

A NÖVÉNYFESTÉKEK KÉPZŐDÉSE

GIMESI N., GARAY A., FARKAS G. és POZSÁR B.

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Növényélettani Intézet

(Érkezett: 1950. december 28.)

A növényi festékanyagok keletkezését a múlt század kutatói igen különbözően magyarázták. Többek közt néhány eset általánosítása nyomán egyesek arra a véleményre jutottak, hogy a fény mindig nélkülözhetetlen a növényi festékek képződésében.*

A szerves chemia gyors fejlődése lehetővé tette a vonatkozó anyagok chemiai szerkezetének tüzetesebb megismerését, s ezzel kapcsolatban a physiko-chemiai módszerekkel dolgozó élettani kutatás iránya nagy mértékben fordul ezek keletkezésének, alakulásának részletes tanulmányozása felé. A botanika és zoológia, valamint a chemiai tudományok határtudományai megalakultak és pedig elsősorban igen fontos ezek között az életfolyamatok megismerése szempontjából a módszereikben újszerű biochemia, enzymologia, biokolloidika, histophysiologia, histochemia stb., amelyek a biológiai megismerést igen hatékonyan támogatják.

Szinte áttekinthetetlen azoknak a vizsgálatoknak száma, amelyek a növényi festékek keletkezésére vonatkoznak. Nem lehet feladatunk a baktériumok, moszatok, gombák igen nagy számú és különböző természetű színanyagainak megközelítő ismertetése sem. A zöld növény egyes színanyagainak képződését tárgyaljuk csupán és pedig részint a rendelkezésre levő irodalom, részint megfigyeléseink és kísérleteink alapján. Röviden érintjük a chlorophyll, valamint a carotinoidák keletkezésének problematikáját, s részletesebben foglalkozunk a melaninok és anthocyanok képződésének és szerepének élettanával.

A legtöbb zöld növény chlorophyllképződése sötétben akadályozott, ellentétben a carotin és xanthophyll többé-kevésbbé sötétben is szabályos alakulásával. A jelenséget *Bünning* (5.) szerint az etiolálódástól meg kell különböztetnünk, mert egyes növények (moszatok, mohák, harasztok, fenyőfélék) sötétben a chlorophyll megfelelő képződése kíséretében is etiolálódnak.

Lubimenko és *Hubbenet*-(26.)nek a chlorophyll képződésére vonatkozó hőkezeléses vizsgálatai nyomán ismeretes, hogy a leucochlorophyll (leuco-phyll) átalakulása chlorophyllogénné enzymatikus úton katalysált folyamat.

* A jelen dolgozatot előadásnak szántam és ezért itt nem kívánom a kísérleti adatok és módszerek részletezését, mert elsősorban a melanin képződését tárgyaló dolgozatunkban azt már teljesítettük. (*Gimesi* és munkatársai: A melaninképződés vizsgálata a növények fejlődésének egyes szakaszaiban és összefüggése a lélekzéssel című dolgozatban, ami megjelent a Budapesti Tudományegyetem Biológiai Intézeteinek Évkönyvében. Továbbá *Gimesi* és munkatársai: Az anthocyanok képződésének élettanáról című, sajtó alatt levő munkálatban az alkalmazott módszerek részletesebben megtalálhatók.)

Ez utóbbi jellegre enged következtetni a vashiány tüneteként jelentkező, csökkent métrékű chlorophyllképzés (chlorosis).

Igen lényeges mozzanat a chlorophyll keletkezésében is a réz és mangán szerepének (43.) vizsgálata hazai viszonylatokban is. Az élősködő növények esetében a fény és a chlorophyllase aktivitásától is függő chlorophyllok képződés-vizsgálata, úgy látszik, igen fontos kutatás-irányt jelezhet az élősködés anyagcsere típusainak felderítésében.

A carotinoidák képződésére vonatkozóan kevés vizsgálat ismeretes. Többen úgy vélik, hogy fény nem szükséges a carotinoidák keletkezéséhez. Mindenesetre meg kell jegyeznünk, hogy a *Daucus carota* carotinjáról nem tudjuk, vajjon a gyökérben képződik-e, avagy a levélben.

Lubimenko (25.) vonatkozó vizsgálatai szerint széndioxid légkörben, vagy 30 C°-nál magasabb hőmérsékleten (8.) a paradicsom termésében nem lycopin, hanem flavon természetű festék (10.) keletkezik.

Zechmeister (57.) vizsgálatai arra utalnak, hogy a carotinoidák synthesise optimális külső feltételek (hő, fény, oxygen esetén szintelen alapanyagok) (isopren) enzimatis redutiójával történik.

Karrer (18.) szerint a lycopin képződése phytolaldehydből benzoin-condensatio útján lehetséges. 40 szénatomnál kevesebb szénatomot tartalmazó carotinoidák oxydatiós folyamatok eredményeként 40 szénatomos molekulából (19.) is létrejöhetnek.

Közismert bizonyos carotinoidáknak egyes szervezetekben és szervekben mutatókozó sensibilisator szerepe, valamint közreműködésük a generatív phasisban. Itt megemlíthetjük, hogy a magasabbrendű növények generatív szakaszát a festékekeletkezés tekintetében még alig vizsgálták.

Ezek után rátérünk az általunk bővebben vizsgált melaninok és anthocyanok keletkezésének kissé részletesebb tárgyalására.

Melaninok neve alatt azokat a sötétbarna, illetőleg főként fekete vegyületeket foglaljuk össze, melyek phenol-természetű anyagokból keletkeznek és egyetlen physikai oldószerük a forró, tömény kénsav. Chemiai szerkezetük ismeretlen. Proanyagukként az adrenochromot, illetőleg hallachromot jelöljük meg.

Szerepükről is rendkívül homályosak a foglaimnk. Gyakran képződnek növényi betegségekkel kapcsolatban, nemcsak bacteriumok hatására, hanem egyes szerzők szerint hiánybetegségek esetén is. Ebből úgy látszik, hogy mezőgazdasági szempontból sem lehet érdektelen a melaninképződés élettanának felderítése.

Élettani szempontból *Xoshida* (56.), valamint *Bourquelet* és *Bertrand* (4.) már a mult század végén foglalkoztak a melanin keletkezésével. Kísérleteik alapján feltételezték, hogy a képződésért valamely enzimát kell felelőssé tennünk. *Palladin* (36.) szerint a kérdéses enzima olymódon hat, hogy polyphenol

természetű anyagok oxydálását végzi. A kiváló orosz kutató úgy vélte, hogy nem egyetlen, hanem számos enzima szerepel a katalysisben, melyek közül a peroxydase lenne az egyik. Már ma tudjuk, hogy melaninképződésben peroxydase nem szerepel, de a polyphenoloxydaseknek döntő a jelentőségük.

Az oxydáló enzímák nomenklaturája rendkívül zavaros. Újabban *Nelson* és *Dawson* (31.) kísérletei alapján a polyphenoloxydase enzímákat tyrosinase néven egyetlen enzimának vélik. Az említett kutatók ugyanis azt találták, hogy ugyanabból a forrásból kivont enzima más sajátságokat jelez a kivonás módjától függően. Nemcsak elektrophoretikus viselkedésük, stabilitásuk stb. különbözik, hanem eltérnek egymástól substratum-fajlagosság szempontjából is. Így a melanin-képződésben is az eddig gyakran polyphenoloxydasenak nevezett tyrosinase szerepelne. A tyrosinase substratuma nemcsak tyrosin, hanem adrenalin és más ortho-helyzetű diphenolok is lehetnek. *Anderson* (1.) szerint a tryptophan is szerepelhet alapanyagként. A képződés chemiáját állatok esetében megoldották, nevezetesen a *Kephalopodák* melaninjainak keletkezésében. A tyrosin dopachinon-ná alakul, majd vízfelvétellel újból enol-configuratiót ölt, végül gyűrű-záródással hallachrom keletkezik, melyből ismeretlen módon melanin lesz. (Valószínűleg ez utóbbi folyamatokban nem szerepelnek enzímák.) *Anderson* (1.) szerint nemcsak így, hanem fehérjék decomponálódása útján is keletkezhetik.

A melanin-képződés élettanával a Budapesti Tudományegyetem Növény-élettani Intézetében is foglalkoztunk. Kísérleti objectumként a fehérvirágú *Mirabilis jalapa* mutatkozott alkalmasnak. Azt tapasztaltuk ugyanis, hogy 96%-os, vagy tömény alcoholba helyezve a friss pártákat, azok először gyengén megbarnulnak, majd mintegy két óra múlva erősen fekete színt öltenek. Köztudomású, hogy a *Mirabilis* terméstájának színe fekete, úgylátszik tehát, hogy bizonyos körülmények között már a virág maga is képes a termés fekete színének létrehozására. Első feladatunk a fekete színanyag azonosítása volt, melynek kapcsán megállapítottuk, hogy melanin. *Anderson* (1.) után a festék minőségének megállapítása céljából oldhatósági próbákat végeztünk. Miután a festék sem vízben, sem a használatos szerves oldószerekben nem oldódott, továbbá ellenállónak bizonyult hideg, koncentrált ásványi savakkal való kezeléssel szemben és csak forró, tömény kénsavban oldódott az irodalmi adatoknak megfelelően, a vizsgálat melaninre mutatott.

Élettani kutatásaink a következőkben összefoglalható eredményt nyújtják. Az alcohol és más lipoida oldószerek feltehetően elroncsolják a tyrosinase vélt, lipoida hatáshelyét, esetleg más plasmaticus szerkezeteket denaturál, s ezért indul meg a melanin képződése. Miután nem minden lipoida oldószer hatása egyértelmű, valószínűbb az a felfogás, hogy a plasma dehydrálásával is összefüggésbe hozható a tyrosinase aktivitásának emelkedése. Feltevésünket véleményünk szerint megerősítette az is, hogy mechanikus roncsoló beavatkozások nyomán ugyancsak megindult a feketedés. Meg kell jegyeznünk, hogy alcohol

jelenlétében a fekete szín nem mélyül el olyan mértékben, mintha rövid alcoholos kezelés után vízbe, vagy levegőbe helyezzük a pártát. Ennek oka nyilvánvalóan az, hogy az alcohol az enzimára bizonyos mérgező hatást gyakorol.

A melanin pro-anyaga tyrosin. Ezt igazoltuk Millon-reactioval, mely köztudomásúan a tyrosin kimutatására jól alkalmas. A *Mirabilis* fehérszínű pártájában evvel az eljárással histochemiai úton kimutattuk a tyrosin jelenlétét. Egyéb orthophenol kimutatása negatív eredménnyel járt. Bizonyítottuk továbbá oly módon is, hogy frissen szedett pártákból készült nedvkivonathoz tyrosint adtunk. Nedvkivonatunk a tyrosint elbontotta. Az enzima természetesen thermolabilis, forralás hatására elpusztul. Kísérleteink alapján hőmérsékleti optimuma 30°C , pH optimuma pedig 7,5, tehát gyengén lúgos. Működését HCN és ascorbinsav már igen nagy hígításban is gátolja. Ez utóbbi eredmények megegyeznek a vonatkozó irodalmi adatok nagy részével. Megjegyezzük, hogy az ascorbinsav hatása könnyen érthető, ha megfigyeljük a melanin keletkezés chemiai menetét. Ugyanis az ascorbinsav visszareducálja a keletkezett dopachinont, mely a festékkeletkezésnek egyik előzetes állomása (*Boswell és Whiting*) (3.). Így értelmezhetővé válik *Szent-Györgyi* (50.) megállapítása, mely szerint a polyphenoloxydaseban gazdag növények nem tartalmaznak sok ascorbinsavat.

További feladatunk az volt, hogy megvizsgáljuk, mi a festékképződés belső feltétele, melyek azok az anyagcserefolyamatok, melyekkel esetleg közeli vagy távoli kapcsolatba hozható. A kérdés megoldása céljából megvizsgáltuk, vajjon minden szerv egyaránt képes-e melanin képzésére, vagy a jelenség kizárólag a virág élettanával kapcsolatos. Kísérleti eredményeink kétséget kizáróan igazolták (a *Mirabilis* jalapáról beszélünk most csupán), hogy a fejlett növény levél-, szár- és gyökérképlete nem barnul meg ugyanazokra a hatásokra, melyek a pártá megbarnulását okozzák. A melanin-képződés tehát a virág élettanával kapcsolatos.

További vizsgálódásainkat egy feltevés határozta meg.

Feltételeztük ugyanis, hogy a melanin-képződés és a lélekzés között összefüggés található. Erre a hypothesisre a következő megfontolások jogosítottak.

1. A tyrosinase oxydatiót katalysáló fermentum, mely a *Warburg*-féle enzimához hasonlóan molekuláris oxygént activál.

2. Ismert chinonosodások esetében — pl. vágás felületeken — a lélekzés jelentékenyen megélénkül. Ezekre az esetekre vonatkozóan *Palladin* (36.) már 1908-ban megállapította, hogy a színváltozásban polyphenoloxydasék működnek.

3. A melanin-képződés oxydatiós láncá és a lélekzés közötti kapcsolat lehetőségére vonatkozóan *Baldwin* (2.) a következőt mondja: »Bizonytalan, hogy a polyphenoloxydase rendszerek a növények lélekzésében szerepelnek-e, ennek lehetőségét azonban nem szabad kizárnunk.«

Feltevésünk alapján végzett kísérleteink sikerrel jártak. Mindenekelőtt azt figyeltük meg, hogy a párta lényegesen több széndioxydot termel 15 perc alatt, mint azok a szervrészek, melyek nem feketednek.

1 gramm szárazanyagra vonatkoztatva a következő eredményt nyertük:

lomblevél	0,75 mg CO ₂
párta	4,04 « «

Mármost annak alapján, hogy a csíranövény lélekezése is igen erős, azt gondoltuk, hogy feltevésünk helyessége esetén a csíranövényeknek is meg kell feketedniök alcohol hatására. Várakozásunknak megfelelően a csíranövények valóban megfeketedtek tömény alcoholban.

A csíranövények fejlődésével arányosan a melanin képződés egyre gyengül és amint már tudjuk, a kifejlődött növény elveszti melanin-alkotó képességét. Vizsgálataink szerint a melanin képződés mértéke egyenesen arányos a lélekzés-intenzitás fokozatos csökkenésével.

Az említett adatokból azt a következtetést vonhatjuk, hogy a melanin-festék képződése és a lélekzés között összefüggés állapítható meg, azaz a növények életének megfelelő szakaszaiban a lélekzés láncba a tyrosinase enzima is bekapcsolódik, aminek következményeként melanin képződhetik. Ezek a vizsgálatok utalnak a phasisos fejlődés modern problematikájára, mivel megállapítható, hogy kísérleti növényünk fejlődésének egyes szakaszaiban a lélekzés típus változó, továbbá, hogy ezek a lélekzés típusok periodikusan jelentkezhetnek.

Vizsgálódásunk következő tárgya az anthocyan festékek keletkezésének kérdése.

Az anthocyanok általában sejtmedvében oldott festékanyagok, chemiailag phenyl-benzo- γ -pyrylium származékok, mint azt *Willstätter* (53., 54.) és *Robinson* (41., 42.) vizsgálataiból ismerjük. Jellemző indicator sajátágukat már *Marquart* (27.) észrevette és ezen az alapon először használta az anthocyan elnevezést. Megtalálhatók minden növényi szervben és szövetben, bár általában az epidermis tartalmazza legnagyobb mennyiségben őket.

Keletkezésük sejtteni vonatkozásaival többek között *Politis* (38.) foglalkozott. Vizsgálatai szerint az anthocyan mitochondriumok, vagy úgynevezett cyanoplastidák által jöhet létre. Az anthocyanok keletkezése és a chondriosomák közötti összefüggésre *Guillermont* (14.) is felhívta a figyelmet. Vizsgálatai szerint a chondriosomák osztódásuk alkalmával súlyzó alakot öltenek, amikor belsejükben anthocyan válik láthatóvá. A súlyzó kettéválásakor két pirosas »golyó« keletkezik, melyek később megnagyobbodnak és a színtelen vacuolumok falához kerülve, abba behatolnak, festéktartalmukat leadják. *Moreau* (30.) a chondriosomákban látja az anthocyan képző sejtalkatrészeket. Ezzel szemben *Löweschin* (24.) a rózsza szíromleveleiben vizsgálta sejtteni módszerekkel az anthocyan képződését és úgy találta, hogy közvetlenül a mag mellett fonal-

szerű elemek halmozódnak fel, melyek később megnagyobbodnak, majd fény hatására megpirosodnak és oldódnak. Fonalszerű anthocyan proanyagokat — chromogéneket — *Penza* (37.) is megfigyelt.

Nagyon érdekes, hogy az anthocyanok aleuron szemcsékhez kötve, illetve bizonyos növények esetében sejtfalban is jelentkezhetnek

Molisch (29.) és *Gertz* (13.) nem tartják valószínűnek, hogy az anthocyanok először szilárd formában jelentkeznek. Véleményük szerint szilárd anthocyan mindig másodlagosan válik ki az esetleg túltelített, — nagyon sötétszínű — oldatból.

Az anthocyanok képződésének és szerepének kérdése szorosan összefügg. *Noack* (33.), *Palladin* (35.) beszélnek arról a lehetőségről, hogy az anthocyanok részt vesznek a légzésben. *Noack* (32.) szerint az anthocyanaglycon és a flavon festékek között egyensúly tapasztalható, melynek helyzete függ a photosynthesis és a lélekzés viszonyától, azaz attól a viszonytól, hogy a photosynthesis kapcsán mennyi oxygen keletkezik és ugyanakkor mennyi használdik el ebből a légzésben. Ezt a véleményt némi módosítással az 1920-as évekig csaknem általánosan elfogadták, közvetlen kapcsolatot keresve az assimilatio és az anthocyan keletkezése között. *Czapek* (7.) 1913-ban kiadott könyvében az anthocyanokat a cukor-synthesis című fejezetben tárgyalja. Felfogását — tehát azt, hogy a fölös assimilatumok anthocyanokká alakulnak — számos megfigyeléssel, sőt néhány kísérlettel is támogatja. Az anthocyan képzéshez és a photosynthesishez egyaránt fény kell. *Wulff* (55.) és *Gertz* (12.) szerint a magas hegységek fényben dús, illetőleg az északi vidékek hosszú nyarú területein a növények virága és vegetatív szervei sok anthocyant tartalmaznak. Számos növény sötétben nem termel anthocyant, illetőleg lényegesen kevesebbet. *Overton* (34.) szerint anthocyan képződött a levelekben, ha azokon sebet ejtett és egy-két százalékos cukoroldattal öntözte őket. *Richter* (40.) közölte, hogy aethylen-dús levegőben anthocyanok nem képződnek. Ennek magyarázata lenne, hogy az aethylen hatására lényegesen megélnkülő lélekzés elhasználja az assimilatio során képződött cukrot.

Mint régóta ismeretes, hideg hatására is képződik anthocyan. Gondoljunk például a tavaszi fagyok következtében megveresedett vetésekre. *Tobler* (51.) oikologiai vizsgálatataiban megállapította, hogy a páfrányok közül azok, melyek anthocyanokat tartalmaznak, könnyebben viselik el az esetleges erős lehűléseket. *Hryniewski* (17.) azt állítja, hogy a vérbükk magasabb északon is megtalálható, mint a közönséges bükk. Ezek az adatok a növénynemesítés szempontjából igen értékesek; a magyar tervgazdaság egyik fontos célja fagy-tűrőbb növények nemesítése. Régebbi magyarázat szerint az anthocyant tartalmazó növények azért fagyállóbbak, mivel az alacsony hőmérséklet csökkenti a légzés intenzitását, ugyanakkor az assimilatio élénksége nem változik lényegesen. Ma már tudjuk, hogy az assimilatióban is szerepelnek enzimatisus folyamatok — az úgynevezett Blackmann-reactio — tehát az assimilatio is

ugyanúgy veszt intenzitásából hőmérséklet csökkenés hatására, mint a lélekzés. Annál is inkább érvényes ez a megállapítás, mivel 1949—50-es kutatásokból tudjuk, hogy az *assimilatio* jelentékeny részben a lélekzés fordítottja (*Calvin és Benson*) (6.).

Mai felfogásunk szerint az assimilatumok felhalmozódása aligha hozható közel kapcsolatba az anthocyan keletkezésével. Bizonyos esetekben hiánybetegségek tüneteként jelentkeznek anthocyanok. Így például kiszáradás, a phosphat és nitrát hiánya anthocyan képződéshez vezet. Azokban az élősködő gubacsokban, melyeket a *Cynips polycera*, *Spathogaster verrucosus* stb. okoznak, anthocyan képződés figyelhető meg. Hernyórágások (levéltetvek) esetében is keletkezhet anthocyan. Ilyenkor aligha lehet beszélnünk az assimilatumok megszorodásáról. Az anthocyanok fény hatására főleg az epidermisen jelentkeznek, amelyek viszont chlorophyllt általában nem tartalmaznak. (11., 44., 52.)

Mindezekből kiderül, hogy az *assimilatio* és anthocyan képződés közötti összefüggés általánosítása nehézségekbe ütköznék.

Egyesek véleménye szerint az anthocyanok védőfestékek lennének. Ezzel magyarázható, hogy intenzív megvilágítású helyeken élénkebb színűek a növények, illetőleg a vegetatív szervek is megpirosodnak. *Lippmann* (23.) vizsgálatokat végzett a carotinoidák és anthocyanok párhuzamosságát illetően. Megállapította, hogy azok a növények, melyek anthocyan készítésére képtelenek, chloroplastumokat chromoplastumokká alakíthatnak. Erre kevés növény képes. A szerzőnek sikerült chloroplastumok átalakítását *Reseda*, *Potamogeton* és *Selaginella* fajokon mesterségesen is keresztülvinnie. (Az a tény, hogy csak anthocyan-mentes növényeken keletkezhetnek ilyen módon chromoplastumok, arra utal, hogy a két festék szerepe azonos, azaz mindkettő védőfesték, mivel kémiai szerkezetének különbözősége más azonos szerepet nem engedhet meg.)

Mások e véleménnyel szemben a földalatti anthocyan tartalmú szervekre és arra utalnak, hogy az anthocyanok a chlorophyllra kedvezőtlen hullámhosszúságú sugárzást kevésbé nyelik el. *Bünning* (5.) ezzel szemben a vonatkozó festékek 2500—2800 Å hullámhosszúságú, nem látható fénysugarak absorbtioja nyomán az anthocyanok védő szerepét megerősíti.

Rá kell térnünk még egy igen érdekes kísérlet ismertetésére az anthocyanok szerepére vonatkozólag. *Stahl* (46.) elektromos hőmérő készülékkel mérte az anthocyan-tartalmú és mentes levelek hőmérsékletének változását, erős megvilágítás hatására. Eredményei szerint a vörös színű levelek hőmérséklete a megvilágítás hatására lényegesen emelkedik.

Az 1930-as években végzett vizsgálatok szerint az anthocyanok képződése bizonyos ásványi anyagoktól is függnek. Különösen az alumínium szerepét hangsúlyozzák. *Stocklasa* (48.) a *Papaver somniferum* virágszínét megváltoztatta oly módon, hogy alumíniumban dús táplálékra nevelte. A kertészek

a Hortensiák színének megváltoztatására timsós kezelést alkalmaznak. Még ma is általánosan elterjedt vélemény, hogy az anthocyanok színét kizárólag a pH határozná meg. Már az alumíniummal kapcsolatos megállapítások ellentmondanak ennek, s újabban egyre gyarapodik azoknak a vizsgálatoknak száma, melyek az anthocyanok színét kapcsolatba hozzák esetleges copigmentekkel (Robinson) (41., 42.), csersavakkal, illetőleg a hamutartalommal. Klein (20., 21.) adatai szerint a kék színű virágok körülbelül háromszor több hamu-alkatrészt tartalmaznak, mint a piros színűek. Szerinte így magyarázható, hogy a buza-virág virágjának színe kék, jöllehet a színt okozó anthocyan chemiaailag teljesen azonos a rózsafélék szíromlevelének anthocyanjával és a jelzett szövetek pH-ja is megegyező.

Harder és Döring (15.) *Dahlia variabilis*-en, Harder és Marheineke (16.) *Petunia* hybridá-n, Bünning (5.) *Erodium gruinum*-on végzett vizsgálatai szerint a virágok színe a hőmérséklettől függően változik. 20 °C-on kék, magasabb hőmérsékleten piros, még magasabban szintelen virágokat hoz. Igen érdekes, hogy a hőmérséklet nem hatásos az egész vegetációs periodusban, hanem csak a bimbó fejlődésének meghatározott stádiumában. Ha már most meggondoljuk az imént mondottakat, tehát azt, hogy a virág szín kapcsolatos a hamutartalommal is, akkor fel kell tételeznünk, hogy rövid hőhatás döntően hathat a növény osmotikus viszonyaira, s ezzel kapcsolatban az anthocyan képződésére is. (45.)

Az anthocyan molekula szerkezetének ismeretében keletkezésének és szerepének kérdése lényegesen világosabban jelentkezik. Mint reversibilis chinonosodásra képes vegyület szerepet játszhatik esetleg redoxy-folyamatokban, bár ez a lehetőség élettanilag nem igazolt. Keletkezésének kérdésében a chemiai szerkezet ismerete azért jelent lényeges könnyebbséget, mivel összehasonlítható rokon vegyületekkel, melyekből reduktióval (flavonol), illetőleg oxydatióval (epikatechin) képződhetik. Willstätter (53., 54.) például magnesium és sósav segítségével flavonolokat anthocyaniddá (anthocyan-aglycon) reducált. Kostytschew (22.) valószínűnek tartja, hogy hasonló átalakításokra a növény is képes. Störmer és Witsch (49.) ilyen irányú kísérletei szerint *Polygonum compactum* és *Petunia hybrida* növényekben az anthocyanok előanyaga feltételezhetően flavonol. Ezzel szemben Noack (32.) a *Victoria regia*-án végzett kísérletei alapján azt állítja, hogy az anthocyanok »alacsonyabb szintű« vegyületekből közvetlenül képződnek.

Stephens (47.) gyapotvirág kivonatából szintelen anyagot izolált, amelynek spectralis absorptiós maximuma megegyezik a cyanidinével. Szerinte az ismeretlen szerkezetű leuco-anyag proanyaga mind az anthoxantin, mind az anthocyan festékanyagoknak. A jelzett anyag reduktója folytán quercetin vagy cyanidin képződhet.

Politis (39.) *Raphanus sativus*-ból szintelen phenoltermészetű anthocyan proanyagot izolált.

Edmondson (9.) *Spirodela oligorrhiza* kultúráinak anthocyan képzését a phenylthiocarbamid (10^{-4} mol-os koncentrációban 70%-os hatásfokkal) gátolta. Réztartalmú reagens pozitív hatása mind a növekedésben, mind a pigmentképzésben érvényesül. Noha a keletkezett festékanyagok minősége — absorbtíós maximumuk alapján — eltérő volt ugyan, mégis valószínűsíti azt a feltevést, hogy az anthocyan keletkezését katalysáló enzima réztartalmú.

A kérdéssel kísérletileg mi is foglalkoztunk. Nagyon érdekes jelenség, hogy az *Amarantus caudatus* csíranövénye sötétben nem termel anthocyan, míg a fényen csírázók élénk vörös színűek. Megfigyeltük azt is, hogy a három-négy napig sötétben csírázott növények már akkor sem pirosodtak meg, ha később fényre helyeztük őket. Ez a megfigyelésünk arra mutat, hogy a fény az anthocyan képződésére csak meghatározott időben hat. Pontos kísérletekkel igazoltuk, hogy a fényérzékeny szakasz a csíranövények 40—75 órás korukig terjed. E szakaszon belül az érzékenység változik. Meghatároztuk, hogy 45—54 órás csíranövények esetében már 3—4 perces megvilágítás elegendő az anthocyan képződésének megindulásához. (A rövid ideig fényre tett növénykéket később ismét sötétbe helyeztük.) (Meg kell jegyeznünk, hogy a fény presentációs ideje évszakoktól függően bizonyos ingadozásokat mutat. Tavasszal már a 48 órás korú csíranövény elveszti photosensibilitását, míg ősszel a sensibilis phasis mintegy 75 órás korukig tart. Megállapítottuk azt is, hogy a fényinger felvételének helye nem localisált, mint például a phototropikus ingermozgások esetében. Minden sejt érzékeny, de az inger nem terjed; enzimás és nem hormonális jellegű a folyamat.) Az ónlemezkével meggyűrűzött növények a gyűrű helyén nem termeltek anthocyan. Ez utóbbi kísérleteket más növényeken (*Ricinus communis* igen anthocyános alakján) is elvégeztük, mivel az *Amarantus* csíranövénykéik gyengeségüknél fogva a meggyűrűzés hatására rendszerint elpusztultak.

Döntő fontosságúnak látszanak azok a vizsgálataink, melyekben a fényhatás mechanizmusának tisztázásával foglalkoztunk. Négy napig sötétben csírázott *Amarantus* kivonatát kémiai analysisnek vetettük alá. Azt kerestük, megtalálható-e a kivonatban az anthocyan valamelyik feltételezhető proanyaga, azaz, az anthocyan képződés korai vagy végső szakaszában szerepel-e a fény. A vizes kivonatot amylalcohollal ráztuk össze, tudván azt, hogy a flavonok, flavonolok, anthocyan-aglyconok és szintelen pseudobasisok egyaránt jól oldódnak amylalcoholban és azt sárgára festik. A rázás után centrifugálással gyorsítottuk a két fázis különválását és azt tapasztaltuk, hogy az amylalcohol megsárgult.

Rátértünk ezután az amylalcoholban oldott sárga színanyagnak kémiai meghatározására. Annál könnyebben ment ez a munka, mivel az *Amarantus* anthocyanját előzetes vizsgálatok alapján cyanidin vagy delphinidin típusú aglyconnak találtuk. Legelőször sósavas methyllalcohollal kezeltük ismeretlen

oldatunkat, mivel ennek hatására a pseudobasis piros színűvé változik. Ilyen színváltozást nem figyelhettünk meg, tehát a sárga színanyag nem pseudobasis. A flavon és anthocyanidin reakciók hasonlóképpen negatív eredménnyel jártak, míg a flavonol meghatározására irányuló próbák mindig pozitívnek mutatkoztak. Ezüstnitráttal és jóddal szemben erős redukáló képességet mutatott, ami összehasonlítások alapján flavonol jelenlétét bizonyítja. Igen megerősítette eddigi vizsgálatainkat az a kísérlet, hogy az amylalkoholban oldott sárga flavonolt magnesiummal felszabadított nascens hydrogen segítségével sikerült piros színű anthocyanidin sóvá redukálni amylalcoholos közegben. Az in vitro végbement reductio alapján feltételezzük, hogy flavonolból in vivo anthocyan képződhetik biokatalitikus úton. Ebből következik az a megállapításunk, hogy az *Amarantus caudatus* csíranövénye fény hiányában anthocyan helyett flavonolt képez.

Nézzük ezek után, vajjon miben rejlik a fény hatása? Azt vélhetnők, hogy a flavonol erős absorptiós képessége segítségével a fény energiát közvetlenül felhasználhatja reductióra. E feltevés helytelenségét kísérletileg igazoltuk. Megvizsgáltuk, hogy milyen hullámhosszúságú fény a leghatásosabb az anthocyan képződésére, s azt találtuk, hogy a piros fény a leghatékonyabb, míg a flavonol absorptiós maximuma nem a piros, hanem a kék színtartományba esik. Ismerve a photochemiának azt az alaptörvényét, hogy csak az absorbeált fény szerepelhet kémiai reakcióban, világosan látható, hogy a fényenergia csak közvetett úton hat az anthocyan képződésére. Úgy látszik, egy flavonol-anthocyan irányú reakciót katalyzáló enzima keletkezéséhez szükséges a fény. Ilyen enzima létrehozhatjuk abból a megfigyelésünkéből is, hogy forró vízzel óvatosan kivont anthocyanok állandóbbak, mint a dörzsölés útján készült kivonatok. Arra a kérdésre, hogy a fény a feltételezett enzima működésére vagy képződésére hat-e, a következőkben adhatunk választ. Az a tény, hogy az érzékeny szakaszban igen rövid megvilágítás hatására megindul később az anthocyan képződése, arra enged következtetni, hogy nem az enzima működésében szerepel a fény. Ezt a gondolatot az a jelenség is támogatja, hogy azok a növények, melyeket fény ért, később sötétben is képesek anthocyan képzésére. Hangsúlyoznunk kell, hogy az enzima keletkezésének csak külső feltétele a fény. Belső feltétele egy sajátos anyagcsere típus, mely a csíranövényke nyújtózásos növekedését megelőző korára esik. Mihelyt a csíranövény anyagcseretípusa megváltozik, a fény már nem hatásos a feltételezett reductase-biokatalysator képzésében.

A növényi festékanyagok képződésének kérdése — amint láttuk — szorosán összefügg a legmodernebb problémákkal: assimilatióra, lélekzésre, biokatalysisra és a phasisos fejlődésre vonatkozó egyaránt elméleti és gyakorlati értékű adatokat szolgáltat ennek a rendkívül sokszínű problémának kutatása.

IRODALOM

1. *Anderson, C. G.*: An introduction to bacteriological chemistry. 1946. 386.
2. *Baldwin, E. B. A.*: Dynamic aspects of biochemistry. 1947. 97.
3. *Benson A. A. és Calvin M.*: J. Exp. Bot. 1. 1950. 63.
4. *Boswell és Whiting*: Am. Bot. N. S. 2. 1938. 867.
5. *Bourquelot és Bertrand*: C. R. Seances Soc. Biol. Filiales Assoc. 47. 1895. 582.
6. *Bünning, E.*: Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanzen. 1948. 113
326. 366. 399.
7. *Czapek, F.*: Biochemie der Pflanzen Bd. 1. 1913. 585.
8. *Duggar, B. M.*: Washington Univ. Stud. 1. 1913. 22
9. *Edmondson, Y. H. és K. V. Thimann*: Arch. Biochem. 125/1. 1950. 79—90.
10. *Euler, H., P. Karrer, E. Krauss és O. Walker*: Helv. chim. Acta. 14. 1931. 154.
11. *Fehér J.*: Uránia 19. 1918. 295—297.
12. *Gertz, O.*: Bot. Notiser I. 1900. 101—132, 149—164, 204—229.
13. *Gertz, O.*: Bot. Notiser VI. 1906. 295—301.
14. *Guilliermond, A.*: The cytoplasm on the plant cell. 1941. 146.
15. *Harder, R. és Döring, B.*: Ges. d. Wissensch. in Göttingen. Nachrichten a. d.
Biologie. 2. 1935. 89—95.
16. *Harder, R. és Marheineke, J.*: Ges. d. Wissensch. in Göttingen. Nachrichten a. d.
Biologie. 2. 1935. 597—1005.
17. *Hryniewski, B.*: Wszechwiat. Warszawa. XXIV. 42. 1905. 687.
18. *Karrer, P., A. Helfenstein, H. Wehrli és A. Wettstein*: Helv. chim. Acta. 13. 1930
1084.
19. *Karrer, P. és E. Jucker*: Carotinoide. 1948. 17.
20. *Klein, G.*: Sitzber. Akad. Wiss. Wien. Math.-naturwissensch. Kl. Abt. 1. 131.
922. 23.
21. *Klein, G. és O. Werner*: Hoppe-Seylers Z. 143. 1925. 9.
22. *Kostytschew, S.*: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. 1926. 312.
23. *Lippmann, Th.*: Sitzber. Naturf. Ges. Dorpat. 30. 1924. 58—111.
24. *Löweschin, A. M.*: Ber. d. deutsch. bot. Ges. 32. 1914. 386—393.
25. *Lubimenko, V. N.*: Kem. Acad. Sci. Petrograd. Ser. 8. 33. Nr. 12. 1916. 275.
26. *Lubimenko, V. N. és E. R. Hubbenet*: New Phytologist 31. 1931. 26.
27. *Marquart, Cl.*: Farben der Blüten. 1835.
28. *Molisch, H.*: Botan. Ztg. 63. I. 1905. 145.
29. *Molisch, H.*: Microchemie der Pflanze. 1921. 262.
30. *Moreau, F.*: Bull. Soc. Bot. de France 61. 1914. 390—405.
31. *Nelson, J. M. és C. R. Dawson*: Adv. Enzymol. 4. 1944. 99.
32. *Noack, K.*: Ber. d. deutsch. Bot. Ges. 39. 1921. 3—4.
33. *Noack, K.*: Zeitschr. f. Bot. 14. 1922. 1—74.
34. *Overton, E.*: Jahrb. f. wiss. Bot. 33. 1899. 171.
35. *Palladin, W.*: Ber. d. deutsch. Bot. Ges. 29. 1911. 132—137.
36. *Palladin, W.*: Hoppe Seylers Z. physiol. chem. 55. 1908. 207.
37. *Penza, A.*: Memorie d. R. Ist. Lombardo d. Sc. e. Lett. Cl. di Sci. Nat. e Nat. 22. (se
3. 13) 1917. 1—16.
38. *Politis, J.*: C. R. Ac. Sc. 117. 1923. 280—282.
39. *Politis, J.*: C. R. Ac. Sc. 225. (4) 1947. 256—257.
40. *Richer, O.*: Mediz. Klinik. Jahrg. N. 34. 1907. Verlag Urban und Schwarzenberg,
Berlin. Nr. 24. 1—15.
41. *Robinson, G. M. és Robinson, R.*: Biochemie J. 25. 1931. 1687.
42. *Robinson, G. M. és Robinson, R.*: Biochemie J. 27. 1933. 206.
43. *Scharrer, K.*: Biochemie der Spurenelemente. 1941. 98. 124.

44. *Schilberszky, K.* : Pótf. Term. Tud. Közl. 40. 1908. 155—157.
45. *Shibata, K., K. Hayashi és T. Isaka* : Acta. Shytochim. 15. 1949. 17. 33.
46. *Stahl, E.* : Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg. 13. 1896. 137—216.
47. *Stephens, S. G.* : Agric. Expt. sta. College Station. Tex. Arch. Biochem. Genetics. 33. (2) 1948. 191—124.
48. *Stoklassa J.* : Über die Verbreitung des Aluminiums in der Natur seine Bedeutung beim Bau-und Betreibsstoffwechsel der Pflauzen. 1922.
49. *Störmer, I. és H. Witsch* : Planta. 27. 1938. 1—29.
50. *Szent-Györgyi, A.* : Ac. L. a. Sc. Univ. H. F. J. 9. (1) 1937. 71.
51. *Tobler, F.* : Festschr. d. med. nat. Ges. Münster. Vers. der Naturf. 4. 1912.
52. *Viski, J.* : Bot. Közl. 12. 1913. 169—172.
53. *Willstätter, R. és A. Bolton* : Ann. der Chemie. 54. 1905. 408.
54. *Willstätter, R. és A. Bolton* : *Burdick* : Liebigs Ann. 412. 1934. 217.
55. *Wulff, Th.* : Acad. Abhandl. Lund. 1902. 115.
56. *Yoshida, J.* : Chem. 30. 43. 1883. 472.
57. *Zechmesier, L.* : Carotinoide höherer Pflanzen (Polyen-Farbstoffe). (Klein G. : Handbuch der Pflanzenanalyse) Bd. : III/2. 1932. 1239.