

A CAROTINOIDA FESTÉKSZÍNEK ÖRÖKLŐDÉSÉRŐL

KORMOS JÓZSEF

(Érkezett: 1954. július hó 5-én)

A carotinoida színanyagok kémiai szerkezetét KARRER, KUHN, ZECHMEISTER, CHOLNOKY, PORTER, ZSCHEILE, LINCOLN és a többi kutató vizsgálatai igen sok példában földerítették. A legkülönbözőbb növényfajokban és azoknak szinte minden részében megellelhetők vagy mint telítetlen szénhidrogének, vagy mint e szénhidrogének oxidált származékai. Jellemző hogy bárhol jelentkeznek, egyik carotinoida sem található külön, hanem csak más, rokon carotinoidákkal együtt, rendszeren úgy, hogy a festékkeverékekben egyik vagy másik alkotó a többit háttérbe szorító, túlnyomó mennyiségben van.

Annak ellenére, hogy a kémiai vizsgálatok igen előrehaladtak és a carotinoida festékszínek változatosságban az anthocyanok mögött messze elmaradnak, öröklődésük mégis sokkal kevésbé tisztázott, mint az anthocyanoké. Részletes genetikai vizsgálatokat egyedül a paradicsomon végeztek. Ezek eredményét később összehasonlításul megemlítem.

A paradicsom carotinoidái csekély hányad kivételével a carotin és lycopin-sorhoz tartozó szénhidrogének. A paprikafestékek más típusúak: túlnyomórészben oxidált származékok, szénhidrogént viszonylag csekély mennyiségben tartalmaznak.

A paprika termésszíneinek öröklődéséről annyit már régóta tudunk, hogy a piros és sárga szín egyszerű bélyegként öröklődik, a piros minden esetben dominál a sárgán. 1950-ben megállapítottam, hogy a paprika jól definiált jellegei közül a »csokrosság«-gal van a leghatározottabb korrelációja. A kapcsolódás olyan erős, hogy csokros-piros \times »villás«-sárga szülők kombinációjának második nemzedékében 2000 növény közül egyetlen csokrossárgát sem sikerült találni. E szoros kapcsolattal magyarázható, hogy DESHPANDE olyan kettős mutációt talált, melyben egyszerre változott a carotinoida szín és a csokrosság (1949).

A paprika piros és sárga színét alkotó carotinoidák öröklődésére vonatkozólag a mai napig semmi irodalmi adatot nem találtam, még kevésbé 1951-ben. (Az akkor megírt dolgozatom kéziratban maradt.)

A piros paprika festékösszetevőit ZECHMEISTER és CHOLNOKY kutatásából már régóta ismerjük. A sárga paprika carotinoidáira vonatkozólag azonban a vizsgálat megkezdéséig semmi irodalmi adat nem jelent meg. A két szín összehasonlításával akkor a következőket állapítottam meg.

1. A sárga paprikában a béta carotint megközelítő mennyiségben képződik alfa carotin; a pirosban csak nyomokban található.

2. Az alfa carotin oxidált származékai a sárga paprikában nagyobb mennyiségben képződnek, mint a béta carotin megfelelő származékai. Ugyanakkor a piros paprikában az alfa carotin oxidált származékai elenyésző mennyiségben jelentkeznek.

3. A sárga paprika legfőljebb nyomokban tartalmaz carbonil csoportú származékokat, a piros paprikának viszont ezek a fő alkotó elemei.

4. A sárga paprika összes carotinoida tartalma legalább annival kevesebb, mint amennyi a piros paprika carbonil tartalmú festékeinek mennyisége.

Vizsgálataim befejezése után ismertem meg CHOLNOKY és munkatársainak tanulmányát, amely sokkal részletesebben összehasonlítja a piros és sárga paprika carotinoidait. Genetikai szempontból az az összehasonlítás, amelyet elvégeztem, egyelőre elegendőnek bizonyult. CHOLNOKY és munkatársai a piros és sárga paprika eddig ismeretlen carotinoidái közül igen sokat azonosítottak és mennyiségileg is meghatároztak. Megállapították azt is, hogy az alfa és béta carotin kettőnél több oxigént tartalmazó származékai az oxigént jelentős részben epoxid kötés alakjában tartalmazzák (xantofillepoxyd, antheraxanthin, violaxanthin). A két szín közötti különbség lényege változatlanul az, hogy a sárga festékekben jelentős mennyiségben szerepelnek az alfa carotin és származékai, hiányoznak a carbonil csoportú származékok.

Arra a kérdésre, miképpen viselkednek a piros és sárga színt alkotó carotinoidák a keresztezések F_1 és F_2 nemzedékében, a vizsgálatok a következőképpen válaszoltak.

Egy példában az alábbi táblázat mutatja a piros és sárga szülők és az F_1 carotinoidait. (A táblázatban nem minden carotinoida szerepel, de a különbségek jellemzésére elegendő. Értékek: g/1000 g szárazanyagban.)

1. táblázat

A piros, sárga és a piros \times sárga F_1 paprika carotinoida festékei

Carotinoida festékek	K4 (piros fűszer)	K4 \times 51	51 (sárga chilli)
Capsorubin	0,97	1,01	—
Capsanthin	3,75	3,82	—
Zeaxanthin	0,59	0,58	0,20
Xanthophyll	0,02	0,03	0,25
Béta kryptoxanthin	0,25	0,24	0,08
Alfa kryptoxanthin	nyomokban	nyomokban	0,09
Béta carotin	0,44	0,42	0,14
Alfa carotin	nyomokban	nyomokban	0,13

Az F_1 nemzedék tehát hasonló a piros szülőkhöz. A piros színt alkotó carotinoidák együttesen dominálnak a sárga színt alkotókon; a carbonilok a piros szülőkéhez hasonló erősségben képződnek, a carotin és származékai viszont éppúgy elenyésző mennyiségben szerepelnek, mint a piros szülőben.

Az F_2 nemzedék ugyanezt a képet mutatta. A piros utódok az alfa carotint és származékait nyomokban vagy elenyésző mennyiségben tartalmazzák, a sárga színű utódok festékösszetétele megegyezik a sárga szülőével

A sárga festék alkotóinak arányában ugyan mutatkozik némi különbség, ez azonban semmivel sem nagyobb, mint amekkora a sárga fajták között amúgy is előfordul. A piros carbonilok mindig legfeljebb nyomokban találhatóak; a különbség az F_2 egyedei között e tekintetben mindössze annyi, hogy egyesekben erőteljesebb a kromatogrammon a carbonil nyomokat jelző csík, másokban alig észrevehető. Annyi carbonil sohasem mutatkozik a legerősebb festőképességű sárga paprikában sem, hogy mérésre érdemes mennyiség volna; nyomokban viszont a tiszta sárga fajtákban is előfordul.

A piros és sárga utódok vizsgálatát módszertanilag nagyon megkönnyíti az a tény, hogy nyugodtan használhatunk a vizsgálathoz szárított termékeket és hogy a jellemző alkotórészekből már a kromatogrammon lefutásuk közben megállapíthatjuk: nyomokban vagy mérésre érdemes mennyiségben szerepelnek-e. Ez nemcsak a piros színű carbonilokra vonatkozik, hanem az oszlopon leggyorsabban átfutó alfa carotinra is, melynek viszonylagos mennyiségére — arra, hogy a béta carotint megközelítő vagy csak elenyésző mennyiségben szerepel-e — kevés gyakorlattal is könnyen következtethetünk. A kromatografáláshoz mindenkor kielégítőnek bizonyult az a módszer, amelyet CHOLNOKY 1937-ben kidolgozott: a feloldott festékanyagnak calciumhidroxid-calciumcarbonát oszlopon, a benzín-benzol megfelelő arányú elegyével végzett kifejllesztése.

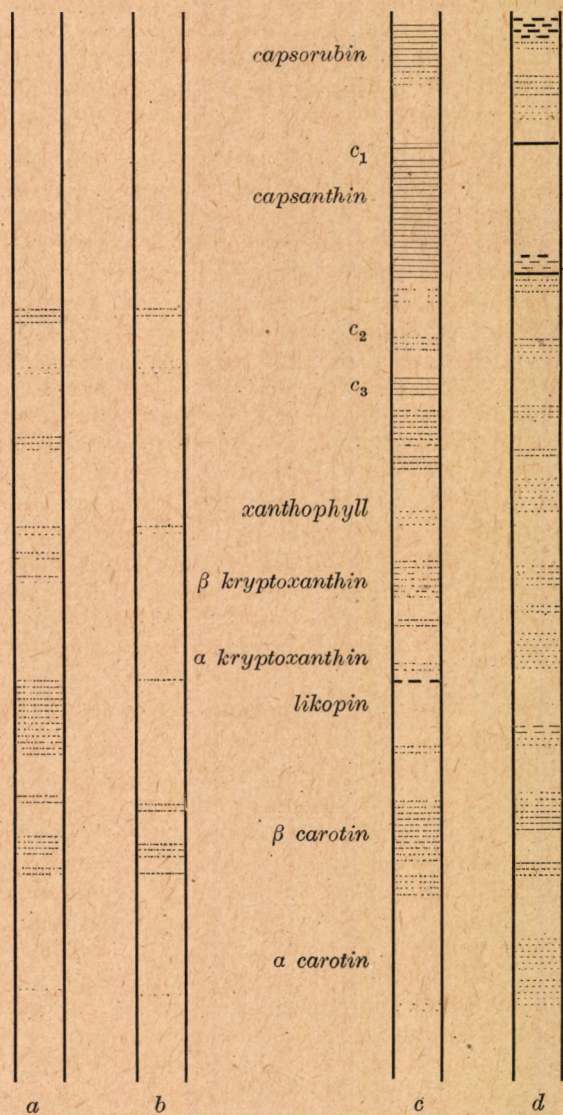
A különbséget jelző festékek (carbonilok, alfa carotin) könnyű értékelése elősegíti nagyszámú egyed megítélését. Ezideig mégis hiába kerestem olyan növényt, amelyben a béta carotint megközelítő mennyiségű alfa carotin és carbonilok társultak volna. Mindannyiszor, mintha egymást kizárnák, az eredeti szülőkéhez hasonló carotinoidákkal együtt szerepeltek. Sikerül-e majd további kereskezéssel az alfa carotin sort carbonilokkal együtt megtalálni, nem tudom még. Az eddigi tapasztalatok alapján azt kell mondanunk: a piros és sárga paprika festékei genetikailag úgy viselkednek, mintha összetételüket ugyanaz a tényező szabályozná és valamennyi alkotórészt ugyanaz az oxidációs rendszer hozná létre terméséréskor.

Érdemes összehasonlítást tenni a paprikára és a paradicsomra vonatkozó örökléstani ismeretek között. A paradicsom carotinoidáival már bő genetikai irodalom foglalkozik. Főleg PORTER és LINCOLN, MACKINNEY és JENKINS, ZECHMEISTER és WENT, TOMES és munkatársai munkáját említhetem. Az eredmények rövid foglalata a következő.

A paradicsomnak négy színváltozata van: piros, sárga és kétféle narancs. A sárgának összes carotinoida tartalma igen csekély (2–3 százalék a többi szín festéktartalmának). Ennek nagyobb része béta carotin. A másik három szín összes carotinoida tartalma nagyjában megegyezik, de a pirosban a főfestőanyag a likopin, a béta narancsban béta carotin, a tangerine narancsban pedig a prolikopin és a zéta carotin.

A sárga és piros paradicsomnak, sárga és piros paprikának a kromatogramját az *a-d ábra* szemlélteti. A sárga paprikában: alfa carotin → béta carotin és izomerjei → részben még ismeretlen polyenek → alfa kriptoxantin → béta kriptoxantin és izomerjei → xanthofill → zeaxantin és izomerjei → az alfa és béta carotin erősebben oxidált származékai (epoxidok és még ismeretlen származékok), egymás fölött adszorpciós képesség és oxidációs fok szerint sorakozva. Az alfa és béta carotinnak négyféle oxidációs származéka helyezkedik el egymás fölött izomerjeikkel együtt.

A piros paprika kromatogrammja hasonló rendben fejlődik. A sárgától abban különbözik, hogy az alfa carotin és származékai elenyésző, vagy igen csekély mennyiségben szerepelnek, a carbonilok viszont túlnyomó többségben. (Az összehasonlítást megkönnyíti, hogy a sárgában nyomokban likopint,



a-d ábra. A piros (a) és sárga (b) paradicsom, a piros (c) és sárga (d) paprika kromatogrammja. c_1 , c_2 , c_3 = carbonil tartalmú piros zónák

Хроматограмма красного (а) и желтого (в) помидора, красного (с) и желтого (д) перца.

c_1 , c_2 , c_3 = красные зоны, содержащие карбонил

Chromatogram of red (a) and yellow (b) tomato, of red (c) and yellow (d) paprika
 c_1 , c_2 , c_3 : red zones containing carbonyl

capsanthint és capsorubint is találhatunk. Nyomjelzőül a piros paprika oldalát vagy annak egyes festékeit alkalmazhatjuk.)

A paradicsom szénhidrogénjeinek dominálási rangsora a következő: béta carotin > likopin > prolikopin és zéta carotin. A paprikán szerzett tapasztalat alapján e rangsort kiegészíthetjük azzal, hogy a béta carotin az alfa carotinnal dominál. Ha az egész carotinsort a kromatogrammon összehasonlítjuk, akkor azt kell mondani, hogy a béta carotin minden tagja, tehát a sor egészében dominál az alfa carotin soron, ideértve a carbonilokat is, amelyeknek megfelelő festékpár a sárga paprikában nem is képződik.

A genetikai vizsgálatok mellett természetesen még inkább a biokémia vizsgálatoknak kell a carotinoida sor képződéséről a végleges eredményt szolgáltatniok. A paradicsomnál a képződés mechanizmusát többször latolgatták, de bizonyító kísérleti eredmény nélkül. PORTER és LINCOLN szerint például bétahidrofitoentől a béta carotinig a hét lépésben egymásból képződnek a polyenek, GOODWIN szerint nem egymásból, hanem különböző úton képződnek. Egyik feltevés sem zárja ki annak a valószínűségét, hogy különböző mértékben oxidált carotinoidák azonos genetikai tényező hatására és azonos oxidációs rendszer működéséből származnak. Genetikailag ezt csak akkor cáfolhatnánk meg, ha sikerülne olyan paprikatorzset előállítani, amelyben bő carbonil tartalommal bő alfa carotin tartalom egyesül. Még ilyen növény létezése sem cáfolhatná meg azt a tényt, hogy a soktagú carotinoida rendszer egyes csoportjai föltétlenül egybekapcsolódnak. Ezt mondhatjuk a carbonilokról és az alacsonyabb oxidációs fokú polyenokról egyaránt. A piros paprikában a carbonilok mindig együtt képződnek; velük a béta carotin egybő származékai. Ugyanígy a sárgában az alfa carotin és származékai. A paradicsomban a hőmérsékleti maximum fölött (32°) egyszerre marad el a likopin, likoxantin és likofill képződése, alatta viszont mindig együtt jelentkeznek.

A carotinoidákra vonatkozó genetikai és biológiai tapasztalatok két szempontból általánosságban is érdekesek.

1. Az eddigi megfigyelések arra mutatnak, hogy genetikailag ugyanaz a tényező, kémiaiilag ugyanaz az oxidációs rendszer egyidejűleg több rokonanyag képződését irányítja. (E jelenség nemcsak a carotinoidákra szorítkozik. Hasonlóságul elég példaképpen az alkaloidokra és az ivari hormonokra utalni.) E tapasztalatok a pleiotrópia magyarázatául is kínálkoznak, mert együtt öröklődő, azonos oxidációs rendszer által fölépített, kémiaiilag különböző anyagok élettani szerepükben, hatásukban is különbözhetnek.

2. A carotinoidák dominálási rangsorára visszatekintve azt látjuk, hogy az erősebben oxidáltak dominálnak a kevésbé oxidáltakon, a telítetlenebbek a kevésbé telítetleneken. A béta és alfa carotin ellentétében a konjugált kettős kötés az izolált kettős kötésen. A carbonilok ellentétében a sárgában nem találjuk, mégis mondhatjuk, hogy dominálnak az alacsonyabb oxidációs fokú polyeneken. (Az egész rendszer teljes összehasonlítása csak a szintetikus polyenek megismerése után lehetséges.) Hasonló esetben a magasabb oxidációs fok alapján előre megmondhatjuk a megfelelő tulajdonságok dominancia-viszonyát. Gátló tényezők természetesen zavarólag hatnak. Bizonyosan ott is remélhető a tulajdonságok dominancia-viszonyának előrejelzése, ahol nem oxidációs fokban, hanem más kémiai jellemvonásban különböznek az öröklődő tulajdonságok.

ÖSSZEFOGLALÁS

A piros és sárga paprika F_1 nemzedéke a carotinoidák összetételében teljesen a piros szülőkre hasonlít, mind az alfa sorozata élenyésző mennyiségével, mind a béta carotin sorozat és a carbolinok hasonló erősségű kifejlődésében; a béta carotin és sorozata carbonilokkal együtt teljes egészében dominál az alfa carotinton és sorozatán. Az F_2 piros színű utódai a piros szülőre, sárga színűek a sárga szülőre hasonlítanak kromatogramjuk összetételében.

A carotinoidák megoszlása az utódokban olyan, mintha valamennyit ugyanaz a faktor szabályozná, ugyanaz az oxidációs rendszer képezné. Olyan utódot, amely ennek a megfigyelésnek ellene mond, még nem sikerült találni.

IRODALOM

- CHOLNOKY, L. (1939): Über die quantitative Bestimmung der Farbstoffkomponenten im Gewürzpaprika. — *Z. Untersuch. Lebensm.* **78**, 157—161.
- CHOLNOKY, L. (1939): Stufenphotometrische Bestimmung der Paprikafarbstoffe. — *Z. Untersuch. Lebensm.* **78**, 401—403.
- CHOLNOKY L.—GYÖRGYFFY K.—NAGY E.—PÁNCZÉL M. (1954): Karotinoidok képződése és egymásba átalakulása paprikatermések érésénél. — *Szervekémiai Konferencia, Debrecen. Nehézipari Könyvkiadó*, 255—259.
- DESPAÑDE, R. B. (1949): A case of simultaneous mutation of two independent genes in the chilli *Capsicum annuum* L. — *Curr. Sci.* **18**, 171—172.
- GOODWIN, T. W.—JANIKORN, M. (1952): Biosynthesis of carotenes in ripening tomatoes. — *Nature*, **170**, 104—105.
- JENKINS, J. A.—MACKINNEY, G. (1953): Inheritance of carotenoid differences in the tomato hybrid yellow x tangerine. — *Genetics*, **38**, 107—116.
- KARRER, P.—JUCKER, E. (1948): Carotinoide. — *Basel. Birkhäuser*. 1—338.
- MACKINNEY, G.—JENKINS, J. A. (1949): Inheritance of carotenoid differences in *Lycopersicon esculentum* strains. — *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **35**, 284—291.
- PORTER, J. W.—LINCOLN, R. E. (1950): I. *Lycopersicon* selections containing a high content of carotenes and colorless polyenes. II. The mechanism of carotene biosynthesis. — *Arch. Biochem.*, **27**, 390—403.
- TOMES, M. L.—QUACKENBUSCH, F. W.—NELSON, O. E. JR.—NORTH, B. (1953): The inheritance of carotenoid pigment systems in the tomato. — *Genetics*, **38**, 117—127.
- ZECHMEISTER, L.—WENT, F. W. (1948): Some stereochemical aspects in genetics. — *Nature* **162**, 847.

УНАСЛЕДОВАНИЕ КРАСИТЕЛЬНЫХ ЦВЕТОВ КАРОТИНОИДОВ.

Й. Кормош

Резюме

Генерация F_1 красного и желтого перца вполне сходна по своему каротиноидному составу с красными предками, как в отношении минимального количества альфа-ряда, так и подобно сильным развитием бета-каротинового ряда и — в пределах последнего — и карбонилов; бета-каротин и его ряд вместе с карбонилами полностью доминирует над альфа-каротином и его рядом. Красные потомки F_2 генерации в своем хроматограммовом составе имеют сходство с красными предками, а желтые потомки — с желтыми.

Распределение каротиноидов в потомстве такого характера, как будто-бы оно регулировалось одним и тем же фактором, и образовывалось той же самой системой окисления. До сих пор не удалось найти потомка, который противоречил бы этому наблюдению.

Заглавие и объяснение таблицы

Каротиноидная краска красного, желтого и красного + желтого перца генерации F_1 .

1 = каротиноидная краска; 2 = К 4 (красная пряность); 3 = К 4 × 51; 4 = 51 (желтый chilli).

INHERITANCE OF CAROTENOID PIGMENT

By JÓZSEF KORMOS

Summary

In its carotenoid content the F_1 generation of red and yellow paprikas entirely resembles its red parent as to both the insignificant quantities of the alpha series, and the vigorous development of the beta-carotene series and, within them, of the carbonyls; beta-carotene and its series together with the carbonyls dominate completely over the alpha-carotene and its series. The red-coloured progeny resemble their red parents, the yellow-coloured their yellow parents in their chromatographic composition.

The distribution of the carotenoids in the progeny is as if all of them were regulated by the same factor, and brought about by the same oxidation system. It was impossible to find any progeny which ran contrary to this observation.

Table

Carotenoid pigments of red, yellow, and yellow x red (F_1) paprika

1. Carotenoid pigment. 2. K4 (red, for condiment). 3. K4 x 51. 4. 51 yellow chilli