, *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus influenzae*, *Bordetella pertussis*.

A légutak normál mikrobiótája biztosítja a nyálkahártya védelmét, azáltal, hogy az alkotásában részt vevő baktériumok lefoglalják a receptorokat.

A légúti nyálkahártya sérülése esetén (pl. vírusfertőzések hatására) megvalósulhat a patogén baktériumok tapadása. A *Bordetella pertussis* képes tapadni a légcső ép epitheliális sejtjeihez is, így létrejön a kolonizáció, az elszaporodást követően hámsejteket károsító toxint termel.

A tüdőket rendszerint csak a 10 μm -nél kisebb átmérőjű részecskék (baktériumok, vírusok) érik el, melyek ott tüdőgyulladást okozhatnak.

3.4.3. A szájüreg normál mikrobiótája

A szájüreg normál mikrobiótája változatos és rendkívül gazdag, sokféle és nagyszámú mikroorganizmus alkotja: *Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Neisseria*, *Veilonella*, *Vibrio*, *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Actinomyces* fajok. A spirochaeták közül a *Treponema microdentium* mutatható ki leggyakrabban. A protozoonok legjelentősebb képviselője az *Entamoeba gingivalis*. Eltérő mikroba-összetételű az ajkak, a szájpad, a nyelvfelszín, a fogak és a nyelv. A száj mikrobiótája az életkorral változik.

A normális szájmikrobióta fontos védő szerepet tölt be azáltal, hogy lefoglalja a patogének elől a kötődési helyeket, vitaminokat, antibakteriális anyagokat termel és szekretoros immunoglobulinok képződését váltja ki, amelyek keresztreakció révén patogénekkel léphetnek kölcsönhatásba.

Egyes szájüregben jelen lévő baktériumok megbetegíthetik a gazdaszervezetet, amennyiben a normál körülmények között számukra hozzáférhetetlen szövetekbe jutnak. A szájüregből a különböző szövetekbe jutó baktériumok (pl. műtéti sebekben keresztül) tályogokat hozhatnak létre. Ezek a fertőzések rendszerint vegyesek, amelyekben gyakran az anaerob mikrobák nagyobb mértékben vannak jelen. Foghúzást követően az orális streptococcusok a véráramba jutnak, az előzetesen reumás láz miatt sérült szívbillentyűkön megtapadva subacut bakteriális endocarditist hoznak létre. Trauma vagy szájsebészeti beavatkozás után a szájüregben jelen levő *Actinomyces* fajok endogén fertőzési forrásként szerepelnek.

A szájmikrobióta tagjai szerepet játszanak a dentál plakk, caries és a periodontális megbetegedések kialakulásában. A dentál plakk a fogfelszínhez tapadó anyagot jelenti, egy biofilm, amely főként baktériumsejtekből (60-70%), nyál eredetű polimerekből és bakteriális extracelluláris termékekből áll. A plakk baktériumsejt-tartalma megközelítőleg 10^{11} mikroorganizmus/g. A legjelentősebb képviselők a *Streptococcus mutans* és *S. sanguis*. A plakk-képzésben a baktériumoknak nemcsak a fogfelülethez, hanem egymáshoz való tapadása is fontos szerepet játszik. A *S. mutans* számos törzse dextrán jelenlétében agglutinálódik. Az agglutináció *Actinomyces viscosus* vagy *Candida albicans* hatására is létrejöhet. Az étkezési szénhidrátok közül a szacharóz játssza a legnagyobb szerepet a caries kialaku-

lásában. A táplálkozási szénhidrát csökkenése a *S. mutans* csíraszámának és a caries előfordulásának a csökkentését eredményezi. A *S. mutans* fogakon történő megtelepedéséhez bizonyos csíraszám szükséges, és a telepkezését a szacharóz jelenléte jelentősen elősegíti.

3.4.4. A gyomor és vékonybél biótája

A gyomor kevés mikroorganizmust tartalmaz ($10^3/\text{ml}$), ezek savtűrő lactobacillusok. A gyomornedv savas vegyhatása miatt a táplálékkal vagy nyállal bejutó mikroorganizmusok nagy része elpusztul. A gyomor nyálkahártyáját kolonizálhatja egy patogén baktérium, a *Helicobacter pylori*, az a baktérium, amely az arra érzékeny egyéneknél gyomorhurut, fekély vagy akár gyomorrák kialakulását is okozhatja. A bakteriális kolonizációt követően a kórokozó anyagcseretermékei és a gazdaszervezet válaszreakciója együttesen idézik elő a gyomornyálkahártya gyulladós folyamatát, a szöveti károsodást, majd a gyomorfekély kialakulását.

A vékonybél kezdeti szakaszában 10^5 - $10^7/\text{ml}$ baktérium található, túlnyomórészt Gram-pozitív baktériumok: *Lactobacillus* fajok és *Enterococcus faecalis*. A vékonybél végső szakaszában a baktériumok száma magasabb (10^8), megjelennek a Gram-negatív baktériumok is (enterobaktériumok, *Bacteroides* fajok).

3.4.5. A vastagbél normál biótája

A vastagbélben a baktériumok száma $10^{11}/\text{ml}$. A mikrobióta alkotásában részt vesznek enterobaktériumok, elsősorban *Escherichia coli*, enterococcusok, lactobacillusok, de a legnagyobb számban jelen levő baktériumok az anaerobok, főként *Bacteroides* fajok, ezenkívül a *Bifidobacterium* és *Clostridium* fajok.

Az emberi vastagbél mikrobiótát alkotó baktériumok: *Bacteroides fragilis*, *B. melaninogenicus*, *B. oralis*, *Lactobacillus* sp., *Clostridium perfringens*, *C. septicum*, *C. tetani*, *Bifidobacterium bifidum*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *S. typhi*, *Klebsiella* sp., *Enterobacter* sp., *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Peptostreptococcus* sp., *Peptococcus* sp., metanogén baktériumok.

Születéskor a béltraktus steril. A baktériumok a táplálékkal jutnak be. Az anyatejes csecsemőknél a bifidobaktériumok a teljes mikrobióta 90%-át teszik ki, rendszerint jelen vannak enterobaktériumok és enterococcusok, de kis számban.

A *Bacteroides*, *Staphylococcus*, *Clostridium* és *Lactobacillus* fajok gyakorlatilag hiányoznak. Nem anyatejjel táplált csecsemőknél a bifidobaktériumok kisebb számban vannak jelen, túlsúlyban vannak a *Lactobacillus acidophilus*, az enterobaktériumok, az enterococcusok és az anaerob baktériumok, köztük a *Clostridium* fajok is. Az anyatej valószínűleg olyan növekedési faktorokat tartalmaz, amelyek

a bifidobaktériumok szaporodását elősegítik, ezek a baktériumok fontos szerepet játszanak a patogénekkal való kolonizáció meggátolásában.

A bélben jelen levő mikrobióta összetétele más a nyálkahártyán és a lumenben. A baktériumoknak a nyálkahártyához való tapadását specifikus és nem specifikus adhéziós tényezők biztosítják (fimbriák, tok, LPS).

A bélbióta szerepe sokrétű. A tápcsatornában található baktériumok szerepet játszanak a tápanyagok lebontásában, az epesavak átalakításában. A bélbióta egyes tagjai vitaminokat termelnek (B1-, B2-, B6-, B12- és K-vitamin). A bélmikrobióta tagjai a gáz halmazállapotú anyagcsere-végtermékek (pl. CO_2 , CH_4 , H_2) előállításával hozzájárulnak a normális perisztaltika fenntartásához. A nyálkahártyához tapadó baktériumok által létrehozott biofilm mechanikusan gátolja más baktériumok tapadását. A bélbióta baktériumai folyamatos antigéningert jelentenek a szervezet számára.

A bélben zajló mikrobiális fermentációs folyamatok eredményeként a szerves savak mellett szén-dioxid és hidrogén is keletkezik. Az emberi populáció több mint harmadának a bélmikrobiótájában metanogén ősbaktériumok is előfordulnak, amelyek a gáz halmazállapotú fermentációs anyagcsere-végtermékek felhasználásával állítanak elő metánt. Emellett egyes jellegzetes szagú anyagcsere-végtermékek (pl. H_2S , NH_3 , aminok, indol, szkatol, vajsav) képződése is a bélmikrobióta anyagcsere-tevékenységének eredménye. A keletkező anyagcsere-termékek típusa és mennyisége a mikrobióta összetételétől és a gazda táplálkozási szokásaitól függően is változó. Az emberi bélben élő mikroorganizmusok, például a *Bacteroides* nemzetség tagjai nagy számban termelnek olyan enzimeket, melyek segítségével a táplálkozás során felvett összetett szénhidrátok először monoszacharidokká, majd fermentációs végtermékekké alakulnak. A bélmikrobióta tagjai a gazdaszervezet nitrogén-anyagcseréjében is részt vesznek. Például a lizinnek egy részét a táplálékkal magunkhoz vesszük, termelésükhöz a bélben élő mikroorganizmusok is hozzájárulnak. A gyomor és bélrendszeren áthaladó táplálék nedvességtartalma a felszívódás hatására fokozatosan csökken, míg végül az emésztetlen maradék székletté alakul. A széklet nedves tömegének közel egyharmadát teszik ki a baktériumok.

3.4.6. A húgyutak normál mikrobiótája

Egészséges felnőtt emberben a vese és a húgyhólyag steril. Normális körülmények között a húgyutak sterilek, csak az elülső húgycső rendelkezik rezidens baktériumbiótával. Kolonizáló baktériumok: *Staphylococcus epidermidis*, *Enterococcus faecalis*, a hemolizáló streptococcusok, kisebb számban enterobaktériumok, corynebaktériumok. Különböző gyakorisággal fordulnak elő mycoplasmák, ureaplasmák.

Kis számban patogén baktériumok (*Escherichia coli* és *Proteus mirabilis*) is jelen lehetnek, melyek a húgycsőben a környezeti feltételek (pl. a pH értékének) megváltozásakor elszaporodhatnak, és kórokozóvá válhatnak.

4. VÍRUSTAN

A vírustan (viroológia) a vírusok tanulmányozásával és kutatásával foglalkozó tudomány. A vírus szó eredeti jelentése méreg. A görögök víruson olyan állati vagy növényi eredetű anyagokat értettek, melyek mérgezőek az emberi szervezetre nézve. Később a vírus szó jelentése kiszélesedett, így a 19. században vírusrak tartottak minden olyan tényezőt, amely betegséget okoz (pl. a kígyóméreg, növényi eredetű mérgek), és a ragályos betegségek okozóit is. Pasteur idejében vírus volt a kórokozó baktériumok elnevezése. Napjainkban a vírusokon olyan biológiai tárgyakat (entitásokat) értünk, amelyek fertőzőek, és jelentős mértékben különböznek a baktériumoktól.

Ivanovszkij (1892) orosz kutató kísérletei voltak az elsők, amelyek bebizonyították, hogy a baktériumoknál sokkal kisebb, fénymikroszkóppal nem látható kórokozók is léteznek, és ez a felismerés alapozta meg a víruskutatást. Mozaikbeteg dohánynövényekkel kísérletezett. A beteg növények levelét szétzúzta, és az így kapott nedvet olyan szűrőkön szűrte át, amelyek visszatartják a baktériumokat. Az így nyert szűrlettel egészséges dohánynövényeket fertőzött meg. A szűrlettel fertőzött növények megbetegedtek. Ha a szűrletet húslé táptalajba oltotta, ez a táptalaj nem zavarosodott meg, jelezvén, hogy nincs baktériumszaporodás.

1885-ben Pasteur sikeresen alkalmazta a veszettség elleni védőoltást, anélkül, hogy ismerte volna a betegség virotikus jellegét. 1907-ben Loeffler és Frosch felfedezték az első zoopatogén vírust, a száj és körömfájás kórokozóját. Ellermann és Bang (1908), valamint Roux (1911) nevéhez fűződik az első daganatvírusok felfedezése. Twort (1915) és d'Herelle (1917) fedezték fel a bakteriofágokat. Stanley 1935-ben előállítja a dohánymozaik-vírust kristályos formában.

4.1. A vírusok kutatásának gyakorlati és elméleti jelentősége

A vírusok közegészségtani jelentősége az általuk okozott betegségek miatt nagy, ezért a víruskutatás egyik fontos gyakorlati jelentősége a vírusbetegségek diagnosztikája. Napjainkban az emberek fertőző betegségeinek felét vírusok idézik elő. A vírusok okozta betegségek nagyobb arányban váltanak ki munkaképtelenséget, mint a baktériumok okozta betegségek. Egyes vírusok súlyos betegségeket okoznak, mint például a veszettség, az AIDS, a járványos gyermekbénulás, a járványos májgyulladás, az agyhártyagyulladás, de vannak enyhe lefutású betegségek is, mint például a nátha, a bárányhimlő. Az állatok vírusos megbetegedései, mint amilyen a száj- és körömfájás, a szarvasmarhapestis, madárpestis, jelentős gazda-

sági károkat idéznek elő. A fágok is okozhatnak gazdasági károkat, ha például az iparban használt baktériumokat (így tejsavbaktériumokat) támadnak meg.

A szövettényésztési módszerek új vírusok felfedezését és vírusbetegségek diagnosztizálását tették lehetővé. Mivel a vírusok nagy része a fertőzött sejtekben fénymikroszkóppal jól látható degeneratív elváltozásokat idéz elő, így a szövettényészeteken a vírusok jelenléte közvetve kimutatható.

A vírusok tanulmányozásának másik gyakorlati jelentősége a vírusellenes oltóanyagok (vakcinák) előállításával kapcsolatos. 1953-ban Salk kidolgozta a gyermekbénulás elleni inaktivált oltóanyagot (IPV), 1954-ben Sabin pedig az orálisan alkalmazható, élő, attenuált vírust tartalmazó poliovakcinát (OPV).

Elméleti jelentősége a víruskutatásoknak az, hogy hozzájárul más tudományágak fejlődéséhez (pl. a reverz transzkriptáz felfedezése). A molekuláris virológia a sejt- és víruskölcsönhatást molekuláris szinten tanulmányozza. Ugyanakkor szintén fontos a megfertőzött „makroorganizmus” reakcióinak vizsgálata.

4.2. A vírusok alapvető tulajdonságai

- a) Kis méret. A vírusok kisebbek, mint a baktériumok, méretük: 10-400 nm.
- b) A sejt szerkezet hiánya.
- c) Az örökítő anyag csak egyfajta nukleinsav lehet: DNS vagy RNS.
- d) Önálló anyagcsere hiánya.
- e) Obligát sejtparaziták.

4.3. A vírusok megjelenési formái

- a) **virion**: érett fertőző vírus.
- b) **vegetatív vírus**: a gazdasejtbe bejutó replikálódó vírusgenom.
- c) **provírus**: a gazdasejt genomjába beépült vírusgenom.

4.4. A vírust meghatározó kritériumok

1. a virion csak egyféle nukleinsavat tartalmaz.
2. a virion replikációját (szaporodását) a nukleinsavában foglalt genetikai információ irányítja a fogékony sejtben belül.
3. a virion nem képes nőni és osztódással szaporodni.

4. a vírusoknak nincs olyan enzimük, amely átalakítaná a táplálék potenciális energiáját olyan nagy energiájú kötéseké, amelyek szükségesek a biológiai szintézishez.
5. a vírusok szaporodásukhoz igénybe veszik gazdasejtjeik riboszómáit (abszolút parazitizmus).

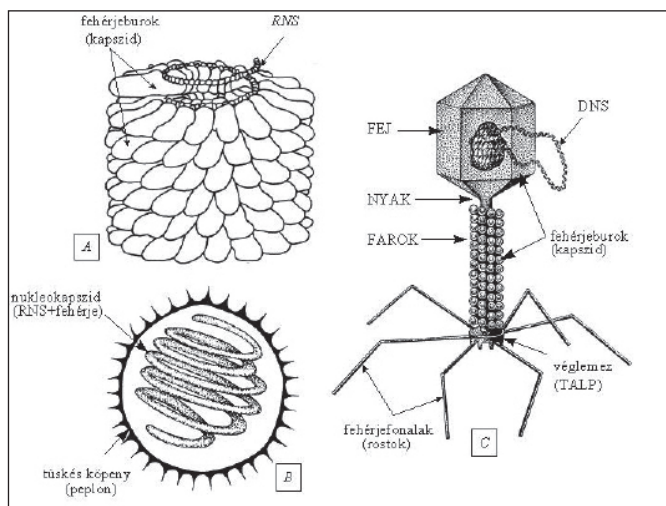
4.5. A vírusok eredete

A két legvalószínűbb hipotézis szerint:

1. a vírusok degenerált sejtek vagy sejtmaradványok, amelyek úgy alakultak ki, hogy a sejtek sorozatos mutációk során elveszítették enzimrendszerüket, és ezáltal függő viszonyba kerültek más gazdasejt enzimrendszerével.

2. a vírusok önállósult nukleinsavszakaszok, amelyek önállósulva képesek a sejten kívül is fennmaradni. Eszerint a különböző vírusok különböző sejtstruktúrákból (mitokondrium, riboszóma) származhatnak.

4.6. A virion alkotóelemei



4.1. ábra. A vírusok felépítése. A: dohánymozaik-vírus, B: influenzavírus, C: bakteriofág
(<http://mokka.hu/drupal/node/2211>)

A virion két fő alkotóelemből áll: a vírusgenomból (nukleinsavból) és a köpenyfehérjéből. A burkot alkotó köpenyfehérje a kapszid, amely morfológiai alegységekből, kapszoméerekből épül fel (4.1. ábra). Egy adott vírus esetében a kapszoméerek száma állandó. A nukleinsav és a hozzá szerkezetileg kapcsolódó burokfehérjék képezik a nukleokapszidot. Egyes vírusoknál a nukleokapszidot egy sejteredetű külső burok (peplon) veszi körül, amely kettős lipidrétegből áll, amelybe vírusspecifikus fehérjék, glikoproteinek épülnek be. A peplon főleg az állati vírusoknál van jelen, ritkábban fordul elő a növényi vírusoknál és a bakteriofágoknál.

4.7. A vírusok csoportosítása szerkezetük és szimmetriaviszonyuk alapján

Helikális vírusok

A köpenyfehérje-alegységek csavarvonal (helix) mentén elsődlegesen hossztengegy körüli szimmetriával helyezkednek el. Az így felépült nukleokapszidszálból egy csőszerű szerkezet jön létre. A dohánymozsai vírus pálca alakú (4.1. A. ábra), és van olyan helikális vírus is, amely gömb alakú (influenzavírus) (4.1. B. ábra). Ebben az esetben a nukleokapszidszál másodlagos csavarulatok révén gömb alakot vesz fel.

Kubikális vírusok

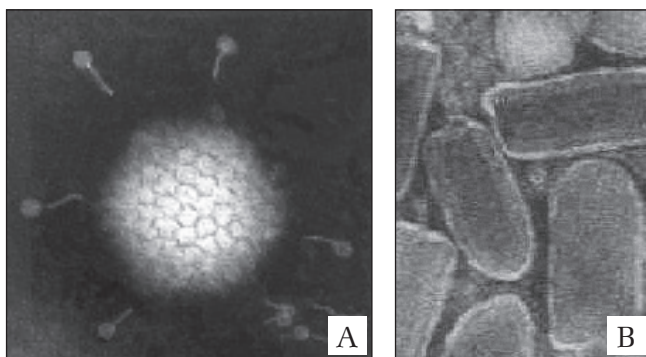
A köpenyfehérje-alegységek egy szabályos kristályrendszer szerint rendeződnek. A kapszomerek öt vagy hat szerkezeti egységből állhatnak, és a víruskapszidban öt vagy hat legközelebbi szomszédjuk van. E vírusok nagy része ikozaéder alakú (20 egyenlő oldalú háromszögű lap által határolt test). Kubikális vírusok például a *Parvovírusok*, a *Picornavírusok* és az *Adenovírusok* (4.2. A. ábra).

Binális vírusok

A helikális és a kubikális szerkezet a bakteriofágok esetében kombinálódik (4.1. C. ábra). A fejrész izometrikus, a fark pedig helikális szerkezetű fehérjecső, amely spirális lefutású molekulaláncból épül fel. Kisebb binális vírusoknál egy farkvégi tapadófonál van, míg a nagyobb, komplexebb vírusoknál hat kontraktilis fehérjéből álló fonál biztosítja a gazdasejthez való kötődést és a nukleinsav sejtbe juttatását.

Komplex struktúrájú vírusok

Mindazon vírusok, amelyek nem felelnek meg az előbbi három csoport szimmetriaviszonyainak. Például a *Poxvírusok*, melyek esetében a tojásdad alakú viri-



4. 2. ábra. *Adenovírus (A)*, *Rhabdovírus (B)*
 (<http://virology-online.com/viruses/adeno.gif>, <http://virology-online.com/viruses/Rhabdoviruses.htm>)

onok felszínét vastag, főleg fehérjékből álló réteg veszi körül, amit még egy burok is borít. Ebből gyakran szabályos elrendeződésben kitüremkedések állnak ki.

A virionok gyakran, legtöbbször a külső burok miatt gömb alakúak. A kubi-kális és helikális formán belül lehetnek még ovoidok (pl. *Poxvírus*), pleomorfo-k (pl. *Coronavírus*), szferikusak (pl. *Orthomyxovírusok*, *Retrovírusok*) és bacillusfor-májúak is (pl. *Rhabdovírusok*) (4.2. B. ábra).

4.8. A virionok molekuláris felépítése

Vírusnukleinsav

A vírusok csak egyfajta nukleinsavat, vagy DNS-t, vagy RNS-t tartalmaznak. A vírusgenom lehet:

- egyszálú (ss, single stranded) vagy kétszálú (ds, double stranded),
- lineáris vagy cirkuláris,
- egy darabból álló (nonsegmented) vagy több darabból álló (segmented),
- osztatlan vagy osztott (többkomponensű),
- pozitív vagy negatív polaritású (a pozitív polaritású szál önmagában fertő-ző, a fertőzött gazdasejtben azonnal mRNS-ként működik. A negatív polaritású szárról előzetesen egy komplementer pozitív szálat kell képeznie a vírusnak a szaporodáshoz).

A genom mérete és bázisösszetétele határozza meg a vírus aminosav-kódoló kapacitását.

A nukleinsav típusa, a szál milyensége és annak molekulatömege képezi egy vírus víruscsaládba való besorolásának egyik fő kritériumát. Minden egyes vírus nukleinsavának nukleotid szekvenciája, összetétele jellegzetes. A vírusnukleinsav jellemzésére használható a guanin/citozin (G/C) arány.

Fehérjék

A vírusfehérjék szerkezeti fehérjék és vírusspecifikus enzimek lehetnek.

A szerkezeti fehérjék funkciói:

- a vírusgenom egyik sejtől a másik sejtbe való átjutását biztosítják,
- a vírusgenom védelmét szolgálják a nukleázokkal szemben,
- a víruspartikula fogékony sejthez való kötődésében vesznek részt,
- a virion strukturális szimmetriáját adják.

A belső (core) fehérjék a nukleinsavhoz kapcsolódnak, illetve a virion saját enzimeit. A fehérjék határozzák meg a vírus antigénjeit. A szaporodási ciklusban való megjelenésük, szerepük szerint a fehérjék feloszthatók korai fehérjékre, prekursor fehérjékre és késői fehérjékre.

Egyes vírusok enzimekkel rendelkeznek, ezek lehetnek:

- replikációhoz esszenciális nukleinsav polimerázok, nukleázok és ligázok.
- a replikációhoz nem feltétlenül szükséges kinázok, dehidrogenázok, foszfatázok és neuraminidáz.

A binális fágoknál a virion lizozim enzimje oldja fel a baktérium sejtfalát, elősegítve a sejt fertőzését.

Lipidek

A vírus érése során, amikor a nukleokapszid a sejtmembránnal körülhatárolódik és lefűződik, kerül lipid a vírusba. A foszfo- és glikolipidek, neutrális zsírok előfordulását mindig a sejtmembrán jellegzetessége határozza meg, amiből kialakul a vírus külső burka. A lipidtartalmú vírusok érzékenyek étterrel és szerves oldószerekkel szemben, hatásukra elveszítik fertőzőképességüket.

Szénhidrátok

A peplon glikoproteineket is tartalmaz, melyeket a vírus kódol. Szerepük van a vírus sejtreceptorokhoz való kötődésében, vírusantigének, neutralizációs antitestekkel kötődnek.

4.9. A vírusok tenyésztése

A vírusok csak élő, fogékony sejtben képesek szaporodni. A vírus gazdaspecificitása, szervspecificitása, a sejt, a szerv és az élőlény kora befolyásolja a vírus szaporodását.

4.9.1. Állati vírusok szaporítása

A tenyésztésre használt állat faját aszerint válogatják meg, hogy milyen vírussal dolgoznak, ugyanis minden vírusfajnak van gazdaspecificitása, vagyis olyan gazdaszervezete, amelynek sejtjeiben szaporodni képes, míg más állatfajok sejtjei nem fogékonyak az illető vírus iránt. Az állat kora is lényeges lehet. Egyes vírusok csak újszülött állatban, mások csak szopós egerekben képesek szaporodni. Egyes vírusoknak sok esetben szervspecifitásuk van, és nem megfelelő helyre oltva nem jutnak el a fogékony szerv sejtjeihez. A beoltott vírus szaporodását az állatokon kifejlődő kóros tünetek és patológiai elváltozások jelzik. Morfológiai (citopatogén) változások a sejtlyzisz, sejtnekrozisz, sejtfüzió, zárványtestek, vakuolizáció, apoptózis; a malignus transzformáció és a sejtburjánzás.

A gerinces állatok és az ember vírusainak tenyésztésére számos emlősállatot és szárnyast használhatunk. Ezek lehetnek szokványos laboratóriumi állatok (például egér, nyúl, tengerimalac, patkány, hörcsög, csirke), de egyes vírusokhoz különleges állatfajok használhatók (például vadászgörény, majom, különleges madarak). Az emlősök és a szárnyasok vírusai közül több faj tenyészthető fejlődő csirkeembrióban. A tenyésztésre 5-14 napos előkeltetett tyúktojást vagy más szárnyastojást (például kacsá, fűrj) használnak. A tojás nem tartalmazhat vírusokat és baktériumokat. A vírusok tenyésztésére sejt- és szövettenyészeteket is alkalmaznak. A gerinctelenek vírusait megfelelő ízeltlábúakban tenyésztik.

4.9.2. Növényi vírusok tenyésztése

A növényi vírusok tenyésztése történhet a gazdanövény mechanikus fertőzésével és szövettenyészetek alkalmazásával. A fertőzést követően lokális (szövetelhalás, klorotikus elszíneződés, torz növekedés) és/vagy szisztémás tünetek (sárgulás, gyűrűfoltosság, érkivilágosodás, levélhólyagosodás) alakulnak ki. Mikroszimptomás tünetek a zárványok, a kloroplasztisz-károsodás és az abnormális szövetelemek kialakulása.

4.9.3. A bakteriofágok tenyésztése

A bakteriofágok tenyésztése érzékeny baktériumok fiatal, aktívan szaporodó sejtjeiben történik. A litikus fágok hatására a levestenyészet feltisztul, tápagon lévő sűrű baktériumtenyészetben a vírusszaporodás következtében tarfoltok, plakok alakulnak ki.

4.10. A vírusok szaporodása (vírusreplikáció)

A vírusok szaporodása élő fogékony sejtben zajlik, mely megváltoztatja a sejt tevékenységét. A sejt a saját anyagainak előállítására helyett a vírusalkotórészek szintézisére áll át. A vírusszaporodási folyamat különböző szakaszokra oszlik: adszorbció, penetráció, dekapcidáció, eklipszis, morfogenezis, kiszabadulás (4.3. ábra).

Megtapadás – Adszorbció

A vírus–sejt kapcsolat első lépése. A sejt membránján lévő receptorokhoz kötődik a vírus. A receptorok szintézisét a sejtgenom határozza meg. Az a sejt, illetve szerkezet, amely nem tartalmaz fajlagos receptorokat egy adott vírus számára, ellenáll az illető vírussal szemben. Az adszorbció létrejöttéhez két tényező szükséges: vírusspecifikus sejtreceptorok a gazdasejt felszínén, és specifikus vírusfehérjék jelenléte a virion felszínén.

A növényi sejttel nem tartalmaz vírusreceptorokat, a növénypatogén vírusok megtapadásához előfeltétel a sejttel mechanikai sérülése.

A humán- és állatpatogén vírusok kapszidján olyan szerkezetek találhatóak, melyek képesek a sejtek felszínén lévő receptorokhoz kötődni. A Ca- és Mg-ionok elősegítik a folyamatot.

A sejt típusa, kora, anyagcseréje, valamint környezete befolyásolja a víruskötőhelyek számát és hozzáférhetőségét.

A baktériumok fágkötő receptorai a sejttalban találhatóak. A Gram-negatív baktériumok esetében lipopoliszacharid természetűek, a Gram-pozitív baktériumoknál mureinhez kötött teichoinsavakból állnak. A fágok a farkostojtjaikkal és alaplapjukkal, illetve poliszacharidáz enzim segítségével valószínűleg meg a kötődést a baktériumsejt receptoraihoz.

Bejutás – penetráció

A növénypatogén vírusok esetében a teljes virion hatol be a növényi gazdasejtbe a sejttal mechanikai sérülése mentén, amit az ízeltlábúak szúrásai, a jégverés és a növényápolási munkálatok okoznak.

A humán- és állatpatogén vírusok behatolása két mechanizmus révén valósul meg: endocitózis és sejtfúzió.

Az endocitózis során a gazdasejt membránja betüremkedik, és bekebelezi a viriont, mely egy vakuólába jut. A vírus bekebelezése után helyreáll a sejthártya épsége. A penetrációnak ezt a formáját viropexisnek is nevezik.

A sejtfúzió során a vírusburok (peplon) fuzionál a sejtmembránnal, egy csatorna képződik, amelyen át a vírus bejut a citoplazmába.

A bakteriofágok esetében a kontraktilis fehérjetek összehúzódnak, a fág belöveli a nukleinsavat a baktériumsejtbe. Az injekció során a fág kapszidja kívül marad, ezért ebben az esetben a penetráció és a dekapcidáció egyetlen lépésben zajlik.

A behatolás a baktériumpiluson keresztül is megvalósulhat a konjugáció során.

Dekapszidáció

A sejtbe való bejutáskor elveszítik a burkot vagy a kapszidot, ami megtörténhet már a sejtmembrán felületén. A sejtbe jutott vírusrészecskéből kiszabadul a nukleinsav. Egyes esetekben a kapszid eljut a nukleáris pórusokhoz és kiszabadul a DNS.

A kapszidfehérjéket a sejt saját enzimejei, főleg a lizoszómákból származók emésztik le. A Poxvírusok maguk is kódolnak dekaposzidációt befejező litikus enzimeket.

A vírusreplikáció eddigi lépéseinek csekély a hatékonysága. Az adszorbeálódott vírusok egy része nem is jut a sejtbe, a bejutó genomok enzimatikusan károsodhatnak.

Eklipsz fázis

Az eklipsz fázis a vírusszaporodás szintetikus szakasza. Sötét szakasznak is nevezik, mert a virion a sejtben semmiféle módszerrel nem mutatható ki. Ez a fázis a dekaposzidációtól az új vírusrészecskék megjelenéséig tart. Ebben a fázisban valósul meg a vírusfehérjék szintézise a gazdasejt fehérjeszintetizáló rendszerével, valamint ekkor alakul ki a vírusokra jellemző genom sejten belüli szaporodásának helye.

Az eklipszis korai szakaszában a vírusnukleinsav megfelelő szekvenciái átíródnak mRNS-re (transzkripció). A transzkripció által átírt mRNS translációja a gazdasejt riboszómáin történik, amelynek eredményeképpen megjelennek az első vírusspecifikus fehérjék, a **korai fehérjék**.

A korai fehérjék nem épülnek be a később képződő új virionokba. Működésük szerint egyrészt olyan enzimek, amelyek a vírus szaporodásához a továbbiakban feltétlenül szükségesek (például nukleinsav-polimerázok, melyek a vírus nukleinsavának replikációját segítik), másrészt pedig represszorok (olyan fehérjék, amelyek elnyomják a sejt eredeti anyagcsere-tevékenységét).

A korai fehérjék megjelenésével az eklipsz fázis korai szakasza befejeződik, és megkezdődik az új virion nukleinsavának másolata az eredeti nukleinsavról, a korai fehérjék között szereplő polimerázok közreműködésével, vagyis megtörténik a vírus nukleinsav-replikációja.

A következő lépés az új vírusnukleinsavak transzkripciója mRNS-re, és a sejttriboszómákon a **késői fehérjék** szintézise. A késői fehérjék olyan vírusspecifikus molekulák, amelyek az újonnan képződő virionoknak lesznek alkotórészei: kapszid és belső fehérjék.

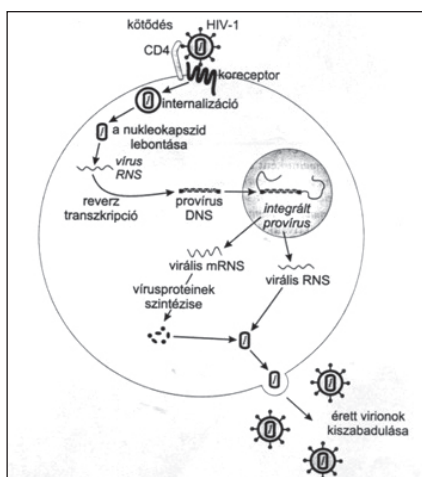
Morfogenezis

Az újonnan szintetizálódott vírusgenomok és struktúrfehérjék komplett vírusrészecskévé épülnek össze. A vírusérés (maturáció) során konformációs és strukturális változások történnek a kapszidfehérjékben, a nukleoproteinek a genommal kondenzálódnak. A vírus ebben a lépésben válik fertőzővé. A vírusérés a peplonnal rendelkező vírusoknál csak a sejtmembránon való kitüremkedéssel ér véget.

Kiszabadulás

A kiszabadulás rendszerint a fertőzött sejtek szétesésével jár, de sok esetben a sejtek csak fokozatosan pusztulnak el, vagy akár hosszú ideig túlélhetik a fertőzést. A vírus érési ideje és a sejtől való kiszabadulásának a kezdete a fertőzéstől számítva általában eltérő a különböző vírusoknál, és jellemző az egyes családokra.

Egy-egy fertőzött sejtben a körülményektől és a vírustól függően több ezer, több tízezer, esetleg százezres nagyságrendű új virion is képződhet a virionná össze nem épülő, feleslegben termelt vírusalkotórészek mellett.



4.3. ábra. A vírusok szaporodásának vázlatja
(<http://cyberpress.sopron.hu/article.php?id=6464>)

4.11. Vírusinterferencia

A vírusinterferencia az a jelenség, amikor valamely vírus bejutása a sejtbe megakadályozza ugyanennek a sejtnek egy másik vírussal való fertőződését.

Ez lehetséges:

- ugyanazon vírus különböző változatai,
- ugyanazon vírus élő és inaktivált formái és
- különböző vírushajtók között.

A vírusinterferencia független a specifikus immunitástól, és nem mindenfajta víruskombináció esetében jelentkezik.

Több módon is kialakulhat:

1. ha két vírusnak hasonlóak a sejt felszíni receptorai, egymás kötődését akadályozhatják (pl. retrovírusok, enterovírusok);
2. az adszorbeiót a receptor elbontásával teszik hatástalanná (pl. orthomyxovírus);
3. az egyik vírus gátolhatja a másik valamely fontos enzimjét;
4. az első vírusfertőzés hatására a sejt inhibítort (interferont) is termelhet.

Autointerferencia esetén a vírus saját szaporodását akadályozza. Ebben az esetben a komplett virionok helyett defektív interferáló víruspartikulák képződnek, amelyek önmagukban szaporodni képtelenek. Az autointerferencia számos vírussal előfordul (pl. influenzavírus), és főleg abban az esetben, ha jelentős vírusemennyiséggel történik a fertőzés.

Vírusexaltáció esetén két vírus egymásnak kölcsönösen kedvezőbb feltételeket teremthet a sejtbe való bejutásra és szaporodásra. Például a gyengített poliovírus és bizonyos Coxsackie-vírusok külön-külön nem okoznak betegséget a majmoknál, viszont együttes fertőzés esetén bénulást váltanak ki.

4.12. A vírusok genetikája

4.12.1. Mutáció

A vírusnukleinsavban történő változás a vírusszám által kódolt fehérje megváltozását jelenti. Spontán mutációk a vírusokban is 10^{-5} - 10^{-6} gyakorisággal fordulnak elő. Mutáció során sok esetben a vírus számára nem hasznosítható tulajdonság jön létre. A mutációk gyakoriságát indukált és célzott mutációk segítségével jelentősen növelni lehet.

Indukált mutációk során használt sugárzás (UV, röntgen) vagy kémiai mutagének *in vitro* reagálnak a vírusnukleinsavval, vagy a sejtben replikálódó vírusra hatnak. A molekuláris mechanizmus alapján lehetnek bázisanalogok, módosíthatják a bázisok kémiai szerkezetét, eltávolíthatnak egyes bázisokat és új bázist is inszertálhatnak.

A molekuláris biológia újabb módszereivel célzott mutációk is kialakíthatók (például a restrikciós fragmentdeléziós módszer, az inszerciós és szubsztitúciós módszerek).

Ha stabil vírusanyagra van szükség (pl. oltóanyaggyártáshoz) akkor a tenyészet genetikai homogenitása egyetlen plakk, vagyis egyetlen fertőző virionból kiindulva biztosítható úgy, hogy ellenőrzött körülmények között szaporítjuk.

Vad-típusú vírus az az eredeti vírus, amelyből a mutánsok származnak, és amivel a mutánsokat összehasonlíthatjuk.

Primer izolátum a természetes gazdaszervezetből újonnan izolált vírus.

Defektív vírus az, amikor a vírusreplikációhoz szükséges egy vagy több funkcionális gén hiányzik a virionból.

A mutánsok felismerését az teszi lehetővé, hogy valamely fenotípusos tulajdonságuk eltérő a vad típusétól. A mutáció, a genotípusban bekövetkezett változás, esetenként a fenotípus megváltozásában is kifejezésre jut.

Plakk-típus mutáció

Megfelelő kísérleti körülmények között a vírusok a sejttenyészeteken nekrotikus foltokat – plakkokat hoznak létre, melyek átmérője, külleme nagyjából azonos. A mutáns által létrehozott plakk nagysága vagy egyéb tulajdonsága eltérő, ennek alapján a mutáns izolálható és tanulmányozható.

A mutációs kísérletek gyakorlati értékét jelenti a csökkent virulenciával rendelkező, attenuált mutánsok szelektálása vírusvakcinák nyerése céljából.

4.12.2. Rekombináció

Két különböző, de rokon vírus nukleinsavának kisebb-nagyobb szegmentumai kicserélődnek, melynek során a keletkező hibrid vírusok mindkét elődtől származó, új génkombinációt tartalmaznak. A jelenség előfordul kettősláncú DNS-t tartalmazó vírusok esetében, valamint szegmentált genomot tartalmazó vírusok esetén. Létrejöhethet nem rokon vírusok között, valamint a vírus-DNS, illetve a sejt-DNS között is.

Keresztreaktiválás során aktív (infektív) vírusba önmagában szaporodásra képtelen inaktivált vírus aktívan maradt génei épülnek be.

Többszöröségi reaktiválás során infektív virionok képződnek olyan sejtben, amelyet ugyanazon vírustörzsből származó két vagy több különböző letális mutánsal fertőztek. Így az épen maradt gének rekombinációjának eredményeként infektív virionok tudnak kialakulni.

4.12.3. Fenotípusos és genotípusos keveredés

Fenotípusos keveredés esetén, közös tulajdonságokkal rendelkező vírusokkal történt kettős fertőzés során, az utódvírusok mindkét előd fenotípusos tulajdonságait megszerzik, de genotípusuk érintetlen marad.

A peplonnal rendelkező vírusoknál az utódvírusok peplonja a mindkét vírusra jellemző antigéneket tartalmazza. A virionban csak az egyik szülői nukleinsav van jelen. Nincs változás a genomban, jellemző a gazdaspektrum változása és a rezisztencia a semlegesítő ellenanyagokkal szemben.

A peplonnal nem rendelkező vírusoknál a fenotípusos keveredést a transzkapszidáció jelensége mutatja. Ez a kapszid teljes vagy részleges cseréjét jelenti.

A genotípusos keveredés nem stabil genetikai változás, véletlenszerűen két különböző, komplett vírusgenom épül be egyetlen kapszidba. Egy adott víruspartikulából kétféle utódgeneráció származik.

4.12.4. Komplementáció és interdependencia

Ha kettősen vagy többszörösen fertőzött sejtenyészetekben a különböző vírusok génjeinek translációja során képződött anyagok (fehérjék, enzimek) olyan kölcsönhatásba lépnek, hogy az elősegíti az egyik vagy mindegyik vírus szaporodását, komplementációról beszélünk. Nincs nukleinsavcsere, hanem az egyik vírus olyan enzimet vagy más fehérjét kódol, amelyet a másik nem, de amely szükséges az utóbbi szaporodásához.

Az interdependencia egyes vírusok egyoldalú vagy kölcsönös függő viszonya. Bizonyos vírusok esetében szaporodásukhoz még egy másik vírus jelenléte is szükséges a sejtben, függenek a másik vírustól, azaz szatellitái más vírusoknak. A „helper”, „segítő” vírus ellenszolgáltatás nélkül gondoskodik egy vagy több enzimmről, amelyek a szaporodáshoz szükségesek.

4.13. A környezeti tényezők hatása a vírusokra

Fizikai tényezők

1. Hőmérséklet

A vírusok általában csak olyan hőmérsékleti értékeknél szaporodnak, amelyek azonosak vagy hasonlóak a gazdaszervezet optimális hőmérsékletével. A vírusok többsége elpusztul 60 °C-on 30 perc vagy 1 óra elteltével. A járványos májgyulladás vírusa képes ellenállni ezen a hőmérsékleten 4-10 órán át, viszont 30 perc alatt inaktiválódik 100 °C-on.

A hideggel szemben a vírusok ellenállóak, főleg liofilizált állapotban.

2. Nedvesség

Kiszáradva a legtöbb vírus elpusztul.

3. Sugárzások

Az ultraibolya és a gamma sugarak elpusztítják a vírusokat.

Kémiai tényezők

Különféle vegyi anyagok (fenol, savak és bázisok, klórvegyületek, oxidálószeresek, formaldehid), fertőtlenítőszeresek megfelelő mennyiségben inaktíválják és elpusztítják a vírusokat. Idetartoznak az antitestek és az interferon is. A peplonnal rendelkező vírusok érzékenyek a zsírolgó vegyületekkel szemben.

Vizekben és élelmiszerekben a vírusok hosszú ideig (3-10 hónapig) életben maradnak, és túlélhetik a tartósító eljárásokat is, mint a fagyasztást vagy az enyhébb hőkezelést.

4.14. A vírusok tropizmusa

A vírusok tropizmusának fogalmát az állatpatogén vírusokra vonatkozóan vezették be. Affinitást jelent bizonyos állatfajokhoz (genotropizmus), szövetekhez (hisztotropizmus) és a sejtekhez (citotropizmus). A veszettség vírusának a genotropizmusa tág, mivel az emberen kívül ez a vírus számos más állatot is megbetegíthet. Ezzel szemben a poliovírus tropizmusa nagyon szűk, mivel csak az emberre korlátozódik.

A hisztotropizmus szerint a vírusoknak több csoportját különböztetik meg:

1. dermatrop vírusok: a bőrt és a nyálkahártyákat támadják meg (például a himlővírus),
2. neurotrop vírusok (a veszettség vírusa),
3. pneumotrop vírusok (a grippavírus),
4. viszcerotrop vírusok: a belső szervekhez vonzódnak (a sárgaláz vírusa),
5. pantropimus esetén különböző szerveket támadnak meg (sertéspestisvírus).

4.15. A vírusok okozta kóros elváltozások

Növénypatogén vírusok által kiváltott elváltozások a klorózis, a nekrosis (szövetelhalás), a levelek különféle deformációi (rāncosodás, atrófia), a levelek összesodródása, a zárványtestek képződése a sejtekben és az antocián szintézisgátlás.

Az állatpatogén vírusok esetében a kóros elváltozások négyféle hatásra vezethetők vissza: citopatogén hatás, daganatkeltő hatás, zárványtestképző hatás, gyulladást kiváltó hatás.

A sejtbe bejutott vírus olyan változásokat vált ki, amelyek fénymikroszkóppal is megfigyelhetők:

- a sejtek összehúzódnak, legömbölyödnek, a citoplazma szemcsés szerkezetű lesz;
- a sejtek megnőnek, legömbölyödnek, és számos sejt csoportot képezve összetapad;
- a citoplazmában vakuólák képződnek;
- egyes sejtek soksejtmagvú óriássejteké alakulhatnak át;
- a sejtek elpusztulnak és lizálódnak, aminek eredményeképpen tarfoltok képződnek.

4.16. Bakteriofágok

A bakteriofágok a prokarióták (baktériumok) vírusai. A baktériumokban elszaporodva feloldják azokat (gör. phagein=elfogyasztani). Bakteriofágok jelenlétében a folyékony táptalaj feltisztul, szilárd táptalajon a baktériumtenyészetben tarfoltok jelennek meg.

A bakteriofágok nukleinsava lehet DNS vagy RNS, egyszálú vagy kétszálú. Egyes bakteriofágok külső burokkal, peplonnal is rendelkeznek, amelyben jelentős mennyiségű lipid található.

A bakteriofágok tudományos jelentősége nagy. A leginkább tanulmányozott fágok az *E. coli* T-sorozatú (T2, T4, T6) farkos fágjai. Ezek kétszálú DNS-t tartalmaznak, amely a fág kubikális fejében található, és amelyhez kontraktilis fark csatlakozik. A fark legvégén található alaplemezből nyúlványok eredhetnek.

Szaporodásuk módja szerint a fágok lehetnek litikus fágok és temperált fágok.

A **litikus fágok** a szaporodásuk során nagyszámú új fágot produkálva megölik, feloldják a gazdasejtet.

A **temperált fágok** nem minden esetben okozzák a gazdabaktérium pusztulását, hanem nem litikus profág formájában is létezhetnek. A fág nukleinsav beépül a gazdasejt nukleinsavába.

A profágot hordozó baktériumsejtekben a fág replikációját egy represszor jellegű fehérje gátolja (lizogén állapot).

A fággenom magával vihet kromoszómadarabokat a gazdasejtből, vagy fág-DNS-rész maradhat a baktériumban, a gazdasejt egyes tulajdonságainak megváltozását okozva. Például toxint nem termelő baktériumok toxintermelővé válhatnak, és megváltozhat egyes antibiotikumokra való érzékenységük (lizogén konverzió) is.

A bakteriofágok által közvetített nukleinsav-átvitelt transzdukciónak nevezik.

Egy bizonyos fág általában csak egy baktériumfajt fertőz (szigorú gazdaspecifitás jellemző).

4.17. A vírusok elnevezése és rendszerezése

A vírusok rendszerezése során a következő kritériumokat veszik figyelembe:

- a virion morfológiája,
- fiziko-kémiai tulajdonságok,
- vírusgenom,
- vírusfehérjék,
- genomszerveződés és replikáció,
- antigén tulajdonságok,
- biológiai tulajdonságok.

A vírusok rendszerezése a Nemzetközi Vírustaxonomiai Társaság (ICTV – International Committee on Taxonomy of Viruses) feladatkörébe tartozik.

A vírusrendszertanban használt nevezéktan:

virales → rend (például Nidovirales),

viridae → család (például Picornaviridae),

virinae → alcsalád (például Alphaherpesvirinae),

virus → nemzetség (például Enterovirus).

A vírusok hivatalos nemzetközi elnevezése az angol nevükhöz, illetve az ebből kialakított rövidítéshez igazodik, pl. a human herpesvirus HHV, a tobacco mosaic virus TMV.

A vírusokat alapvetően két csoportra osztjuk, annak megfelelően, hogy milyen nukleinsav található bennük: DNS- és RNS-vírusok.

4.17.1. DNS-tartalmú víruscsaládok

4.17.1.1. Adenovírusok

A virion szabályos ikozaéder alakú, a DNS kétszálú, lineáris. Az adenovírusok elsősorban a felső légutak, a kötőhártya és a vékonybél hámsejtjeit fertőzik meg. Jellemző a daganatkeltő hatás is.

4.17.1.2. Herpeszvírusok

A Herpes Simples Vírus (HSV)-1 és 2-es típusa emberekben gyakran okoz fertőzéseket. A primer fertőzés gyakran tünetmentes, amely után a vírusgenom az érzőidegdúcokban a gazdasejt DNS-be integrálva lappang. Az ép bőrt a HSV nem támadja meg, de az apró bőrsérülések már elegendőek a megtelepedéshez. Így alakul ki például az egészségügyi dolgozók herpeszes ujjgyulladás. A HSV a nem járványosan előforduló vírusos agyvelőgyulladások leggyakoribb kórokozója.

A Varicella Zoster Virus (VZV) a bárányhimlő és az övsömör kórokozója. A bárányhimlő a gyermekek igen fertőző betegsége. Az átvészelés tartós immuni-

tást hagy maga után. Felnőttkorban a vírus ritkán övsömört okoz, amely általában egy ideg lefutása mentén, a test egyik oldalán jelentkezik fájdalmas tünetekkel.

4.17.1.3. *Parvovírusok*

Humán- és állatpatogén vírusok. Kubikális szimmetriával rendelkeznek, a DNS egyszálú lineáris, hiányzik a peplon. Fertőzési tünetek az anémia, a bőrkiütések és az ízületi gyulladások.

4.17.1.3. *Poxvírusok*

A gerincesek vírusainak legkomplikáltabb összetételű képviselői. Nagyméretűek, már fénymikroszkóppal is észlelhetők. A poxvírusok által okozott legsúlyosabb betegség a fekete himlő. Egyes poxvírusok okozta fertőzések a bőrfekély és a bőrtumorok kiváltásában nyilvánulnak meg.

4.17.2. RNS-tartalmú víruscsaládok

4.17.2.1. *Coronavírusok*

Pleomorf, burokkal rendelkező vírusok. Az RNS-genom pozitív egyszálú. Az emberi coronavírusok kifejezett tropizmust mutatnak az emberi légúti és a tápcsatorna-nyálkahártya iránt. A felső légúti hurut (nátha) kórokozója. 2019 végén egy új coronavírus jelent meg, a SARS-CoV-2, amely a koronavírus-betegség (Covid 19) kórokozója.

4.17.2.2. *Orthomyxovírusok*

Külső burokkal rendelkező, gömb vagy hosszúkás alakú helikális vírusok. A vírus agglutinálja különböző emlős- és madárfajok vörösvértestjeit. Idetartozik az influenzavírus.

4.17.2.3. *Picornavírusok*

A gerincesek legkisebb RNS-vírusai. Idetartozik a száj- és körömfájás vírusa, mely sertések és szarvasmarhák betegségét okozza. Esetenként pusztulással is jár.

4.17.2.4. *Retrovírusok*

A virion belső fehérjei között szerepel az RNS-függő DNS-polimeráz (reverz transzkriptáz). Idetartoznak az RNS-tumorvírusok.

4.17.2.5. HIV (*Human Immunodeficiency Virus*)

A kórokozóknak a fertőzés biztos létrejöttéhez közvetlenül a vérkeringésbe kell jutniuk. Terjedésének három fő útja a nemi érintkezés, a vérinokuláció és a perinatalis átadás. Kivételes esetben a fertőzés nyállal, könnyel és anyatejjel terjedhet. A vírus fizikai és kémiai hatásokra érzékeny, vérsavóban 56 °C-on, 10 perc alatt inaktiválódik. Használati tárgyak, levegő, víz, élelmiszer közvetítésével a vírus nem terjed.

A vírusnak a celluláris immunválaszban szerepet játszó T4-limfocita populáció a támadáspontja, amelynek a vírusszaporodás következtében történő folyamatos pusztulása a sejt immunválasz-képesség csökkenéséhez, elégtelenségéhez vezet. Az immunrendszer összeomlása következményeként kialakuló különböző opportunista fertőzések és daganatos megbetegedések jellemzők a kórképre.

A HIV vírus a betegek véréből, nyirokcsomóiból, ondójából, nyálából kitevnyészthető, a T-sejtekben való szaporodását sokmagvú óriássejtképződés, sejt-pusztulás jelzi.

4.17.2.6. *Rhabdovírusok*

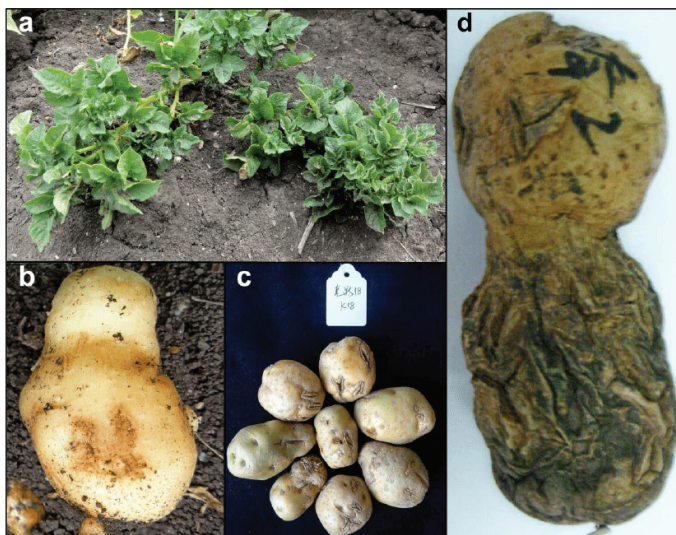
Lövedék alakú, egyik végükön lekerekített, másik végükön lapos vírusok. Növény-, állat- és emberpatogén vírusok tartoznak a csoporthoz. Legjelentősebb képviselője a veszettség vírusa. A melevérű állatok fogékonyak a fertőzésre, leggyakoribb fertőzési forrás a kutya, a róka és a macska, de más házi- és vadállatok veszettsége is előfordul. A kórokozó rendszerint veszett állat harapása útján, az állat nyálával terjed az emberre. A vírus a harapás helyéről az idegsejtek mentén jut el a központi idegrendszerbe. Jellemzőek az ovális eozinofil zárványok, a Negri-testek az idegsejtek plazmájában (legnagyobb számban a kisagy és a hipokampusz sejtjeiben). A heveny szakaszban fokozott izgatottság vagy depresszió és bénulásos tünetek jelentkeznek. Jellemző tünet a nyelőizmok fokozott görckészsége következtében kialakuló víziszony.

4.18. Szubvirális ágensek

4.18.1. Viroidok

A viroidok fehérjeburok nélküli nukleinsav-molekulák. Növényi kórokozók, például a *PSTVd* – potato spindle tuber viroid, az *ASSVd* – apple scar skin viroid, a *CCCVd* – coconut cadang-cadang viroid.

A sejtnag kromatinállományában található, egyedi mechanizmussal szaporodnak, a gazdasejt RNS-polimeráz II-át használják, obligát intracelluláris paraziták.



4.4. ábra. A PSTVd által fertőzött burgonya növény (a) és a gumókon megfigyelhető elváltozások (b, c, d)
(Qiu et al. 2016)



4.5. ábra. Viroidal [chrysanthemum stunt viroid (CSVd)] fertőzött és egészséges növény, valamint a fertőzött növény levelén megjelenő tünetek
(Matsushita 2013)

Egyszálú, cirkuláris RNS-molekulák (246–375 nukleotid), melyek intracelluláris bázispárosodás révén kétszálú, pálcaszerű szekunder szerkezetet vesznek fel. A viroidnak nincs virion fázisa, mégis szaporodó és fertőzőképes. Kontakt módon jutnak egyik növényegyedből a másikba. A viroid RNS semmiféle fehérjét nem kódol.

A viroidok okozta növényi betegségek általában törpenövésben, klorózisban, a növényi szervek deformálódásában nyilvánulnak meg (4.4. ábra, 4.5. ábra). A viroidok a megtámadott növények fehérjeszintézisét zavarják meg.

4.18.2. Prionok

A prion fehérjetermészetű, fertőző ágens (proteinaceous infectious agent). A prion fogalmát Prusiner vezette be 1982-ben.

A normális emberi és állati sejt kromoszómájában genetikailag kódolt prionfehérjék, a többi sejtfehérjéhez hasonlóan, a sejt transzkripció és transláció mechanizmusa által szintetizálódnak. Ezek a kis molekulatömegű prionfehérjék glikolizálódnak, majd glikolipid részükkel beágyazódnak a sejtmembránba, és feltehetőleg az idegsejtek membránjai közötti kapcsolatokban játszanak szerepet. Fiziológiás körülmények között a sejten belüli felhalmozódásuk nem figyelhető meg. A prionprotein génen is bekövetkezhetnek mutációk, melyek hatására az eredeti alfa-hélix szerkezeten belül béta-láncok alakulnak ki, aminek következtében a prionmolekula ellenáll a proteínáz enzimeknek, és fibrillumok formájában felhalmozódik a sejtben (4.6. ábra).

A kóros prionprotein képes áthatolni a sejtmembránon, és képes kapcsolatba lépni az egészséges sejt által termelt normál prionprotein-molekulákkal, melyeket saját mintájára átalakítja. A sejt „észleli” a normál prionprotein-molekulák hiányát, és igyekszik rögtön abból többet szintetizálni, de a kóros prionprotein hatására azok mind kórossá alakulnak, és a sejt elpusztul.

A prion nagymértékben ellenálló különböző környezeti hatásokkal szemben (hő, sugárzások, fertőtlenítőszeresek).

A prionok által létrehozott fertőzések jellemzői:

- néhány hónaptól évekig terjedő inkubációs szakasz;
- egyre súlyosbodó betegség;
- minden esetben halálos kimenetel;
- a károsodások az agyra korlátozódnak (spongiform átalakulás, neuronok számának csökkenése);
- gyulladásoz reakció nincs;
- immunválasz hiányzik;
- gyakran öröklődő, családi jellegűek.

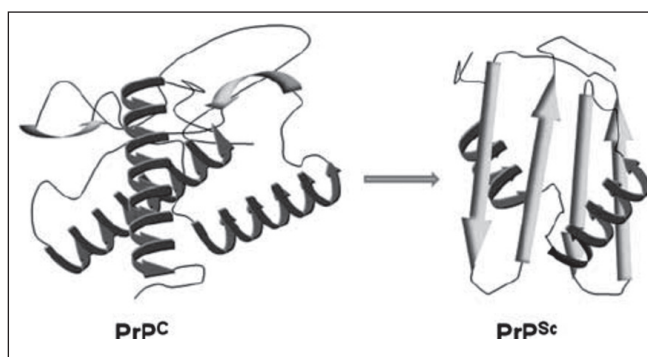
Az állati prionbetegségek közül régóta ismert a juhoknál és a kecskéknél megjelenő surlókor (scrapie). Nevét arról kapta, hogy a beteg állatok erősen dörzsölik magukat a kerítéshez, oszlopokhoz. A szarvasmarhák szivacsos encephalopathiája (BSE – bovine spongiform encephalopathy) 1996-tól járványos méreteket öltött.

Az emberben megjelenő prionbetegségek közé tartozik a Kuru (nevető halál). Az Új-Guineában élő bennszülöttek betegsége, amely rituális kannibalizmussal terjed. A betegségre jellemző, hogy a mozgásképesség fokozatosan leépül, végül a beteg ülni sem tud, teljesen elgyengül, és éhezés vagy másodlagos fertőzés következtében meghal.

A Creutzfeldt–Jacob-betegség (CJD) súlyos idegrendszeri betegség. A szivacsos agyvelőgyulladás egyik fajtája. Formái a sporadikus, a szerzett és a familiáris. 1996-tól Angliában a Creutzfeldt–Jacob-betegség új változata jelent meg, melyet a BSE tömeges fellépésével hoztak kapcsolatba.

A fatális familiáris insomniának fő tünete az alvászavar. A tünetek fellépése után általában egy éven belül halálhoz vezet.

A Gerstmann–Sträussler–Scheinker-szindróma degeneratív idegrendszeri elváltozásokkal jár és halállal végződik. Nagyon ritka megbetegedés.



4.6. ábra. A normál prionfehérje (PrP^C) és a kóros prionfehérje (PrP^{Sc} -Scrapie prion protein) közötti szerkezetbeli különbségek

(Singh et al. 2010)

5. EUKARIÓTA MIKROORGANIZMUSOK

Az eukarióta mikroorganizmusok csoportjába tartoznak a gombák, az algák és a protozoonok. Az eukarióta sejtípus a prokariótákhoz képest nagyobb, összetettebb és fejlettebb. A sejtet összefüggő membránrendszer hálózza be, amely a citoplazmától szerkezetileg és működésileg elhatárolja a sejtmagot és a sejt szervecskéket. Jellemző a mikrofilamentumokból álló sejt váz. Az eukarióta sejt citoplazmáját körülvevő membrán szerkezetére jellemző, hogy a bimolekuláris foszfolipid réteg és a felületéhez kapcsolódó, mélyebben belemerülő vagy a rajta áthatoló fehérjemolekulák a folyékony mozaikmembránt hozzák létre. Az eukarióta membránra jellemző, hogy a foszfolipid molekulák közé merevítő hatású szterolmolekulák épültek be. Az élesztőknél főleg ergoszterin és zimoszterin található.

A gombák és az algák sejtjeit sejt fal borítja, amely meghatározza a sejt alakját és védi a környezeti hatásoktól. A gombáknál különböző nagymolekulájú poliszacharid fibrillumok hálózata alkotja a sejt fal belső rétegét, amely egy kevésbé merev, kisebb molekulájú poliszacharidokat és fehérjemolekulákat tartalmazó mátrixba ágyazódik. Jellegetes gomba sejt falalkotó a kitin. Az algák sejt falának szerkezetére jellemző a cellulózból felépülő fibrilláris hálózat, amelyhez pektin és különféle öt és hat szénatomos cukrok kapcsolódhatnak. Gyakran szervesen vegyületek (pl. CaCO_3 , szilikátok) lerakódása teszi merevvé a sejt falukat. A sejt fal és a citoplazmamembrán között a periplazmás tér található, amelyben a sejt felszintézishez szükséges molekulák, enzimek vannak.

Az eukarióta mikroorganizmusok mozgását szolgálják az ostorok az algáknál, a protozoonoknál és néhány gomba ivarsejtjeinél, valamint a csillósoknál a csillók. Felépítésükben hasonlóak. A citoplazma membrán alatt elhelyezkedő alapi testből indulnak ki, amely a sejt ből kinyúló fonálban folytatódik. A fonál belsejében szabályos elrendezésben (9+2) α - és β -tubulin fehérjékből felépülő mikrotubulusok húzódnak. Egy-egy pár mikrotubulushoz dinein fehérjékből álló két-két kar kapcsolódik. Az így kialakuló axonémát membrán veszi körül, amely a citoplazmamembrán közvetlen folytatása. Az alapi testben a mikrotubulusok elrendeződése: 9+3.

Számos eukarióta mikroorganizmusra jellemző, hogy a sejt falon kívül tokkal is rendelkeznek. A főleg poliszacharid és glikoprotein molekulákból felépülő tok megvédi a sejtet a különböző fizikai, kémiai és biológiai stresszhatásokkal szemben, a patogén fajoknál fontos virulenciatényező.

A fimbriáknak az élesztő- és fonalgombáknál a sejtek egymáshoz való kapcsolódásában és a sejteknek a felülethez való tapadásában van szerepe.

A citoplazmát alkotó matrix (citoszol) nagy része víz, amelyben oldott molekulák, főleg fehérjék, valamint kismolekulájú szerves és szervesen vegyületek,

ionok találhatóak. A citoszolban membránnal határolt mikrotetek (peroxiszómák, glioxiszómák) és szabadon lévő makromolekula aggregátumok (riboszómák, proteaszómák, lipidek) találhatóak.

A citoplazma csatornarendszere az egész citoplazmára kiterjedő összefüggő hálózatot képez, amelyet endoplazmatikus retikulumnak neveznek. A durva felszínű endoplazmatikus retikulum riboszómákat tartalmaz, és fő funkciója a fehérjék szintézise. A sima felszínű endoplazmatikus retikulum nem tartalmaz riboszómákat, funkciója a membránokat alkotó lipidek és szterolok szintézise.

A Golgi-rendszert párhuzamos falú zsákocskák, a ciszternák (diktioszómák) alkotják. A diktioszómák közül a „cisz” felszínűek közvetlen folytatásai az endoplazmatikus retikulumnak. Idekerül az endoplazmatikus retikulum lumenében szállított fehérjék egy része, amelyek itt további módosulásokon esnek át (pl. foszforilezés). A fehérjék membránhólyagokba csomagolva továbbjutnak az öregebb „transz” felszínű diktioszómákba.

A lizoszómák makromolekulák lebontására képes hidroláz enzimeket tartalmaznak.

Az eukarióta sejt legfontosabb jellemzője, hogy örökítő anyaga, egynél több kromoszómába szerveződve, kettős membránnal határolt sejtmagban helyezkedik el.

A mitokondriumot a sejt erőművének is szokták nevezni. Kettős membrán veszi körül. A külső membrán sima, szteroidokat tartalmaz, míg a belső a baktériumok plazmamembránjára emlékeztet és betüremkedéseket (krisztákat) képez. A két membrán között az intermembrán tér, a belső membránon belül pedig a mátrix helyezkedik el. A külső membrán a fehérjék, poliszacharidok és nukleinsavak kivételével a citoplazma legtöbb szerves és szervetlen molekuláját átengedi. A belső membrán sokrétű transzportfunkciót lát el. A terminális oxidációban részt vevő fehérjék és az elektrontranszport, valamint az oxidatív foszforilezés komponensei helyezkednek itt el. A mátrixban oldott fehérjék, prokarióta típusú riboszómák és önálló fehérjeszintézisre alkalmas rendszer van, amihez a genetikai információt a mitokondrium saját DNS-e szolgáltatja. A mátrixban található enzimek segítségével különböző szerves vegyületek oxidatív lebontása folyik, melyek közül legjelentősebb a citrátkörhöz kapcsolódó lebontás és energianyerés.

A kloroplasztisban a fotoszintézis reakciói játszódnak le, kettős membrán határolja el a citoplazmától. A fotoszintézis fény szakaszának reakciói a tilakoid membránban játszódnak le, a sztróma a sötét szakasz reakcióinak a helyszíne. A kloroplasztisnak is van DNS-e, fehérjeszintetizáló rendszere, prokarióta típusú 70 S riboszómákat tartalmaz.

5.1. A gombák

A gombák ökológiai jelentősége nagy, mert részt vesznek a szerves anyagok lebontásában, átalakításában, a biodegradációs és mineralizációs folyamatokban. Emellett a gombák ipari jelentősége is nagy. Az élelmiszeriparhoz tartozó erjedésiparokban pl. az élesztőgombák (főleg a *Saccharomyces* fajok) etanolos erjesztését használják fel. A penészgombák sok, gyógyászatilag fontos szekunder metabolitot termelnek, amelyeket fermentációval számos helyen nagy mennyiségben gyártanak (pl. antibiotikumok, vérzéscsillapítók, hormonok). Gombák segítségével állítanak elő az iparban egyes szerves savakat (például citromsav, glükonsav), valamint számos enzimet (glükóamiláz, pektináz, celluláz, proteázok, rennin, β -galaktozidáz, invertáz). A gombákat gyakran használják modellszervezetekként az alap kutatásokban.

A gombák alapvetően szárazföldi élőlények, néhány fajuk azonban édesvízben és tengerben él. Többségük szaprofita életmódot folytat, azonban vannak növény-, állat- és humánparazita fajok is. Egyesek mikotoxin-termelésükkel veszélyeztetik az állatok vagy az ember egészségét. Számos lágyszárú növény és fa esetében a gyökéren kialakuló gombaszövedék, a mikorrhiza, nagymértékben hozzájárul a felszívó felület kialakításához.

Táplálkozás szempontjából a gombák kemoorgano-heterotróf szervezetek. A komplex, nagy molekulájú tápanyagokat extracelluláris enzimeik segítségével kisebb, vízben oldható molekulákra bontják le, amelyeket a sejtek felvesznek, majd tovább-bontanak.

A gombák többsége obligát aerob szervezet, azonban számos faj (fakultatív anaerobok) a környezet oxigéntartalmának csökkenése esetén áttér az alkoholos erjesztéssel történő energianyerésre.

A gombák sejt- és telepmorfológiájukat tekintve a legváltozatosabb élőlénycsoportot képviselik. A legtöbb mikroszkopikus gombatelepeket alkot. A gomba-telep általában hifákból áll, a gombákra jellemző, fonalas, csőszerű képződményekből. A hifák gyakran elágaznak, egymással összeköttetéseket létesíthetnek, és így bonyolult hálózatot formálnak, amelyet micéliumnak nevezünk. Mind az ivartalan, mind pedig az ivaros szaporodásuk változatos sejt típusokat foglal magába, és az egyes gombacsoportok morfológiailag és genetikailag jól jellemezhető életciklussal rendelkeznek.

A spóráképződést környezeti tényezők indukálják. Példaként említhető a tápanyagforrás kimerülése. Táptalajon tenyésztett gombák esetében gyakran megfigyelhető, hogy a telep közepén indul el a sporuláció, és nem a széleken, ahol még tápanyagbőség van. Általában elmarad a sporuláció, ha könnyen felvehető, jól hasznosítható, egyszerű tápanyagok vannak jelen nagyobb mennyiségben. A spóráképzést befolyásoló másik tényező a hőmérséklet. Ha a vegetatív növekedéshez szükséges, fajonként változó optimális hőmérséklet hirtelen 10-15 °C-kal csökken,

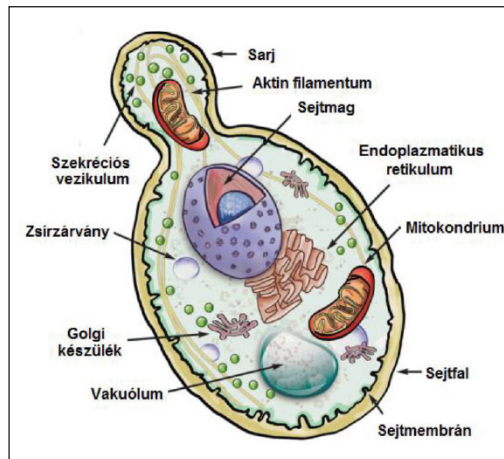
az a spóráképzés fokozódásához vezet. A sporulációt befolyásoló tényezők közül még megemlíthető a fény, a szén-dioxid és a páratartalom.

A spórák egy része (főleg a nagy víztartalmú, vékony falú képletek) kedvező feltételek közé kerülve leválásuk után azonnal csírázásnak indulnak, és új telep fejlődik ki belőlük. A nyugalmi állapotban levő spórák változatos környezeti hatásokra aktiválódnak. Az egyik legjelentősebb aktiváló tényező a hőmérséklet, általában az adott gombafaj vegetatív növekedéséhez szükségesnél nagyobb hőmérséklet tudja csírázásra serkenteni a spórát.

5.1.1. Élesztőgombák

Az élesztőgombák egysejtű eukarióta szervezetek, melyek többnyire egysejtmagvúak (5.1. ábra). Az élesztőknek köszönhető a kenyér kelesztése, a sör és a bor erjesztése és sok más anyagcseretermék ipari termelése. Az élesztők a természetben elterjedtek, főként a növényeken, néhány faj a talajban fordul elő, mások az állati szervezetekben vagy rovarokkal társulva él. Csak kevés kórokozó fajuk ismert.

Vegetatív szaporodásuk általában sarjadzással történik. Az anyasejten egy kidudorodás, a sarj jelenik meg, amely tovább növekedik, majd leválik. A leválás helyét sarjhegnek nevezik. A sarjsejtek elhelyezkedése a sejt felszínén általában fajra jellemző.



5.1. ábra. Az élesztőgomba sejt szerkezete
(Stewart 2017)

Az élesztősejtek alakja többnyire gömb, ovális vagy hengeres, de a sejtek meg is nyúlhatnak (álhifák). A fonalas és sarjadzó sejt alakot váltogatni képes gombákat dimorf gombáknak nevezik. A sejtfalak megváltozását általában a környezet

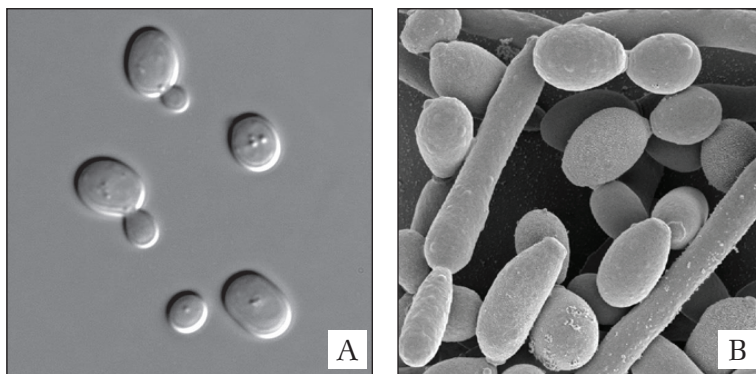
oxigén és/vagy szén-dioxid-tartalma, a hasznosítható szénhidrát-tartalom és más környezeti tényezők váltják ki.

Az élesztőgombák heterotróf aerob szervezetek, a fajok mintegy fele fakultatív anaerob és jellegzetes alkoholos erjesztést végez. A glikolízis útján képződött piruvát-sav acetaldehidde dekarboxileződik, majd etil-alkohollá redukálódik. Az élesztők csak az egyszerű szénhidrátokat tudják erjesztetni, a poliszacharidok erjesztése nagyon ritka. Aerob módon sokféle vegyületet hasznosítanak, összetett szénhidrátokat is, szerves savakat, alkoholokat, egyes fajok még szénhidrogéneket is. Élelmiszerekben általánosan előfordulnak, különösen a cukortartalmú termékekben és olyan élelmiszerekben, amelyek a baktériumok szaporodásának nem kedveznek.

A *Schizosaccharomyces* nemzetségbe tartozó élesztőfajok vegetatív sejtjei hasadással osztódnak. A sejtek közepén válaszfal (szeptum) képződik.

A *Saccharomyces* az egyik legismertebb és gyakorlati szempontból legfontosabb nemzetség. Idetartoznak az erjedési iparokban és a sütőélesztőként alkalmazott fajok. Ilyenek a *S. cerevisiae* (5.2.A. ábra), a *S. bayanus*, a *S. pastorianus*, valamint a természetből izolálható *S. paradoxus*. Jellemző, hogy erősen erjesztenek, mivel nagy az alkoholtoleranciájuk (10-15%).

A *Dekkera*, a *Debaromyces* és a *Zygosaccharomyces* fajok leggyakrabban spontán erjedésekből izolálhatók. A *Z. rouxii* és a *Z. bailii* fajok ozmotoleranciájuk, savakkal és tartósítószerrel való ellenállásuk miatt élelmiszerromlást okozó élesztőgombák. A *Candida* fajok közül egyesek humánpatogének, gyakran izolálhatók gombás megbetegedésekből (*Candida albicans*), mások élelmiszerromlást okozhatnak (5.2.B. ábra). A *Candida stellata* az erjedő mustban sokáig részt vesz az erjesztésben.



5.2. ábra. A *Saccharomyces cerevisiae* (A) és a *Candida albicans* (B) mikroszkópi képe

(<https://www.ck12.org/book/ck-12-understanding-biodiversity/section/9.1/>, <https://www.creative-diagnostics.com/tag-candida-albicans-antigens-8.htm>)

5.1.2. Fonalasgombák

A hifák szövődéke a micéliumot alkotja. Gyakran a túlélést szolgáló vegetatív szaporító kitaró képletek jönnek létre (blasztospórák, konidiospórák). A hifák felépítése jellemző a gombák egyes csoportjaira. Ősibb szerveződésűek azok a fonalak, amelyekben válaszfal nem figyelhető meg, és az egész gombatelep egyetlen sokmagvú óriássejtet alkot. Ez jellemző a járomspórás gombák csoportjára (*Zygomyceta*). A fejlettebb tömlősgombáknál (*Ascomyceta*) a fonalat kisebb rekeszre osztó egyszerű válaszfalak vannak.

A penészgombák általában aerob, heterotróf szervezetek. Az elsődleges és másodlagos anyagcseretermékek közt azonban sokféle szerves sav lehet (pl. citromsav, fumársav).

Szénforrásként a legkülönbözőbb szerves vegyületeket tudják hasznosítani, köztük a cellulózt és más összetett szénhidrátokat, valamint a fehérjéket is, mivel sokféle extracelluláris enzimet termelnek. A környezeti tényezők széles határai között tudnak szaporodni. Az oxigéнен kívül leginkább a nedvességet igénylik, de többségüknek a szubsztrátum néhány százalékos víztartalma, a levegő szokásos páratartalma elegendő. A penészgombák közé számos, igen kis vízáktivítást elviselő faj tartozik. A hőmérsékleti igény szerint általában mezofilek, számos faj azonban pszichotróf, szaporodik még 0 °C körül is. Kedvelik a savas pH-t, de széles pH-tartományban tudnak szaporodni.

Egyes penészgombákat felhasználnak a fermentált, keményítőalapú élelmiszerek, valamint hús- és tejtermékek előállításában. Penészgombák fermentációjával antibiotikumokat, egyéb gyógyászati termékeket és szerves savakat, valamint enzimeket állítanak elő. A bazidiumos gombák jelentős szerepet játszanak a természetben a szerves anyagok körforgásának fenntartásában, a talaj humusztartalmának növelésében.

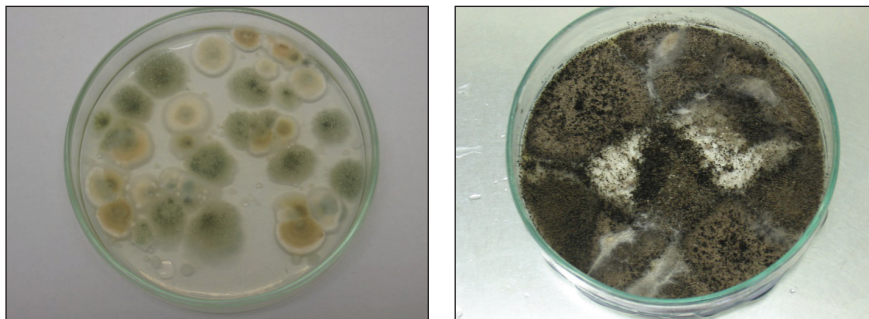


5.3. ábra. A *Mucor mucedo* penészgomba
(<http://www.outerhebridesfungi.co.uk/species.php?id=142>)

Az élelmiszereken, takarmányokon, szerves anyagokból készült használati tárgyakon megjelenő és elszaporodó penészgombák károkat okoznak. Egyes fajok mikotoxinokat termelnek, melyek rendkívül ellenállóak a környezeti hatásokkal szemben.

A járomspórás gombák (Zygomycota) csoportjába tartozó Mucorales rend fajai növényi és állati eredetű anyagokon gyorsan elszaporodva, vastag penészbevonatot hoznak létre (5.3. ábra). A *Phycomyces* fajok gyakran izolálhatók a természetből, aktív szerepet játszanak a szerves anyagok lebontásában.

A penészgombák tevékenysége élelmiszereinken többnyire káros folyamatként, romlásként jelentkezik (5.4. ábra). A jelentős gazdasági veszteségen túl számos penészgomba élelmiszer-egészségügyi veszélyt is jelent, toxikus anyagcseretermékeik, a mikotoxinok képzése miatt. A penészgombák konidiumai, spórái a levegővel terjednek, így könnyen szennyezhetik az élelmiszerek nyersanyagait, a csomagolatlan késztermékeket. Bár általában mindenféle szerves tápanyagon jól szaporodnak, egyes fajok bizonyos élelmiszerekre jellemzőek. Gyümölcs- és esetenként zöldségfélék jellegzetes romlási jelenségeit a pektin-, cellulóz- és fehérjebontásra képes parazita és szaprobionta penészgombák, köztük számos *Aspergillus* és *Penicillium* faj okozza.



5.4. ábra. Sajt és mazsola mintákból kifejlődött penészgombák szelektív táptalajon

A mikroszkopikus penészgombák nagy számban fordulnak elő a természetben. Közülük már több mint 350 fajról vált ismertté, hogy mérgező anyagokat, mikotoxinokat képeznek, ezeket nevezzük mikotoxinogéneknek. Kedvező körülmények között a penészgombák gyors növekedésnek indulnak, és ha stresszhatás éri őket, toxint termelnek.

A mikotoxinok másodlagos anyagcseretermékek, nincs szerepük a gombák normál anyagcseréjében, azonban szerepet játszanak a gombafajok egymás közti és a baktériumokkal szembeni vetélkedésében. Ezek a másodlagos anyagcsereter-

mékek általában sejtmérgek (citotoxikumok), amelyek az egyes sejtalkotókra (pl. membránokra) vagy sejtfunkciókra (pl. fehérje- vagy nukleinsav-szintézis) hatnak.

A mikotoxinok rendkívül változatos kémiai szerkezetű vegyületek. Ennek megfelelően az általuk kiváltott tünetek és megbetegedések is sokfélék. Az ember a mikotoxinokkal többnyire nem közvetlenül, hanem a növényi vagy állati eredetű táplálék szennyezettsége révén találkozik. Az ember egészségére ható leggyakoribb tényezők között a rákkeltő, a fejlődési rendellenességet okozó, a szaporodóképességet csökkentő, az immunosuppresszív és az idegrendszert károsító hatások említhetők. A mikotoxinok különös veszélyessége annak tulajdonítható, hogy rendkívül hatékony méreganyagok, igen kis koncentrációkban hatnak, és a kis dózisok hatása kumulálódik. A mikotoxinok azonban emberről emberre nem terjednek, a mikotoxikózis nem járványos, viszont antibiotikumokkal, gyógyszerekkel alig kezelhető, a védekezés legjobb módja a megelőzés. Ehhez a mikotoxinok kimutatására alkalmas érzékeny műszeres analitikai módszerek kidolgozására volt szükség, mivel a mikotoxinok általában kis mennyiségben fordulnak elő az élelmiszerekben. A megelőzés már a növénytermesztésben, az állattenyésztésben kezdődik. A penészgombák, illetve az általuk termelt mikotoxinok részben már a termőterületen (szántóföldi penészek), részben pedig a tárolás során (raktári penészek) fertőzhetik a takarmánynövényeket, a takarmány-alapanyagokat, tápokát, illetve az alományagként alkalmazott szalmákat.



5.5. ábra. Jellegzetes *Aspergillus flavus* penészgombatelepek szelektív táptalajon (<http://fungi.myspecies.info/file-colorboxed/937>)

A legfontosabb mikotoxintermelő gombafajok az *Aspergillus flavus* (5.5. ábra), *A. ochraceus*, *Penicillium verrucosum*, *Fusarium graminearum* és a *Fusarium verticillioides*. Az *Aspergillus* fajok nagyon gyakoriak a környezetben, a talajban és a növényzeten, elsősorban mint szaprobioták és mint másodlagos növényi kórokozók. A legtöbb *Aspergillus* penészgomba élelmiszereinkben romlást okozóként van jelen. Számos faj xerofil. Többnyire tárolt termékeken fordulnak elő, így gabonaféléken, magvakon,

fűszereken. A *Penicillium* fajok általában kisebb hőmérsékleten növekednek, mint az *Aspergillusok*. Ubikviterek a talajban, a gabonákon és az élelmiszereken. Hűtött raktárakban, valamint fagyasztott élelmiszereken is világszerte előfordulnak. A növények kórokozó gombáinak egyik legjelentősebb csoportja a *Fusariumok*, leggyakrabban gabonaféléken és olajos magvakon fordulnak elő. Az élelmiszerekben más toxikus gombák is elterjedtek, mint például a *Cladosporium*, a *Mucor* és a *Stachybotrys*.

5.2. Az algák (moszatok)

Nedves környezetben, sós és édesvizekben élnek a felülethez tapadva vagy pedig úszva, lebegve a vízben. Néhány képviselő csak a víz felszínén él. Jelenleg megközelítően 50 000 algafaj ismert. Az algák nagymértékű változatossága nyilvánvaló, különféle életterekhez alkalmazkodtak a jégmezőktől a termálvizekig.

Felépítésük nagyon változatos: a mozdulatlan vagy ostonnal mozgó egyesjtűektől a több ezer, azonos vagy differenciált sejtből álló telepeken keresztül a szövetes növényekhez hasonló szervezetszerű moszatokig terjed.

Az algák vegetatív sejtjei a **telepet** (thalluszt) alkotják.

A moszatok mérete változatos, egyesek kicsik, mikroszkopikusak, mások nagyok, elérhetik a több tíz vagy 100 métert is (pl. a *Macrocystis* nevű barnamoszat 200 méter is lehet).

Többségük autotróf fotoszintetizáló szervezet, a tengerek és óceánok elsődleges termelői. Néhány alga heterotróf szaprofita és parazita, a primitív képviselők között mixotrófokat is találunk. Endoszimbiózisban élhetnek alacsonyabbrendű állatokkal, vannak szimbionták is, melyek részt vesznek a zuzmók alkotásában.

Szaporodásuk ivartalan módon a sejtek kettéosztódásával, a telep feldarabolódásával vagy spóráképzéssel történik. Az ivaros szaporodás spórizósejtek (gaméták) képzésével valósul meg.

Az algák rendszerezése elsősorban sejtmorfológiai alapon történik, emellett fontos bélyegek a fotoszintetikus pigmentek, a tartaléktápanyagok típusa, valamint sejtfalukban a cellulóz mellett előforduló egyéb összetevők.

Az élővilágban betöltött jelentőségük nagy az oxigén- és a biomassza-termelés által.

A moszatok jelentősége:

1. az algák termelik a Föld szervesanyag-készletének több mint a felét;
2. az algák fotoszintézise során felszabaduló oxigén teszi lehetővé a vízi állatok légzését;
3. táplálékul szolgálnak egyes vízi állatoknak;
4. felhasználják az ember és az állatok élelmezésében;
5. anyagcseréjük miatt a vizek öntisztulásában is nagy szerepet kapnak, a termelő oxigén előnyös a szerves anyagok lebontásában;

6. az egyedgazdagságuk következtében kialakuló moszaterdők bűvőhelyet biztosítanak az állatok számára;

7. evolúciós szempontból (a zöldmoszatok ősi képviselőiből alakulhattak ki a növények).

Ennek bizonyítékai a fotoszintézis színanyagai (klorofill-a, klorofill-b, β -karotin, xantofill) és termékei (keményítő).

Az algák fő rendszertani csoportjai: a zöldalgák, a barnamoszatok, a vörösmoszatok, a kovamoszatok.

5.2.1. A zöldalgák (Chlorophyta)

Valamennyi, az algákra jellemző élőhelyen megtalálhatók. Többnyire édesvízi szervezetek, de vannak tengeri és szárazföldi fajaik is. A szárazföldi fajok köviken, nedves talajon élnek, gyakran tömlősgombákkal zuzmótelepeket alkotnak. Nevüket élénkzöld színükről kapták, klorofill-a és klorofill-b-t tartalmaznak. Aszsimilációs termékük a keményítő, akárcsak a magasabbrendű növények esetében.

Változatos telepfelépítésű moszatok. Lehetnek egysejtűek vagy többsejtűek (5.6. ábra). Az egysejtű szervezetek esetében a sejt lehet gömb alakú (*Chlorella* sp., *Pleurococcus* sp.) vagy ovális (*Chlamydomonas* sp.). A *Chlorella vulgaris* egyetlen színtestje a sejtfal mellett található. Vizekben, talajban, sziklákon, fakérgen, zuzmótelepeken egyaránt előfordul. Állatokkal (pl. a zöldhidra) vagy egysejtű protozoonokkal (pl. papucsállatka) élhet szimbiózisban (endobiózis). Az első moszatfaj volt, melyet tiszta tenyészetben tenyésztettek.

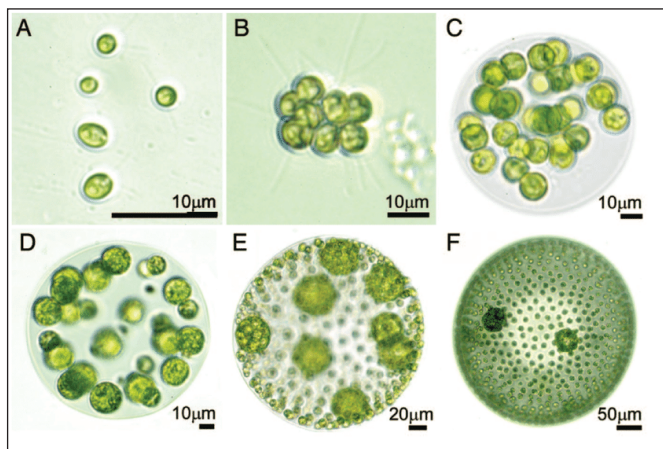
A többsejtű zöldmoszatok esetében megfigyelhető a laza sejttársulás, a fonalas telep, a lemezes telep és a fejlett teleptest.

A *Volvox* nemzetség esetében a sejtek több ezren, gömbszerű, kb. 1 mm méretű laza sejttársulást alkotnak, amelyben a közös kocsonyaburokban levő sejtek között, plazmahidakon át megvalósuló szoros anyagcsere-kapcsolat létezik, ugyanakkor kismértékű alaki és működésbeli differenciálódás is megfigyelhető. A *Pandorina morum* zöldmoszat szintén 8-16 sejtből álló laza sejttársulást alkot.

A többsejtű fonalas telep lehet egyszerű (pl. a békanyál – *Spyrogira* esetében) vagy elágazó (*Cladophora* sp.).

Az *Ulva lactuca* (tengeri saláta) telepe lemezes, levélszerű, két sejtrétegből áll (5.7. ábra). Tengerparti övezetekben fogyasztják, főzeléket, levest készítenek belőle vagy salátaként tálalják. Helyenként takarmányként és trágyaként is használják. Fejlődésmenetére jellemző a nemzedékváltakozás. Négyostoros spórái kedvező körülmények között osztódásnak indulnak és soksejtű teleppé fejlődnek, melyeken ivarsejtek képződnek. A különböző telepekből származó különféle ivarsejtek egybeolvadásával zigóta képződik. A zigótából egy újabb telep fejlődik, melynek sejtjei képesek lesznek spóráképzésre. A spórából fejlődő és ivarsejteket termelő telepet ivaros telepnek (nemzedéknek, gametofitonnak),

a zigótából fejlődő és spórákat termelő telepet pedig ivartalan telepnek (nemzedéknek, sporofitonnak) nevezzük.



5.6. ábra. Egysejtű és többsejtű zöldmoszatok. *Chlamydomonas reinhardtii* (A), *Gonium pectoral* (B), *Eudorina elegans* (C), *Pleodorina californica* (D), *Volvox carteri* (E), *Volvox aureus* (F)
(Kapsetaki 2015)



5.7. ábra. A tengeri saláta zöldmoszat
(<http://ericperiod3bioproject.weebly.com/plantae.html>)

A fejlett teleptest morfológiai szempontból hasonlít a hajtásos növények testszerveződésére, viszont szövettani szempontból nem differenciálódott. Ez a teleptest felépítés jellemző a csillárkamoszatokra (*Chara* sp.) (5.8. ábra). A teleptest tagolt: rögzítő gyökérszerű részből, főtengelyből és a főtengelyről csomókban örvösen eredő oldaltengelyekből áll. A tengereket és a tisztább édesvizeket kedvelik, az aljazaton rögzülve víz alatti „gyepeket” alkotnak.



5.8. ábra. *A csillárkamoszat*
(<https://pondacademy.com/types-of-pond-algae>)

5.2.2. A barnamoszatok (Phaeophyta)

Többsejtű telepes szervezetek. Fonális telepeket vagy fejlett teleptestet alkotnak. Főként mérsékelt vagy hideg területek tengereinek aljzatához rögzültek, ritkábban lebegő életmódot folytatnak. A barnamoszatok közé tartoznak bioszféránk legnagyobb élőlényei, a *Macrocystis* fajok. Nevüket piszkosbarna színükről kapták, melyet fotoszintetikus színanyagaik alakítanak ki, a zöld klorofillok mellett barnás színű pigmentek is megtalálhatók bennük (pl. a fukoxantin). Tartaléktápanyaguk a laminarin és a manitol. Jellemző, hogy telepeik jelentős mennyiségű halogén elemet (jód, bróm) kötnek meg, ezeket a szárított moszataból kivonják. Emberi táplálékként és takarmányként is hasznosítják. Képviselők: *Cystoseira barbata*, *Fucus vesiculosus*, *Laminaria saccharina*, *Sargassum bacciferum* (hajónyűg, az Atlanti-óceánban él, telepe eléri a 100 m hosszúságot. Az óceán csendesebb övezeteiben igen nagy területet borítanak be, amelyet Sargasso-tengernek neveznek. A *Fucus vesiculosus* telepét jellegzetes úszóhólyagok lebegtetik.

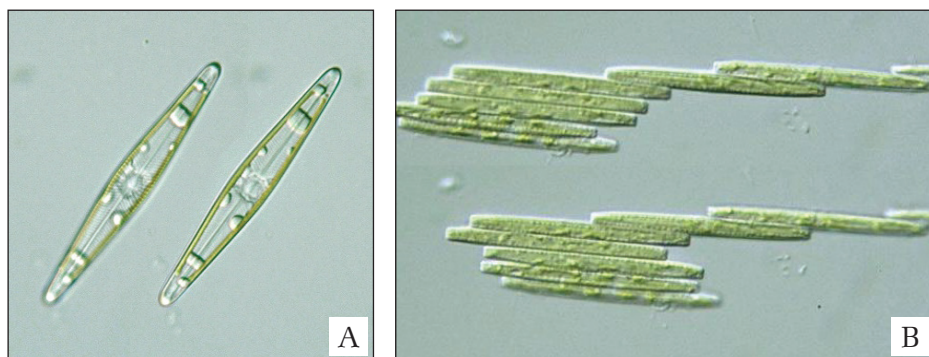
5.2.3. A vörösmoszatok (Rhodophyta)

Néhány egysejtű fajtól eltekintve, fonális telepű vagy fejlett teleptestű szervezetek tartoznak ide. Jellegzetes pigmentjeik a vörös színt adó fikoeitritin és a kék színű fikocián, amelyek nagy tengeri mélységekben (200-260 m) is képesek

a napfényt abszorbeálni. Ezért ezek az élőlények élnek a legmélyebben a fényenergiát felhasználók közül. Elsősorban a melegebb tengerek aljzatán fordulnak elő. Tartalék szénhidrátjuk a florideán keményítő. Sejtfaluk mélyebb rétegei szulfatált galaktóz polimereket tartalmaznak, amelyek a mechanikai hatásokkal szemben különösen ellenállóvá és hajlékonyá teszik őket. Ennek kivonásával és tisztításával állítják elő a mikrobiológiai táptalajok szilárdítására használt agart. Sokszor halmoznak fel a sejtfalukban kalcium-karbonátot, amely a sejtek elhalása után a koralltelepek alapját képezi. Képviselők: *Ceramium rubrum*, *Porphyra* sp., *Chondrus crispus*.

5.2.4. A kovamoszatok (Bacillariophyta)

A kovamoszatok egysejtűek, csak néhány fonalas telepű faj tartozik a csoporthoz. Színtesteikben sok a barnássárga színt adó vegyület. Sejtfalukba szilikát rakódik, erről kapták a nevüket. Ez a burok igen változatos, fajra jellemző mintázatú, jól látható a kétoldali szimmetria. Nagy tömegben szaporodhatnak el a tiszta sós és édesvizekben. Az óceánok fő fotoszintetizáló termelőivé válhatnak. A vizek biológiai minősítésére alkalmas indikátor fajok. Képviselők: *Diatoma vulgare*, *Navicula oblonga*, *Bacillaria paradoxa*, *Pinnularia viridis* (5.9. ábra). Fosszilis fajaik váza helyenként vastag réteggé gyűlt össze, ezt nevezik diatómaföldnek.



5.9. ábra. A *Navicula radiosa* és a *Bacillaria paradoxa* kovamoszatok

(http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Heterokontophyta/Raphidineae/Navicula/radiosa/sp_24.html, http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Heterokontophyta/Raphidineae/Bacillaria/sp_1a.html)

5.3. Protozoonok

A protozoonokat állati egysejtűeknek is nevezik. Nem rendelkeznek sejtfallal, szerves szénforrást hasznosítanak szén- és energiaforrásként. A testüket képező egyetlen sejt alkalmas a különböző élettevékenységek ellátására. A helyváltoztatás szervei az állabak, az ostorok és a csillók. Táplálkozásuk történhet ozmózissal, bekebelezéssel (fagocitózis, pinocitózis) és sejtszájjal. A vízben oldott tápanyagokat pinocitózissal, a szilárd anyagokat fagocitózissal veszik fel. Általában nedves vagy vizes élőhelyeken fordulnak elő. A szerves anyagok lebontását végzik a talajban, a vizekben pedig a planktonikus tápláléklánc tagjai. Számos állati és humán parazita faj is létezik. Nagyon sok faj képes becsisztázódni, aminek következtében fallal körülvett, ellenálló, csökkent metabolikus aktivitású kitartó sejt, a ciszta keletkezik. A legfontosabb idetartozó csoportok: az ostorosok, az amóbbák, a csillósok és a spórák.

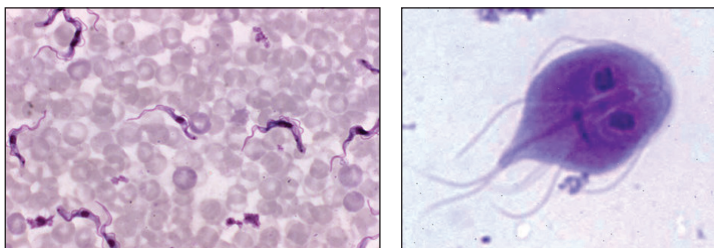
A **növényi ostorosok** főleg sekély édesvizekben fordulnak elő. 10-100 mikron nagyságú, megnyúlt orsó formájú vagy gömbölyded szervezetek. Sejtfaluk nincs, testüket vékony, rugalmas, tömöttebb külső plazmaréteg, a bőrke borítja. Autotróf és heterotróf táplálkozásra egyaránt képesek. Az autotróf táplálkozást a szintetikus tesztek lehetővé, amelyek legnagyobb mennyiségben klorofill-a és klorofill-b színanyagot tartalmaznak. A heterotróf táplálkozásra sejtgaratjuk szolgál, amelyen keresztül sejtterméket, szerves anyagdarabkákat, baktériumokat képesek felvenni. A sejtgarat alján ered az ostor, amely jellemző mozgásszervük. Jellemző fényingereket érzékelő sejtszervecskékük a szemfolt. A citoplazma állandó belső víztartalmát a liúttető üregecske biztosítja a felesleges víz eltávolításával. Kettéosztódással szaporodnak. Legismertebb képviselőik a zöld szemesostoros (*Euglena viridis*) és más *Euglena* fajok. Fontos szerepet játszanak a vizek öntisztulásában, és apró víziállatok táplálékául szolgálnak.

Az állati ostorosok testük alakját a rugalmas alakváltozást lehetővé tevő bőrke szabja meg. Mozgásszervük lehet egy vagy több ostor, de néhány csoportnál az ostoros mellett előfordulhat állabás mozgás is. A fajok egy részénél a sejt teste és az ostor között a bőrkéből kialakult hullámzó hártya van, amely a mozgásukat segíti. Az ostor alapján a bazális test található, amely még egy nagyobb méretű és DNS-tartalmú parabazális testtel is kapcsolatban állhat. Táplálékukat a bőrkén keresztül aktív transzport révén vagy endocitózissal vehetik fel. Az állati ostorosok is rendelkezhetnek sejtszájjal, ez a sejtgaratban folytatódik, amelynek végéről a táplálékszemcsék a vakuólákba zártan fűződnek le. Az emészthetelen részecskéket vagy excitózissal, vagy a sejt egy meghatározott helyén kialakult sejtalrészén keresztül adják le a külvilágra. Képviselők például a *Trypanosoma*, *Giardia* és a *Trichomonas* fajok.

Az álomkórt okozó egyostoros *Trypanosoma* fajok számos állatfaj, így a háziállatok, valamint az ember parazitái lehetnek, elsősorban a trópusi területeken. A gerincesek vérében, egyes szerveikben élnek. Az ember vérébe bekerült *Trypa-*

nosoma alakok többszörös ivartalan osztódással szaporodnak, majd elárasztják az egész szervezetet. Előfordulnak a vérben és a nyirokban, a lépben, a központi idegrendszerben és az agy-gerincvelői folyadékban. A cecelégében a parazita ivartalanul és ivaroson is szaporodik, és vérszíváskor a nyállal jut be a gerinces gazdaállatokba és az emberbe is.

A *Giardia lamblia* az ember, elsősorban a gyerekek vékonybelében fordul elő és a giardiosis okozója. Mozgását négy pár ostor biztosítja, elülső felszínén szívókorong található, ezzel tapad a vékonybél hámsejtjeihez. A legegyszerűbb eukarióták között nyilvántartott szervezet, nincs mitokondriuma, de lehetséges, hogy leegyszerűsödése a parazita életmód következménye. A fertőződés tisztákkal szennyezett étellel vagy vízzel történik. A trofozoita (vegetatív forma) a duodenumban és a vékonybél kezdeti szakaszán élőszködik, a hámsejtekre tapadva súlyos felszívódási zavart okoz. Az ivóvíz klórozása nem pusztítja el a cisztákat.



5.10. ábra. *Trypanosoma* sp. és a *Giardia lamblia* állati ostorosok
(<http://tolweb.org/Trypanosoma/98034>, <https://mykindofscience.com/2016/11/23/life-under-the-microscope-giardia-lamblia/>)

Főként gyermekeket és immungyenge vagy immunihiányos egyéneket fertőz, a fejlődő országbeli gyermekek 20-60%-a fertőzött, az immunihiányos HIV-betegek is erősen veszélyeztetettek. Háziállatok is gyakran hordozzák, amelyeknél hasmenést válthat ki. Fertőzött embereknél a jelentkező tünetek fejfájás, fáradtság, étvágytalanság, hasmenés, gyomorfájás, de a betegség krónikussá is válhat.

A *Trichomonas* fajok az emlősállatok, az ember bélcsatornájában és az ivari kivezetőjáratokban élnek. A *Trichomonas vaginalis* az ember parazitája, a nemi szervek nyálkahártyájában élőszködik.

A **gyökérlábúak** mozgása elsősorban állabakkal történik. Az állabak különböző alakúak lehetnek, így elkülöníthető a lobopodium, filopodium, retikulopodium és axopodium típus. A lobopodiumok a mozgást és a táplálékreszcsek bekebelezését szolgáló lebenyszerű nyúlványok. A filopodiumok csak ektoplazmát magukba foglaló nyúlványok. A retikulopodiumok az előző típushoz hasonlóak, de a nyúlványok elágazásai hálószerűen összekapcsolódnak. Az axopodiumok igen vékony filamentumok, amelyeket mikrotubulusokból álló tengely merevít. Testük

többnyire csupasz, de külső vázuk is lehet. Sejtszájuk nincs, a táplálékrészecskéket fagocitózissal veszik fel. Azoknál a fajoknál, ahol az állábak igen vékonyak, a bekebelezés a sejt álláb nélküli részén történik. Édesvízben élő fajaik az ozmoregulációt biztosító lüktető vakuólával rendelkeznek, amely ott jön létre, ahol a felgyülemlett víz és a benne oldott ionok eltávolítására szükség van. Ivartalanul kettéosztódással szaporodnak. Parazita fajoknál a cisztán belül többszörös osztódás megy végbe. A csoport ismert képviselői az *Amoeba proteus*, az *Entamoeba histolytica* és az *Entamoeba coli*.

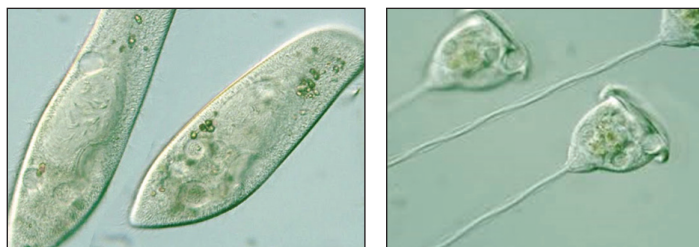
Az amőbafélék legismertebb képviselői az édesvízi, tavakban, lassú folyású patakokban gyakori fajok, mint például az óriási amőba: *Amoeba proteus*.

A vérhasamőba: az *Entamoeba histolytica* az ember dizenterias megbetegedését okozó, 10-40 μm nagyságú patogén amőba. Leginkább trópusi elterjedésű. A baktériumos vérhasnál enyhébb lefolyású, de sok esetben tünetmentes vagy hosszantartó, krónikus betegség. Ez a kór a világon a harmadik a paraziták okozta halálokok között. A fertőzés forrása az *E. histolytica*-val fertőzött ember. A fertőzés közvetlen kontaktus útján, a fertőzött víz, zöldségfélék és gyümölcsök közvetítésével terjed. A trofozoita alakok a bélcső üregében szabadon mozognak, táplálkoznak. A bél szöveteit proteolitikus enzimjeikkel oldják, fekélyeket hoznak létre. A vérárammal különböző szervekbe (például a májba) is eljutnak, ahol tályogok képződnek. Az okozott tünetekért nemcsak a sejtek, hanem az általuk termelt enterotoxin is felelős.

Az *Entamoeba coli* az ember bélcsatornájában, a vastagbélben él, de nem parazita, hanem baktériumokkal, béltartalommal táplálkozik. Az *Entamoeba coli* trofozoita 20-40 μm , a magban durva kromatinszemcsék találhatóak, a citoplazmában vörösvértestek sohasem láthatók.

A **csillósok** testét borító bőrke különböző erősségű lehet. A testüket csillók borítják, két sejtmagjuk van, és ezek méretüket és működésüket tekintve is eltérőek. A csillósok többnyire jól fejlett sejtszájjal, sejtgarattal rendelkeznek. Táplálékukat a szabadon élőknél főleg baktériumok, algák és kisebb testű csillósok képezik. A test víztartalma szabályozásának, az ozmoregulációnak elkülönült szerve a lüktetőüröcske. Számos fajnál a központi gyűjtőhólyaghoz sugárirányú csatornák kapcsolódnak, amelyek felveszik, majd a központi hólyagba ürítik a vizet. Innen a bőrke nyílásán át távozik el az összegyűjtött folyadék. A csillósok ivartalan szaporodása általában harántosztódással történik, de előfordul hosszanti osztódás és bimbózás is. Az ivaros szaporodás a konjugáció. Igen sok faj képes maga körül cisztát létrehozni (betokozódás), amikor a környezeti tényezők kedvezőtlené válnak.

Legismertebb képviselője a papucsállatka: *Paramecium caudatum*, szennyezett vizekben él. Táplálékát baktériumok, kisebb algák és ostorosok képezik. A szívókásokra jellemző, hogy a kifejlett alakok testét csillók nem borítják. Táplálékukat számos karszerű szívócső segítségével veszik fel. Bimbózással szaporodnak. Édesvizekben és tengerekben egyaránt gyakoriak. Magányosan vagy



5.11. ábra. A *Paramecium caudatum* és a *Vorticella* sp. mikroszkópi képe
http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Ciliophora/Paramecium/caudatum/intactcells/sp_10.htm, http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Ciliophora/Vorticella/campanula/sp_03.html

csoportokban élnek a helyhez kötött életmódot folytató harangállatkák (*Vorticella* sp). Összehúzódsra képes rögzítőnyéllel rendelkeznek (5.11. ábra).

A csillós *Balantidium coli* a balantidiasis okozója, amelynek fő gazdaállata a sertés, ezek bélrendszerében közönséges kommenzalistaként él, általában innen kerül át emberre. A fertőzést a ciszta okozza. A veszélyeztetett csoportok azok a dolgozók, akik gyakran kerülnek kapcsolatba sertésürülékkel, így elsősorban a vágóhídi dolgozóknál és sertéstenyésztőknél gyakori. A megelőzésben a korábbiakban elmondottakhoz hasonlóan a személyi és környezeti higiénés rendszabályok betartása, a sertésürüléken keresztüli kontamináció elkerülése, az étel- és víz fekáliás szennyeződésének megakadályozása a legfontosabb.

A protozoonok közül a legnagyobb, 40-70 μm átmérőjű. A trofozoita felszíne csillókkal borított, testének elülső végén kezdetleges tölcésrszerű szájnyílás található. Körülötte a csillók hosszabbak és vastagabbak. Egy nagyobb és egy kisebb magja van. Mozgása élénk. Cisztái 50-60 μm nagyok, kerekdedek, két magjuk van. Valódi szövetparazita. Proteolitikus enzimeket és citotoxikus faktorokat termel. A vastagbél falába hatol és szövetkárosodást okoz.

A **spórások** szaporodási ciklusára jellemző, hogy ivartalanul és ivaroson is szaporodnak. Ezek általában különböző gazdáknak játszódnak le.

A *Toxoplasma gondii* környezetünkben mindenütt előforduló parazita, amely az emberen kívül számos melegvérű állatban élősködik. Embernél a toxoplazmózis megbetegedést váltja ki. Intracelluláris parazita, amelynek életciklusa összetett: végső gazdája a házimacska vagy egyéb macskaféle, köztesgazda pedig különböző melegvérű állatok vagy az ember. Az emberi fertőzöttség eléri a népesség 20-40%-át. Sok szervet megtámad, a klinikai tünetek változatosak. Az izomszöveti sejtekbe ágyazódva a hússal, a székletszennyeződés révén pedig a vízzel terjed. Fertőzési forrás a macskaürülék porának belélegzése is.

A *Cryptosporidium parvum* humán patogén protozoon. A 80-as években mutatták ki az USA-ban, hogy HIV-fertőzött betegeknél sok esetben ez a mikroba volt felelős az elhalálzásért, de normális immunitású egyéneknél is megtalálták

mint kórokozó ágenst. A fertőzési forrás a legtöbb esetben az ivóvíz volt. A fertőzést követően egészséges immunrendszerű egyéneknél általában enyhe hasmenés alakul ki, amely 2-4 nap alatt magától megszűnik. Súlyosabb esetekben erős hasmenés, hányás és kiszáradás is előfordul, sőt a légzőrendszer nyálkahártyáját is megfertőzheti. Különösen veszélyeztetettek a közösségben élő gyerekek és az immungyenge egyének. A fertőződés oocisztával történik. A fertőzés forrása általában a fertőzött élelmiszer és víz, de emberről emberre vagy állatról emberre is átterjed. Jelen esetben is a higiéniai rendszabályok betartásával lehet leghatékonyabban távoltartani a parazitát. Fontos a megfelelően kezelt ivóvízzel való ellátás biztosítása. Az oociszta sokáig életben marad tengervízben is, ezért gyakran izolálható kagylókból. Fontos az élelmiszer megfelelő hőkezelése, húsok esetén a fagyasztás is elpusztítja az oocisztákat.

A protozoonoknak gyakran összetett életsiklusuk van, amelyben két vagy több gazdaszervezet szerepel, és az életsiklus része olyan ciszta vagy kitartóképlet is, amely a gazdaszervezeten kívüli túlélést biztosítja. Terjedésük vízzel (ivóvíz, uszodai víz, természetes vizek) gyakoribb, mint élelmiszerekkel, az utóbbi módon többnyire a megtámadott háziállatok húsa fertőz. Gyakori fő gazdaszervezetek a macska, kutya, sertés és más háziállatok, és az ember csak köztesgazda, viszont több esetben az ember a parazita elsődleges élőhelye.

Megelőzésében legfontosabb az általános, de különösen a személyi higiénés rendszabályok betartása. A fertőzött területeken kerülni kell a nyers zöldség és gyümölcs fogyasztását, és figyelembe kell venni, hogy a klóros vizes mosás nem pusztítja el a cisztákat.

6. A MIKROORGANIZMUSOK PATOGENITÁSA

A **patogenitás** fogalmán azt értjük, hogy valamely mikroorganizmus faj egyedei képesek betegséget okozni egy másik faj egyedein. A **virulencia** a megbetegítő képesség kiterjedtségét, erősségét jelenti. A biotróf kórokozók élő szövetekben, a nekrotróf kórokozók elhalt szövetekben (gyakran a kiválasztott toxikus anyagcsere-termékeikkel ők pusztítják el a szöveteket) tenyésznek. Az opportunisták kórokozók csak hajlamosító tényező (prediszpozíció) által érzékenyvé tett szervezetet támadnak meg. Ilyen prediszpozíciót jelenthet a cukorbetegség, a HIV-fertőzöttség. A **fertőzőképesség** a kórokozónak az a képessége, hogy fertőzést tud kezdeményezni a gazdaszervezet valamely pontján. Az **inváziós képesség** azt jelenti, hogy a kórokozó mikroorganizmus a fertőzési pont környezetében lévő sejtekbe, sőt távolabbi szövetekbe is behatol. **Kompatibilis** az a gazda-patogén kapcsolat, amelyben esély van a fertőzésre és a betegség kialakulására. A kompatibilitás ritka (kivételt képez például a *Phymatotrichum omnivorum* mikroszkopikus gomba, amely 2000 virágos növényfajon képes betegséget okozni. A gazda-patogén kapcsolatokra sokkal inkább jellemző a nagyfokú specificitás, vagyis egy-egy kórokozónak csupán bizonyos fajalatti változatai képesek tömeges megbetegedést okozni valamely gazdán, és olykor e gazdának is csak térben és időben meghatározott populációján. **Kontaminációról** beszélünk, ha olyan mikroorganizmus került a gazdaszervezetre (be), amelyik nem okoz fertőzést (nem kórokozó az adott gazdán), vagy ha a kórokozónak a helytévésztés következtében nincs esélye a behatolásra. Ugyanakkor a kontamináció kifejezést használjuk abban az esetben is, ha a gazdaszervezet nem magával a mikroorganizmussal, hanem annak toxinjával, mérgező anyagcsere-termékével kerül kapcsolatba.

A **nemspecifikus ellenállóságot** fizikai gátló tényezők (bőr, nyálkahártya, légzőszervek csillói, láz), kémiai gátló tényezők (lizozim, interferonok, bakteriocinek) és biológiai gátló tényezők (normál endogén mikrobióta, fagociták) alkotják. Ezek a tényezők a mikroorganizmusok támadása nélkül is jelen vannak a szervezetben, fertőzés nélkül is működnek, illetve működésbe hozhatók. Ezzel szemben az **immunválasz** a szervezetbe bekerült mikroorganizmusokkal és idegen makromolekulákkal szembeni fajlagos ellenanyagok termelését jelenti.

A környezeti tényezők befolyásolják a kórokozók tulajdonságait, a gazdaszervezet kitettségének mértékét. A hőmérsékletnek csak kismértékű növekedése is jelentősen fokozza például az élelmiszer mikrobás szennyezettségét. A fogyasztói igények kielégítésére alkalmazott kíméletesebb tartósító eljárások szintén növelik a kórokozók túlélésének kockázatát az élelmiszerben.

A molekuláris biológiai ismeretek által értelmezhetővé válnak a virulencia-tényezők változásai, az antimikrobás rezisztencia kialakulása és fokozódása, új patogén mikrobák megjelenése. A környezetnek a genetikai mutánsokra gyakorolt szelektív hatása kézenfekvő magyarázat a kórokozók evolúciójára. A mikroorga-

nizmusokban azonban további lehetőségek is nyílnak a genetikai változásokra, a virulenciafaktorok génjeinek átadására. Ezek gyakran plazmidokon helyezkednek el, vagy a genom ún. patogenitási szigetein halmozódnak fel, és képesek egyik sejtől a másikba átjutni. A vírusok, bakteriofágok szintén közvetítik ezeket a virulenciagéneket. Az *E. coli* több törzse teljes genomszekvenciájának összehasonlítása feltárta, hogy az ártalmatlan és a kórokozóvá vált törzsek közt jelentős különbségek vannak, a virulens törzsből a genetikai állomány számottevő többlete mutatkozik.

A természetes szelekciót fokozzák az élelmiszer-feldolgozás és -tartósítás folyamán a mikrobákra gyakorolt stresszhatások. Az utóbbi években váltak ismertté azok a genetikai elemek, amelyek az általános stresszválaszt szabályozzák a baktériumsejtekben, és azok a fehérjék (szigma faktorok), amelyek a hő-, ozmózis, pH- és oxidatív stresszhatásokat, a tápanyaghiányt érzékelik és a rájuk adott válaszban szerepelnek. A túlélő sejtek fokozottan alkalmazkodnak a stresszhatásokhoz, amelyek mind az élelmiszerben, mind a gazdaszervezetben érik őket. A genomszintű módszerek elterjedése a jövőben új lehetőségeket nyit a kórokozó–gazdaszervezet–környezet bonyolult kölcsönhatásainak megértésére és alkalmazására az élelmiszerek mikrobiológiai biztonságának növelése érdekében.

Kórokozó mikroorganizmusokat vagy azok toxinjait tartalmazó élelmiszerek elfogyasztása megbetegedést okozhat. Ennek kiváltói lehetnek baktériumok, gombák, vírusok, paraziták, és lehetnek élettelen tényezők is, mint például a prionok, nehézfémek, szerves peszticidok. A mikroorganizmusok okozta, élelmiszerrel közvetített megbetegedéseknek két fő típusa a fertőzés és a mérgezés. **Élelmiszer-fertőzésről** (infekcióról) beszélünk, amikor a kórokozó a szervezetbe jut, a bélcsatornában megtelepszik, azt kolonizálja, és elszaporodva megtámadja a bélnyálkahártyát és néha más szöveteket is. Az ilyen megbetegedések példái a szalmonellózis, a vírusos gastroenteritisz, a toxoplazmózis. **Élelmiszer-mérgezés** (toxikózis vagy intoxikáció) esetén a kórokozó magában az élelmiszerben szaporodik el, toxint vagy más káros anyagcsereterméket képez, amely az étellel a szervezetbe jutva megbetegíti azt. Példái a botulizmus, a sztafiloenterotoxikózis, a mikotoxikózis. Átmeneti típust képvisel az ún. toxikoinfekció, ebben az esetben az élelmiszerrel elfogyasztott kórokozó a bélcsatornában elszaporodva toxint termel, és ez váltja ki a megbetegedést. Ilyet okoz például a *Clostridium perfringens*.

6.1. A baktériumok patogenitása

6.1.1. Humán- és állatpatogén baktériumok

A **fertőzési kapu** a kórokozó behatolási helye (a bőr sérülései, az emésztőrendszer, a légzőszervek, az urogenitális traktus és a placenta). Minden emésztőrendszeren keresztül behatoló baktérium esetében lényeges a viszonylagos savtűrő

képesség. A patogenításban fontos faktornak számítanak a megtapadást biztosító anyagok és struktúrák (a glikokalix ragadós poliszacharidjai, az adhéziós fehérjék, a lipoteichonsav, a fimbriák). A gazdaszervezet receptorai glikoproteinek vagy komplex lipidek lehetnek. Egyes humánpatogén baktériumok extracelluláris enzimeket választanak ki, amelyek a hámsejtek szerkezetét vagy a vér védekezési reakcióit károsítják. Ilyen extracelluláris enzimek a következők: mucináz (a sejtek nyálkás bevonatát bontja), kollagenáz (a kötőszöveti rostokat roncsolja), hialuronidáz (a sejtek közötti kötőanyagként szolgáló hialuronréteget emészt), koaguláz (a plazma kicsapódását váltja ki), kináz (a fibrinhálózat kialakulását akadályozza meg), leukocidin (a leukocitákat károsítja).

Jelentős patogenitásfaktorok a baktériumtoxinok. Az **exotoxinok** oldható fehérjék, melyet a baktériumok választanak ki. Az exotoxinok csoportjába tartoznak a neurotoxinok, a citotoxinok, az enterotoxinok. A neurotoxinok az ingerület normális továbbítását zavarják meg (például a tetanusz-toxin, a botulinum-toxin). A citotoxinok enzimes támadással pusztítják el a gazdaszövetet (például a diftéria-toxin, a sztreptolizin). Az enterotoxinok rendellenesen stimulálják az emésztőrendszer sejtjeit (például a kolera-toxin, a shiga-toxin). Az **endotoxinok** csak a baktériumsejt károsodásakor, lízise alkalmával szabadulnak ki. Lipid természetűek.

Egyes kórokozók periodikusan módosítják felületi antigénjeik szerkezetét (antigén-variabilitás), és ezáltal előnyre tesznek szert, mivel a gazdaszervezet mindaddig védtelen marad, amíg immunrendszere nem kezdi el az új, megfelelő antitesteket szintetizálni. Más kórokozók olyan molekulákat szintetizálnak, amelyek antigénsajátságaik alapján hasonlítanak a gazdaszervezet makromolekuláihoz (antigén-mimikri).

A fertőzés terjedésének lehetőségei: közvetlen kontaktus, foglalkozási betegség, cseppfertőzés, ivóvíz, ételmérgezés, iatrogén fertőzés.

A legtöbb mikrobás eredetű ételmiszer-megbetegedés a gyomor- és bélrendszerben jelentkező heveny (akut) tünetekkel jár, mint a rosszullet, hányás, hasmenés, olykor láz. Fertőzés esetén ezek a tünetek általában néhány nap alatt jelentkeznek, a kórokozótól, a gazdaszervezet állapotától függően. Az ételmiszer-mérgezés akut tünetei sokkal gyorsabban, órák alatt jelentkeznek. Több ételmiszer-megbetegedés következménye idült (krónikus) tünetekben is megnyilvánul.

6.1.2. Növénypatogén baktériumok

A legtöbb növénypatogén baktérium mozgással keresi fel a gazdanövényt. A mozgást kémiai ingerek váltják ki (kemotaxis). Fajlagos felismerést tesznek lehetővé azok a receptorok, amelyek a növények felszínén, olykor sérült szövetek sejtjein találhatóak. Ezek a receptorok többnyire lektinek, olyan glikoproteinek, amelyek az antigénekhez hasonló fajlagos kapcsolódási helyeknek felelnek meg. Jelentős szerepe van a virulenciában a baktériumok sejtfalának is, mivel a növényi receptorhelyek-

hez a baktériumok lipopoliszacharidjai kapcsolódnak. Fontos virulenciafaktorok a glikokalix extracelluláris poliszacharidjai (EPS). Az EPS nem csak fizikai védelmet jelent, hanem közömbösítheti a gazdanövény védekezőrendszerének egyes elemeit. Az EPS nagy mennyiségű vizet képes felvenni a környezetből. Ha extracelluláris poliszacharidokat szintetizáló baktériumok telepednek meg a sejt közötti járatokban, ezek a járatok vízzel telítődnek, lédús környezet jön létre, ami kedvez a baktériumok további szaporodásának. Az EPS képes megakadályozni a baktérium és a gazdasejt közötti közvetlen kapcsolatot. Ha ez a kontaktus nem jön létre, nem történik meg a növény részéről a felismerés, és nem váltódnak ki a védekezési reakciók.

A növénypatogén baktériumok esetén is fontos patogenitási faktorok a toxinok. A klorózist előidéző toxinok hatására jellegzetes sárga udvar keletkezik az elhalt szövetek között (például a dohányvésztoxin). A hervadást okozó toxinok közé tartozik az almafa hajtáscsúcs-hervadását okozó *Erwinia amylovora* amilovorin toxinja.

6.2. A gombák patogenitása

6.2.1. Humánpatogén gombák

Egyes gombafajoknál az evolúció során termikus dimorfizmus fejlődött ki, melynek következtében a hűvösebb külső környezetben micéliumos alakban élnek, a megtámadott oxigénszegény környezetben pedig ilesztő alakot vesznek fel. Patogenitási faktor a spórák mérete is. Azokat a gombákat, amelyeknek spórái vagy micéliumfragmentumai aprók, könnyebben lélegzi be az ember, és a nagyobb spóratömeg jobb eséllyel tud fertőzést kezdeményezni. A humánpatogén gombáknak is vannak megtapadást segítő képleteik, ők is kiválasztanak ragadós anyagokat, extracelluláris enzimeket, és makromolekuláik képesek erős gyulladásokat okozni.

A szisztémás mikózisok esetén a fertőzés szétterjed a szervezetben, megtámadja a belső, létfontosságú szerveket, és kimenetele halálos is lehet (például a *Histoplasma capsulatum* és a *Coccidioides immitis* okozta mikózisok).

Szubkután mikózisok esetén a kórokozók (például a *Madurella*) közvetlenül a bőr alatt lévő szöveteket támadják meg, és bőr alatti daganatokat indukálnak.

A bőrmikózisokat a nem élő epidermiszszöveteken (hajon, körmön) megtelepedett gombák (főként *Microsporum* és *Epidermophyton* fajok) okoznak. Csak a bőrt és a bőrfüggelékeket (haj, köröm, szőrzet) támadják meg. Gyakran krónikus gyulladás kíséri a fertőzést, amit allergiás hatások is követhetnek. Lehetnek zoofilek, geofilek és antropofilek aszerint, hogy a fertőzést állatoktól, a talajról, illetve másik emberrel történő közvetlen vagy közvetett kontaktus útján lehet megkapni.

Opportunistikus mikózist okozó gomba például a *Candida albicans*, amely helyi fertőzéseket vált ki a test különböző nyálkahártyáin. A természetben elter-

jedt szaprofita gombák egészséges embereket általában nem betegítenek meg, hajlamosító tényezőkre van szükség, hogy ezek a gombák belső szervei mikózisokat okozzanak. Ebbe a csoportba tartozik az *Aspergillus fumigatus* penészgomba is.

A mikotoxinok másodlagos anyagcseretermékek, melyek szerepet játszanak a gombafajok egymás közti és a baktériumokkal szembeni vetélkedésben. A másodlagos metabolitok termelése a gombaszaporodás exponenciális szakaszának a végére jellemző. Általában sejtmérgek (citotoxikumok), egyes sejtalkotókra vagy sejtfunkciókra (fehérje- vagy nukleinsav-szintézis) hatnak. Rendkívül hatékony mérgek, igen kis koncentrációban hatnak, és a kis dózisok hatása kumulálódik. Az emberi egészségre nézve rákkeltő és idegrendszert károsító hatásúak, ellenálló képességet korlátozó és fejlődési rendellenességeket kiváltók.

Az ember a mikotoxinokkal a növényi és állati táplálék szennyezettsége révén kerül kapcsolatba. Sok mikotoxinogén gomba a környezetben mindenhol előfordul.

Az aflatoxint az *Aspergillus flavus* és az *Aspergillus parasiticus* gombák termelik. A toxin aktiválja az anyagcserét, kovalensen kötődik a DNS-hez, ami sejthalálhoz, illetve alapvetően megváltozott sejt folyamatokhoz vezet. Igen erős rákkeltő.

Az ochratoxint elsősorban a *Penicillium verrucosum* és az *Aspergillus ochraceus* termeli. A toxin gátolja a fenilalanin-szintézist, a fehérje- és DNS-szintézist, csökken a glükoneogenezis és beáll a sejthalál. Hatására különösen a vese reagál érzékenyen.

6.2.2. Növénykórokozó gombák

A növények és a patogén gombák között kialakuló kapcsolat első lépése az egymásra találás, mely folyamatban a helyhez kötött növények szerepe teljesen passzív, de a gombákat is többnyire a szél, a víz, a rovarok vagy egyéb vektorok szállítják. Egyes képviselők gazdaspecifikus kemotaxisra képesek zoospóráik révén. A növény felszínén megtapadt spórák nyálkás burkában poliszacharidok által indukálható extracelluláris sejtfalbontó enzimek vannak, mint amilyenek a pektinázok, a cellulázok és a kutinázok. A gazdaspecifikus toxinok csak azokon a növényi genotípusokon okoznak kárt, amelyek fogékonyak a toxint szintetizáló kórokozóra. Például a zabot fertőző *Cochliobolus victoriae* a viktorint, a kukoricát fertőző *Cochliobolus carbonum* pedig a HC-toxint termeli.

SZAKIRODALOM

- ABBAS, Hamed K.
2005 *Aflatoxin and food safety*. Boca Raton, CRC Press
- ADAMS, Martin R.–Moss, Maurice O.
2008 *Food Microbiology*. Cambridge, RSC Publishing
- AGARWAL, S.–CAPLIVSKI, D.–BOTTONNE, E. J.
2005 Disseminated tuberculosis presenting with finger swelling in a patient with tuberculous osteomyelitis: a case report. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials* 4. 18.
- AHMADZADEH, Masoud–TEHRANI, Abbas Sharifi
2009 Evaluation of fluorescent pseudomonads for plant growth promotion, antifungal activity against *Rhizoctonia solani* on common bean, and biocontrol potential. *Biological Control* 48. 101–107.
- AL-KAZAY, G. K.–KSHASH, Q. H.
2014 Isolation of *Pseudomonas aeruginosa* from ewes milk of clinical and subclinical mastitis in Al-Diwaniyah city. DOI: 10.3906/sag-1711-102.
- BACKER, Howard–HOLLOWELL, Joe
2000 Use of iodine for water disinfection: iodine toxicity and maximum recommended dose. *Environmental Health Perspectives* 108. 8. 679–684.
- BAZILINSKI, Dennis A.–FRANKEL, Richard B.
2003 Biologically controlled mineralization in prokaryotes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 54. 1. 217–247.
- BERNER, Don J.–KRIEG, Noel R.–STANLEY, James T. (eds.)
2005 *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (second edition). New York, Springer Science and Business Media Inc.
- BÉLÁDI Ilona–NÁSZ István (szerk.)
1997 *Orvosi mikrobiológia*. Budapest, Semmelweis Kiadó
- BITTON, Gabriel (ed.)
2002 *Encyclopedia of Environmental Microbiology*. New York, Wiley Interscience Publication
- BORSODI Andrea et alii
2013 *Bevezetés a prokarióták világába*. Budapest, Eötvös Lóránd Tudományegyetem
- BORSODI Andrea–MÁRIALIGETI Károly
2015 *Mire képesek a baktériumok?* Budapest, Eötvös Lóránd Tudományegyetem
- CAPPUCINO, J. G.–WELSH, C.
2020 *Microbiology A laboratory manual*. 12th edition. Hoboken, Pearson Education

- DEÁK Tibor (szerk.)
2006 *Élelmiszer-mikrobiológia*. Budapest, Mezőgazda Kiadó
- DIJKSTERHUIS, Jan.–SAMSON, Robert A.
2007 *Food Mycology*. New York, CRC Press
- DILWORTH, Michael J. et alii
2008 *Nitrogen-fixing leguminous symbioses*. Netherlands, Edit. Springer
- DOYLE, Michael P.–BEUCHAT, Larry R.–MONTVILLE, Thomas J.
2001 *Food microbiology. Fundamentals and frontiers*, 2nd Edition. Washington, ASM Press
- DUNCA, Simona et alii
2004 *Microbiologie aplicată*. Iași, Editura Tehnopress
- ENACHE, Traian et alii
2005 *Toxiinfecții alimentare prin alimente de origine animală contaminate cu Shigella spp.* București, Editura Coral Sanivet
- FIALA, G.–STETTER, K.
2004 *Pyrococcus furiosus* sp. nov. represents a novel genus of marine heterotrophic archaeobacteria growing optimally at 100 °C. *Archives of Microbiology*.
- FLINT, Jane et alii
2015 *Principles of virology* 4th edition. Washington, ASM Press
- FRAGA, Tatiana Rodrigues et alii
2015 Leptospira and leptospirosis. In: Tang, Y. W. – Sussman M. – Liu, D. – Poxton, I. – Schwartzman, J. (eds.): *Molecular Medical Microbiology*. 2nd edition. London, Academic Press 1973–1990.
- FUNK, Duane–PARILLO, Joseph E–KUMAR Amand
2009 Sepsis and septic shock: a history. *Crit Car Clin*. 25. 1. 83–101.
- GREBER, U. F. (esd.)
2019 *Physical Virology*. Virus structure and mechanics. Cham, Springer Nature
- GREEN, Lorrence H.–GOLDMAN Emanuel
2021 *Practical handbook of microbiology*, fourth edition. Boca Raton, CRC Press
- GOSINK, J. J.–STALEY, J. T.
1995 Biodiversity of gas vacuolate bacteria from Antarctic Sea ice and water. *Applied and Environmental Microbiology* 61. 9. 3486–3489.
- GYÖRGY Éva et alii
2006 Csíkszereda és Szentegyháza környéki ásványvizek mikrobiológiai vizsgálata. *Orvostudományi Értesítő* 79. 1. 133–136.
- GYÖRGY Éva et alii
2007 Gyergyóújfalui ásványvizek és kútvizek mikrobiológiai vizsgálata. *Orvostudományi Értesítő* 80. 1. 67–69.

GYÖRGY Éva et alii

2008 Mikotoxinogén penészgombák vizsgálata és az általuk termelt mikotoxinok analitikai kimutatása fűszerekből és takarmányokból. *Orvostudományi Értesítő* 81. 4. 275–278.

HAN, S.J. et alii

2015 Complete genome sequence of *Mycobacterium tuberculosis* K from a Korean high school outbreak, belonging to the Beijing family. *Standards in Genomic Sciences* 10. 78.

HARRIGAN, W. F.–PARK, R. W. A.

1994 *Biztonságos élelmiszerek előállítása*. Budapest, Mezőgazda Kiadó

HENDRICKSON, Heather Lyn

2007 *Chromosome architecture and evolution in Bacteria*. University of Pittsburgh

HESZKY László–FÉSÜS László–HORNOK László

2005 *Mezőgazdasági Biotechnológia*. Budapest, Agroinform Kiadó

HOSSEINKHAN, N.–ALLAHVERDI, A.–ABDOLMALEKI, F.

2021 The novel potential multidrug-resistance biomarkers for *Pseudomonas aeruginosa* lung infections using transcriptomics data analysis. *Informatics in Medicine Unlocked* 22. 100509.

JAY, James M.

2000 *Modern food microbiology*, 6th edition. Gaithersburg, Aspen Publishers

JURCOANE, Ștefana et alii

2006 *Tratat de biotehnologie*, vol. II. București, Editura Tehnică

KAPSETAKI, S. E.

2015 *Predation and the evolution of multicellularity*. University of Oxford

KERTAI Pál

1982 *Közegészségtan*. Budapest, Medicina Könyvkiadó

KURAMITSU, Howard K. et alii

2007 Interspecies interactions within oral microbial communities. *Microbiology and molecular biology reviews* 71. 4. 653–670.

LESLIE, John F.–BANDYOPADHYAY, Ranajit–VISCANTI, A.

2008 *Mycotoxins*. Trowbridge, Cromwell Press

LUTZ, Carla et alii

2013 Environmental reservoirs and mechanisms of persistence of *Vibrio cholerae*. *Frontiers in Microbiology* 4. 375.

MADIGAN, Michael T.–MARTINKO, John M.–PARKER, Jack

2003 *Brock Biology of Microorganisms*, 10th Edition. London, Prentice Hall

MAGAN, Naresh–OLSEN, Monica (ed.)

2004 *Mycotoxins in food: Detection and control*. Cambridge, Woodhead Publishing

- MANIKPRABHU, Deene–LINGAPPA, K.
2013 Microwave assisted rapid bio-based synthesis of gold nanorods using pigment produced by *Streptomyces coelicolor* klmp33. *Acta Metallurgica Sinica* 26. 5. 613–617.
- MARA, Duncan–HORAN, Nigel
2003 *The handbook of water and wastewater microbiology*. London, Academic Press
- MATIAS, Valério R. F. et alii
2003 Cryo-Transmission Electron Microscopy of Frozen-Hydrated Sections of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Bacteriology* 185. 20. 6112–6118.
- MATSUSHITA, Yosuke
2013 Chrysanthemum Stunt Viroid. *JARQ* 47. 3. 237–242.
- MĂNESCU, Sergiu (red.)
1989 *Microbiologie sanitară*. București, Editura Medicală
- MIHĂESCU, Grigore–GAVRILĂ, Lucian
1989 *Biologia microorganismelor fixatoare de azot*. București, Editura Ceres
- MOAT, Albert G.–FOSTER, John W.–SPECTOR, Michael P.
2002 *Microbial physiology*. New York, Wiley Liss
- MUKERJI, K.G.–MANOHARACHARY, C.–SINGH, Jagjit (eds.)
2006 *Microbial Activity in the Rhizosphere*. Berlin–Heidelberg, Springer-Verlag
- MUNTEAN, Vasile
2009 *Microbiologie generală*. Cluj-Napoca, Presa Universitară Clujeană
- NEVÁREZ-MOORILLÓN, Guadalupe Virginia et alii (eds.)
2020 *Food Microbiology and biotechnology. Safe and suitable food production*. Burlington, Apple Academic Press
- PAPP Judit
2009 *Általános mikrobiológia* I. Kolozsvár, Kriterion Könyvkiadó
- PESTI Miklós (szerk.)
2001 *Általános mikrobiológia*. Budapest, Dialog Campus Kiadó
- PFEIFER Felicitas
2015 Haloarchaea and the formation of gas vesicles. *Life* 5. 385–402.
- PREEDY, V. R.–BURROW, G. N.–WATSON, R. R. (eds.)
2009 *Comprehensive Handbook of iodine*. Burlington, Academic Press
- PRIETO, Ana Allende et alii
2016 Risks for public health related to the presence of *Bacillus cereus* and other *Bacillus* spp. Including *Bacillus thuringiensis* in foodstuffs. *EFSA Journal*.
- QIU, Cai-ling et alii
2016 Occurrence and molecular characterization of *Potato spindle tuber viroid* (PSTVd) isolates from potato plants in North China. *Journal of Integrative Agriculture* 15. 2. 349–363.

- RHOADES, J. R.–DUFFY, G.–KOUTSOUMANIS, K.
2009 Prevalence and concentration of verocytotoxigenic *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in the beef production chain: A review. *Food Microbiology* 26. 357–376.
- ROZGONYI, Ferenc (szerk.)
2006 *Klinikai járóbeteg-szakorvosi és háziorvosi microbiologiai gyorsdiagnostica* I. kötet Bacterialis fertőzések diagnosticája. Budapest, Homir.
- SINGH, Neena et alii
2019 Redox Control of Prion and Disease Pathogenesis. *Antioxidant & Redox Signaling* 12. 11. 1271–1294.
- STEWART, Graham G.
Brewing and distilling yeasts. Cham, Springer International Publishing
- TIAN, J.–Sinskey, A. J.–Stubbe, J.
2005 Kinetic studies of polyhydroxybutyrate granule formation in *Wautersia eutropha* H16 by transmission electron microscopy. *Journal of Bacteriology* 187. 11. 3814–3824.
- VELICER, G. J.–VOS, M.
2009 Sociomicrobiology of Myxobacteria. *Annual Review of Microbiology* 63. 599–623.
- YASER, Noor Aini et alii
2014 Isolation and identification of bioluminescent bacteria in squid and water of Malaysia. *Int'l Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg.* (IJAAEE) 1. 2. 225–228.
- WANG JINGANG et alii
2020 Reliable and efficient *Agrobacterium tumefaciens*-mediated genetic transformation of *Dianthus spiculifolius*. *Horticultural Plant Journal* 6. 3. 199–204.
- WESSNER, David R. et alii
2017 *Microbiology*. Hoboken, John Wiley & Sons
- ZARNEA, G. (red.)
1984 *Tratat de microbiologie generală*. București, Editura Academiei Române

REZUMAT

Microbiologie generală

Acest curs universitar de microbiologie generală este structurat în 6 capitole, din punctul de vedere al conținutului. După definirea obiectului de studiu al microbiologiei și al termenului de microorganism, în partea de scurt istoric am urmărit dezvoltarea și importanța microbiologiei de la începuturi până în prezent. În capitolul de bacteriologie sunt prezentate amănunțit proprietățile morfologice, structurale și fiziologice ale celulei bacteriene, care fac posibile, în continuare, înțelegerea mai bună a funcțiilor vitale la bacterii. În capitolul cu titlul „Diversitatea procariotelor”, scopul a fost prezentarea principalelor grupuri sistematice de bacterii și reprezentanții acestora. Capitolul de virusologie conține cunoștințele legate de virusuri și agenții subvirali. Capitolul cu titlul „Microorganisme eucariote” cuprinde prezentarea caracteristicilor generale și importanța micromicetelor, algelor microscopice și a protozoarelor. În ultimul capitol s-au prezentat generalități asupra patogenității microorganismelor, în cazul bacteriilor și a micromicetelor.

ABSTRACT

General Microbiology

Regarding its content, the present general microbiology book consists of 6 chapters. The definition of the subject matter of microbiology and of the concept of microorganism is followed by the historical review containing a description of the development of the science of microbiology and its importance from the beginnings until now. In the chapter on bacteriology, the morphological characteristics of the bacterial cell, the structural and physiological properties are presented in detail, which allows us a better understanding of the vital functions of bacteria. The aim of the chapter entitled *The diversity of prokaryotes* is to review the major important taxonomical groups of bacteria and their representatives. The chapter on virology contains information related to viruses and subviral agents. The chapter entitled *Eukaryote microorganisms* combines the presentation of the characteristics and the importance of micromycetes, microscopic algae, and protozoa. In the final chapter, the pathogenicity of bacteria and fungi is presented in general terms.

A SZERZŐRŐL

Dr. György Éva biológus egyetemi tanulmányait a kolozsvári Babeş–Bolyai Tudományegyetem Biológia Karán végezte, 2006-ban védte meg doktori dolgozatát. 2003-tól a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Csíkszeredai Karának oktatója, egyetemi docens, az Élelmiszer-tudományi Tanszék vezetője. Kutatási területei a mikrobiológia, a biotechnológia és növénytan.

Scientia Kiadó

400112 Kolozsvár (Cluj-Napoca)

Mátyás király (Matei Corvin) u. 4. sz.

Tel./fax: +40-364-401454

E-mail: scientia@kpi.sapientia.ro

www.scientiakiado.ro

Korrektúra:

Szenkovics Enikő

Műszaki szerkesztés:

Metaforma Kft.

Tipográfia:

Könczey Elemér

Nyomdai munkálatok:

F&F INTERNATIONAL Kft.

Felelős vezető: Ambrus Enikő igazgató

Az Általános mikrobiológia egyetemi jegyzet alapozó ismereteket tartalmaz, amelyek segítik más mikrobiológia alapú szaktantárgyak elsajátítását és mélyebb megértését. A mikroorganizmusok világának, életvékenységének és jelentőségének széles körű bemutatása azt a célt is szolgálja, hogy felkeltse a hallgatók érdeklődését a tudományos kutatás iránt, ugyanakkor érdekes olvasmány lehet azok számára is, akiket egyszerűen csak lenyűgöz a mikroorganizmusok sokszínű világa.

ISBN 978-606-975-048-3



9 | 786069 | 750483