

A pécsi karotinoidkémiai kutatócsoport első 100 éve 1923-2023

DELI József^{a,b*}

^aPécsi Tudományegyetem ÁOK, Biokémiai és Orvosi Kémiai Intézet Szigeti út 12, 7624 Pécs, Magyarország

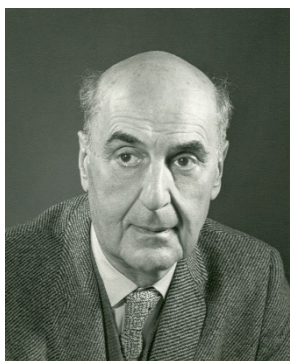
^bPécsi Tudományegyetem GYTK, Farmakognózi Intézet, Rókus utca 2, 7624 Pécs, Magyarország

1. Bevezetés

2023 októberében ünnepeltük a Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Biokémiai és Orvosi Kémiai Intézetének és az azon belül működő Karotinoidkémiai Kutatócsoport fennállásának 100-ik évfordulóját. 1922 októberében nevezték ki Zechmeister Lászlót a Pécsi Erzsébet Tudományegyetem Chemiai Tanszékére nyilvános rendes tanárnak. Az oktatás a Pozsonyból Pécsre települt egyetemen 1923 őszén indult, így ezt az időpontot tekintjük a Kémiai Intézet és a Karotinoidkémiai Kutatócsoport indulásának is. A világon, de a karotinoidkémiaiában biztosan egyedülálló módon 100 éve folyamatosan működik a kutatócsoport, köszönhetően az egymást váltó nemzedékek által felhalmozott és átadott tudásnak, a klasszikus és a modern kutatási módszerek ötvözésének.

Jelen közleményben a kutatócsoport 100 éves történetét és tudományos munkásságát próbálom összefoglalni, kiemelve az általam fontosabbnak tartott kutatási területeket. A kutatócsoport közleményeinek hivatkozása szögletes zárójelben található, a publikációk sorrendje a megjelenés sorrendje, nem pedig a cikkben való idézésé. Az egyéb források a szokásos módon a Hivatkozásoknál találhatók.

2. 1923-1940: Zechmeister László



1889-1972

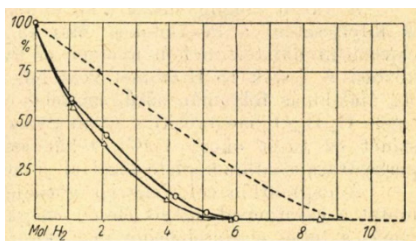
Zechmeister László kutatási területe mindig közel állt a természetes anyagok kémiájához, hiszen már doktori értekezése is a cellulóz és a lignin vizsgálatáról íródott. Később a Chinoin gyár kutatási osztályának és laboratóriumának ve-

zetőjeként is foglalkozott természetes anyagokkal. A karotinoidokkal kapcsolatos ismereteit valószínűleg a Willstätter iskolából hozta magával. Richard Willstätter, aki a klorofillal kapcsolatos kutatásaiért kapott Nobel-díjat, „mellesleg” a *carotin* és a *xanthophyll* összegképletét is meghatározta. Az 1920-as évek közepén összesen öt, karotinként számon tartott vegyületet ismertek, a *carotint* ($C_{40}H_{56}$), a *lycopint* ($C_{40}H_{56}$), a *xanthophyllt* ($C_{40}H_{56}O_2$), a *luteint* ($C_{40}H_{56}O_2$) és a *fucoxanthint* ($C_{40}H_{56}O_6$). Richard Kuhn (Heidelberg) és Paul Karrer (Zürich) mellett Zechmeister László lett a harmadik kutató aki a már ismert *carotin*, *xanthophyll* és egyéb karotinoidok szerkezetének meghatározását, valamint további lipokrómok (zsírolékony színezékek) izolálását és vizsgálatát tűzte ki célul. Nem tudjuk pontosan Pécsen mikor kezdődtek a karotinoidokkal kapcsolatos kutatások, az első közlemény 1926-ban jelent meg a Magyar Kémiai Folyóirat októberi számában [1]. Zechmeister Cholnoky Lászlóval (aki 1924-ben került az intézetbe) közösen kezdte el vizsgálni a piros paprika színanyagát. A „capsicum vörös” már régóta izgatta a kutatók fantáziáját, azonban nem tudták elkülöníteni a kísérő zsíroktól, olajoktól. Ezt a problémát sikerült megoldani Zechmeisteréknek, amikor az extraktumot lúgos kezelésnek vetették alá, és így egy viszonylag poláros, kristályos anyagot kaptak az addig kezelhetetlen massa helyett, melyet *capsanthin*-nak neveztek el. Emellett a sárgarépa, illetve a levelek karotinjával meg egyező *carotint* is izolálták paprikából. A legelső magyar nyelvű cikkben a *carotin* azonosítását írják le, a *capsanthin*ről részletesen az MTA-n elhangzott előadásban, illetve annak nyomtatásban megjelent változatában számoltak be [2]. Ekkor még a *capsanthin* nem sorolják a karotinoidok közé, mert annak összegképletét $C_{34}H_{48}O_3$ -nak találták. A nemzetközi porondra az 1927 februárban a Justus Liebig's Annalen der Chemie folyóiratba beküldött cikkben lépnek ki, a 12 részes sorozat első részében a *capsanthin* izolálásáról számolnak be [3], majd a második részben a *carotin* jelenlétéről a piros paprikában [4]. Issekutz Bélával közösen a *capsanthin* fiziológiai hatását is megvizsgálták. [5].

Ebben az időben még kérdéses volt a karotinoidok szerkezete. Ezt felderítendő, Vrabély Verával és Tuzson Pállal kiegészülve, a csoport a katalitikus hidrállás módszerét alkalmazta a *carotin*, a *capsanthin* és a *xanthophyll* esetén [6-15,40]. A redukció során felvett hidrogén mennyiségéből

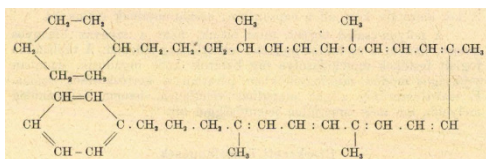
* Tel.: +36 72 536 000 / 28833, e-mail: jozsef.deli@aok.pte.hu

megállapították, hogy mind a *carotin*, mind a *xanthophyll* 11 db kettőskötést tartalmaz. A *hydrálási* folyamat során a vegyületek színerősségét mérték *colorimetriásan*, ezt ábrázolták a felvett hidrogén mennyiség függvényében (1. ábra)



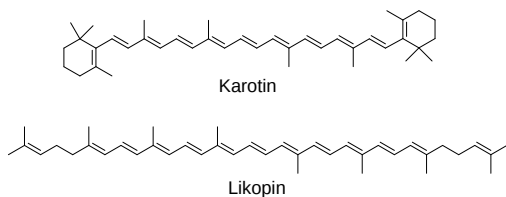
1. ábra. Színscökkenés karotin továbbá capsanthin katalitikus hydrálásánál [8]

„A *carotin*-görbe bevezető, hosszabb része egyenes vonal, ami annyit jelent, hogy a kísérlet elején egyenes arányban halad a színscökkenés a *hydrogen* felvétellel más szóval **conjugált kettőskötések** jelenlétére mutat.” írja Zechmeister László [8], majd így folytatja pár oldallal később: “Felmerül most a kérdés, hogy lehetséges-e mindezek alapján a *carotin*-ra vonatkozó ismereteinket **szerkezeti képletbe** sűríteni? A kérdésre, amennyiben teljes biztonsággal igazolt képletről van szó, határozott nemmel kell felelnünk. Azonban, ha valamely bonyolult anyagon sokféle megfigyelés történt, úgy a kísérletek ellenőrzése végett hasznos lehet, próbaképpen képletet szerkeszteni, mely minden tapasztalati tényt megmagyarázzon. Amennyiben ez nem sikerül, az összegyűlt ismeretanyag egymásnak ellenmondó alkatelemek tartalmaz és átdolgozásra szorul. Csakis ily célokat szolgál az alábbi carotinképlet, melyre vonatkozólag hangsúlyozni kívánám, hogy az több részletében biztosan helytelen, de talán mégis némi fogalmat ad az érdekes festéknek eddig teljesen homályos szerkezetéről” (2. ábra).



2. ábra. Zechmeister által felvázolt carotin képlet [8]

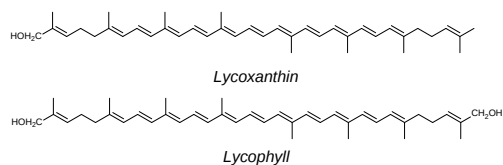
A *polyen* szerkezet felismerése segítette hozzá Paul Karrert¹, hogy 1930-ban felállítsa a karotin és a likopin helyes szerkezeti képletét.



Munkájukat folytatva számos bogyó és egyéb termés vizsgálatát végezték el. *Lycium halimifolium* bogyójából physalient [16,19], *Tamus communis* [17,19] és *Solanum dulcamara* [18,19] bogyójából likopint izoláltak. Görög-dinnyéből

likopint és karotint kristályosítottak ki [20,22]. A napraforgó virág (*Helianthus annuus*) szirmából izolált luteint azonosnak találták a tojásból izolált luteinnal [21,50,55]. Ezenkívül még egy $C_{21}H_{36}O_2$ összetételű anyagot is izoláltak, melyet nem tudtak azonosítani [26]. Az *Euonymus europaeus* terméséből zeaxantint azonosítottak [24,32]. A physalien izolálása kapcsán rávilágítottak arra, hogy az oxigént tartalmazó karotinoidok zsírsavészter formájában vannak jelen a természetben [25,39]. A hidroxil funkciót az észterek jelenléte miatt nem tudták korábban kimutatni. A magyar nyelvű közleményt melyben logikusan levezeti a festékviaszok szerkezetét, a következő szavakkal zárja Zechmeister: „Miután a polyenek és a terpének közti viszony már korábban beigazolódott, a carotinoid festékek és a közönséges zsírok-viaszok közti genetikus összefüggés bizonyítása volt a jelen közlemény fő célja. Hat évre terjedő kísérleteinknek végig tekintve, úgy érzem, hogy mindössze egy vékony célnaszálat sikerült húznunk két hatalmas oszlop között. A carotinoidok oszlopát *Willstätter* alapozta meg, a zsírchémia oszlopa pedig *Chevreul* óta számos kitűnő tudós fáradozásából épült fel. A mi eszmemenetünk csupán az ő gondolataink variálása. Már *Kekulé* mondotta: 'Abszolút újat még nem gondolt senki, biztosan nem a chemiában. Mindnyájan elődeink vállán állunk, csoda-e ha távolabbra látunk?'” [39].

Narancs héjából violaxantint, kriptoxantint, β -citraurint izoláltak [31,77]. Vizsgálták a sütőtök húsának [51] és a díszzők virágjának [65,73] karotinoid-összetételét is. Körömvirágban kimutatták a likopin jelenlétét [36,37]. Mandarinban violaxantint, luteint, zeaxantint, kriptoxantint találtak [41,54,81]. Paradicsomból a likopin [33] mono- és dihidrox-származékát a *lycoxanthin* és a *lycophyll* izolálták [57,66,72,86].

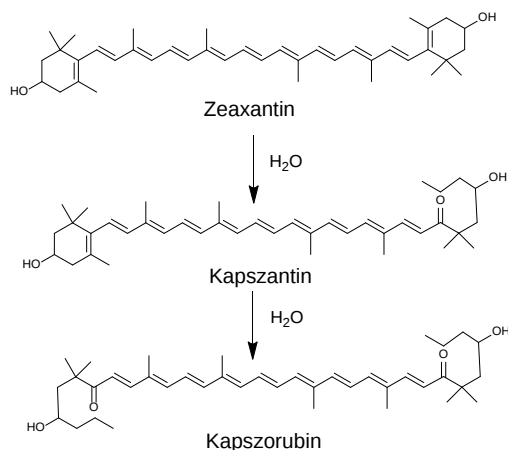


Összehasonlították a japán chili paprika és a magyar piros paprika pigmentjeit [30,38]. Cholnoky kolorimetriás mérést is kidolgozott a paprika karotinoidok mérésére [43]. Az izolált anyagok kristályairól mikroszkóp alatt fénykép-felvételt készítettek [67]. Számos üveglap a felvételekkel (3. ábra) megtalálható Intézetünkben.



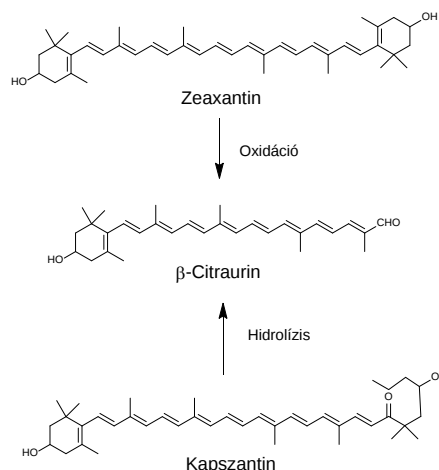
3. ábra. Kapszantin CS_2 -ből kristályosítva

A kutatócsoport 100 éves működését végig kíséri a paprika karotinoidok vizsgálata, szerkezetigazolása. A legelső karotinoidokkal kapcsolatos közlemény a kapszantin első kristályos izolálásáról számolt be [1]. Ez a kapszantin készítmény azonban nem volt egységes. Zechmeister és Cholnoky később - elsőként alkalmazva a Tswett-féle oszlopkromatográfiát - még egy piros mellékfestéket, a kapszorubint talált [47]. Megállapították, hogy a teljesen érett és megszáritott, a kereskedelembe is beszerezhető paprika termésfala (paprikabőr) a két különleges vörös festéken kívül még különböző sárga festékeket is tartalmaz, amelyek közül a kriptoxantint és zeaxantint sikerült kristályosan elkülöníteni, a többi pigmentet ellenben csekély mennyiségük miatt nem lehetett kristályosítani és azonosítani [47,48]. Zechmeister és Cholnoky első kapszantin összegképlete ($C_{34}H_{48}O_3$) ugyan még helytelen volt [29], de számos kísérlet után [27,28] helyesbítették és felismerték, hogy a kapszantin is 40 szénatomos karotinoid ($C_{40}H_{58}O_3$) [47]. A szerkezetkutatás megkezdésekor Zechmeister és Cholnoky abból a feltételezésből indult ki, hogy a piros paprikában együttesen előforduló karotinoidok, azaz a kapszantin, kapszorubin, zeaxantin, kriptoxantin és karotin egymáshoz hasonló, rokon vegyületek. Így előtérbe került a kapszantin és kapszorubin lehetséges szerkezeti képleteinek mérlegelésekor a béta-alapstruktúra. A kapszantin nagy „színereje” folytán feltételezték, hogy a mikrohidrogénezéssel kimutatott tíz telítetlen kötés egymással konjugációban van [7,9,56]. A kapszantin 10 kettős kötésének konjugációja azonban egyedül még nem magyarázná meg élénkpiros színt, hisz a β -karotinban 11 kettős kötés van konjugációban, és színe mégiscsak sárga. Ésszerűnek látszott tehát a kromoforba még egy karbonilcsoportot is belevonni, bár ilyet semmiféle oxoreagensekkel sem sikerült kimutatni. Mivel a kapszantinnak sem sav, sem enol, sem aldehid jellege nincs [56] a kapszantin harmadik oxigénjének ketonos elhelyezése közvetlen igazolás nélkül is elfogadhatónak látszott. Feltételezték, hogy a karbonilcsoport árnyékoltága miatt nem reagál az oxoreagensekkel. Zechmeister és Cholnoky úgy gondolták, hogy a piros paprikában a kapszantin és a kapszorubin a zeaxantinból vízzaddícióval egybekötött gyűrűfelnyílással jön létre (4. ábra).



4. ábra. A kapszantin és a kapszorubin képződése Zechmeister és Cholnoky szerint [56]

A fenti képletet erősítette meg 1937-ben Zechmeister és Cholnoky [84], amikor a kapszantin lúgos kezeléssel kiváltott retro-aldolkondenzációja során β -citraurint nyert (5. ábra), melyet egy évvel korábban Zechmeister és Tuzson [85] narancshéjből már izolált. A β -citraurin keletkezése kapszantinból azt jelentette, hogy a kapszantin szerkezete a C(1) – C(9') atomok között azonos a zeaxantinéval. Karrer² ugyanis a zeaxantin oxidációjával β -citraurint kapott (5. ábra), így közvetlen bizonyítékot adott arra, hogy a kapszantin a C(9') atomig azonos a zeaxantinnal.



5. ábra. A β -Citraurin előállítása zeaxantinból és kapszantinból [84]

Zechmeister a karotinoidok olyan elismert szakértőjének tartották, hogy felkérték, írjon egy fejezetet ezekről a vegyületekről az 1932-ben megjelent *Handbuch der Pflanzenanalyse* című kézikönyvbe [35], amelyet hamarosan egy 340 oldalas monográfiává bővített, ami két évvel később jelent meg *Carotinoide* [45] címmel. A könyv előszavában már utalást tesz a karotinoidoknak az élővilágban betöltött szerepéről is: „Nem elegendő a karotinoidokat a természetes színezékek egy speciális osztályaként leírni, és egyszerűen csak felvenni őket az osztályozásba. Egyrészt különös szerkezetük a tisztán szerves kémikusnak teljesen új szempontokat és feladatokat kínál, másrészt a poliénpigmentek hatalmas elterjedtsége a legkülönbözőbb fajtájú szervezetekben határozottan jelzi, hogy a vitális anyagok közé tartoznak. A karotinoidok kémiai és élettani tanulmányozása már számos kapcsolatot tárt fel a növény- és állatvilág más testosztályaival, de még fontosabb, ma még rejtve maradt összefüggéseket is sejtene.” [45].

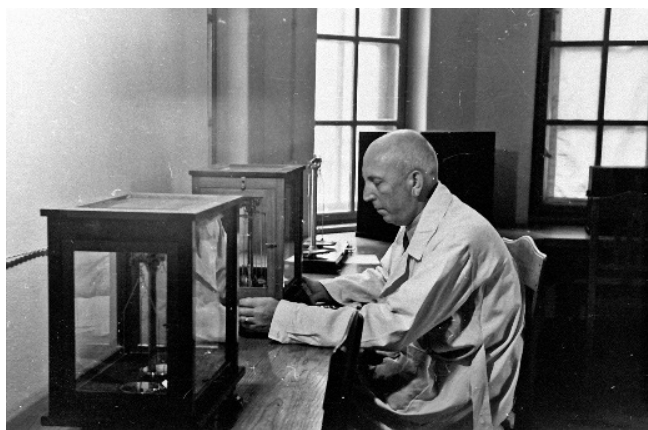
Nehéz megállapítani, hogy Zechmeister mikor kezdte el a kromatográfiát alkalmazni. Valószínűleg hallott Tswettről és munkásságáról még Zürichben Willstätternél [34], de ott semmilyen kromatográfiás munkában nem vett részt. Kromatográfiával kapcsolatos részletes ismeretei valószínűleg Palmer 1922-ben megjelent *Carotenoids and Related Pigments* című könyvéből³ származnak. Zechmeister az 1934-ben megjelent *Carotinoide* című könyvének [45] egyik fejezetében már részletesen tárgyalta a kromatográfiás technikát és annak a növényi pigmentek vizsgálatában való felhasználási lehetőségeit, és a szövegből kitűnik, hogy ennek alkalmazásában már volt némi tapasztalata. Az első

folyóiratcikkek, amelyek kifejezetten e technika alkalmazását említik, Cholnoky László tollából 1933-ban jelentek meg magyarul [42,44]. Ezekben Cholnoky említi Richard Kuhn 1931-ben⁴ és 1932-ben⁵ megjelent kromatográfiás vizsgálatait és módszereit, sőt, módosítja is a Kuhn által használt kromatográfiás oszlopot [42]. A nemzetközi porondra azonban csak 1934-ben [47] léptek ki a módszerrel, amikor a paprika karotinoidok adszorpciós analiziséről számoltak be. 1936-ban írtak egy tanulmányt a kromatográfia elmúlt 30 évéről [74], és a színtelen anyagok kromatográfiájáról [75].



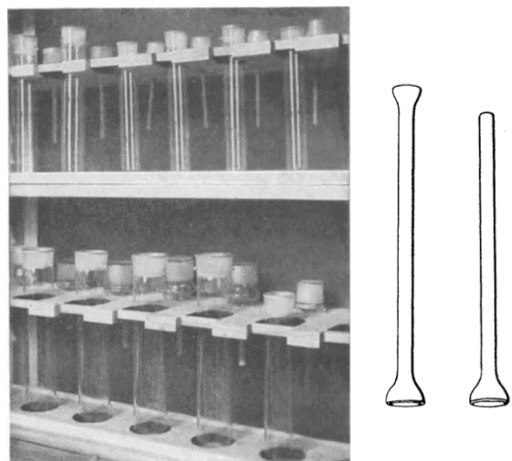
6. ábra. Zechmeister László kromatografál

Érdekes találgatni ennek a késedelemnek az okairól: véleményem szerint ennek magyarázata a pécsi felszereltség hiánya. Akkoriban a tiszta vegyületek azonosítását elemanalízissel kellett megerősíteni (e nélkül a papír nem volt „papír”), azonban Zechmeister laborja csak a harmincas évek elején tudott mikromérleget (akkor még nagyon drága terméket!) vásárolni, amire mindenképpen szükség lett volna a nagyon kis mennyiségű kromatográfiás frakciók meghatározásához. Ettől kezdve azonban Zechmeister folyamatosan nagy számban publikált kromatográfiás dolgozatokat: kromatográfiás könyve második kiadásának bibliográfiai részében 33 cikket sorol fel, amelyeket 1938 nyara előtt adott ki.



7. ábra. Cholnoky László analitikai mérleggel

Zechmeister legfontosabb hozzájárulása tehát a kromatográfiához a kromatográfiás adszorpciós módszerről szóló *Die chromatographische Adsorptionsmethode* [82] című monográfiája volt, amelyet Cholnoky Lászlóval együtt írtak. Ez volt a megfelelő könyv, amely a megfelelő időben jelent meg, és azonnal bestseller lett: az 1937-ben megjelent eredeti kiadást egy éven belül egy nagymértékben kibővített, második kiadás [88] követte. A könyv körülbelül egyharmada az alapokkal és a módszertannal foglalkozott, kétharmada pedig az alkalmazásokat tárgyalta, és a kromatográfia használatát ismertető cikkek teljes bibliográfiáját is kiegészítették. Ez a könyv részletes leírásokat tartalmazott nagyszámú mintatípus elemzéséhez, és szabványosította a kromatográfiás hardvert is. A Zechmeister könyvében látható oszlopok (8. ábra) az 1950-es évek végéig számos laboratóriumban használatban voltak. Itt jegyzem meg, hogy kutatócsoportunk még a mai napig használja az eljárást, amelynek segítségével számos új karotinoid izolálása vált lehetővé. 1943-ban a könyv angol fordítását is kiadták [100], így angol nyelvterületen is sikerré vált.



8. ábra. Kromatografáló oszlopok és tömőfák [82]

Ahogy már említettem, Zechmeister hamar felismerte a karotinoidok kapcsolatát más természetes vegyületekkel, és a karotinoidok biológiai jelentőségét [46,49]. Az 1930-as évek elejétől Zechmeister főleg Tuzson Pállal, vizsgálta az állati és emberi eredetű lipochrom-okat is. Az 1935-ben az Orvosi Hetilapban [62] megjelent közleményükben ezt írják: „Kísérleteinket *tehén- és lózsírral* kezdtük meg és mindkét esetben sikerült is, részben a *Tswett-féle* chromatographia segélyével, analysis-tiszta *carotint* kinyerni. Ugyancsak elkülönítettük a *tyúkzsír* lipochromját, mely azonban, sajátos módon, carotinmentes és tiszta *xanthophyll*-nek bizonyult. Tájékoztatóul szolgálhatnak a következő adatok: 1 kg tehénzsírban volt 11 mg carotin, 1 kg lózsírban 6 mg carotin, 1 kg olvasztott tyúkzsírban 5 mg xanthophyll. E mennyiségeknek 20–40%-a kristályosodott ki. A vázolt eredmények alapján azt reméltük, hogy az *emberi lipochrom* feldolgozása is sima lefolyású lesz, azonban itt, a következő okokból, sokkal nagyobb kísérleti nehézségek mutatkoztak: 1. az emberi zsír legtöbbször gyen-

gén (vagy egyáltalán nem) pigmentált, ami a prosecturák anyagából ismeretes és 2. a *lipochrom* bonyolult összetételű, úgy, hogy *carotin*, *lycopin*, *xanthophyll*, *capsanthin* egyaránt előfordul benne, kismennyiségű ismeretlen festék kíséretében. Csak hosszabb kísérletezés árán értünk itt célhoz: a hozam 2 mg analysis-tiszta carotin és 3/4 mg tiszta, kristályos *lycopin*, 18 kg comb- és hastáji bőralatti zsírszövetből, vagyis a colorimetrikusan mért mennyiség 20 %-a. 1 kg zsír 0,5 mg *carotint* tartalmazott, az A-provitamin tehát mindössze 1 : 2,000.000 koncentrációban fordult elő, bár gondosan kiválasztott, erősebben színes nyersanyaggal dolgoztunk.”

Összességében vizsgálták a tehén, a ló [52,53], a csirke zsírjában [52], a sertés májában [80], a vízibéka májában, bőrében [78], az emberi zsírban [58,59,64] és emberi májban [61] előforduló karotinoidokat. Az emberben előforduló lipochromok vizsgálata alapján [58,59] következtettek ezen vegyületek szelektív felhalmozódására [63], és élettani jelentőségére [70]. „Szervezetünk nem zárja ki a lipokróm pigmentek egyik kategóriáját sem az anyagok körforgásából, hanem minden fontos karotinoid kimutatható az ember zsír raktáraiban, ha az érendben benne volt” írták 1935-ben megjelent közleményükben [60]. Az állati és emberi karotinoidok vizsgálatáról Zechmeister 1936-ban egy hosszabb könyvfejezetben is beszámolt *Lipochrom und Vitamin A* címmel [69].

Az 1930-as évek második felétől kezdve foglalkoztak a karotinoidok izomerizációjával. Először a likopin spon-tán izomerizációjáról számoltak be [89], majd a kriptoxantin és β -karotin [90], a zeaxantin és a fizalién [92], valamint a xantofill [93], és a paprika karotinoidok [98] izomerizációját vizsgálták. Korábban azt figyelték meg, hogy a β -karotin többször ismételt kromatografálása Al_2O_3 adszorbensen két zónát eredményez, így kezdetben azt az adszorbens kontakt hatásának tulajdonították. Zechmeister, Tuzson, Polgár és Cholnoky felismerték, hogy a jelenség független az adszorpciótól. Kimutatták, hogy az izomerizáció már a kristályos karotinoidok feloldását követően szoba-hőmérsékleten is, bár csekély mértékben, de azonnal megindul, s melegítés, az oldatok forralása, valamint fény hatására, továbbá katalizátorok jelenlétében lényegesen felgyorsul. Kidolgozták a jódkatalizált izomerizáció [91] metodikáját is.

Zechmeister 1938-ban nyugat európai és amerikai körutazáson vett részt. A kaliforniai Pasadenában tartott előadásai után Linus Pauling professzori pozíciót ajánlott fel neki, melyet akkor nem fogadott el. 1939 tavaszán azonban már azt írta Paulingnak, hogy nagyon aggasztja a politikai helyzet Magyarországon, és feleségével fontolgatják, hogy elhagyják az országot. Végül 1940 februárjában érkezett Pasadenába. Akadémiai székfoglalóját [99] távollétében Zemlén Géza olvasta fel 1940 október 21-én. Zechmeister László 1943-ban mondott le véglegesen a pécsi katedráról.

3. 1941-1967: Cholnoky László



1899-1967

Zechmeister távozása után Cholnoky Lászlót bízták meg a Kémiai Intézet vezetésével. 1946-ban nyilvános rendkívüli tanárnak, 1948-ban nyilvános rendes tanárnak és az Intézet igazgatójának nevezték ki. Az Intézetből eltávozott Tóth Géza, Tuzson Pál, Vrabély Vera. Polgár Andor Zechmeister Lászlóval tartott az USA-ba.

A csoportba új tagok érkeztek, Szabó Dezső (1945), Nagy Erzsébet (1948-1952), Pánczél Márta (1949-1960), Györgyfy Katalin (1955-1970), Alkonyi István (1951), majd 1954-ben Szabolcs József. Végzése után 1961-ben került az intézetbe Tóth Gyula, aki már I. éves hallgató kora óta dolgozott a csoportban. Rövidebb időt töltött Pécsen Messmer András (1947-1949) és Schneider Gyula (1955-1959) is. Erre az időszakra mindketten szívesen gondoltak vissza.

Az 1940-es években a kutatás intenzitása észrevehetően csökkent, s az első közlemény csak 1953-ban jelent meg. Az új dolgozatok azonban fáradtságos munka eredményei voltak.

Cholnoky és munkatársai újból elkezdtek foglalkozni a paprika karotinoidokkal, ám a kereskedelembe kapható paprika-termésszal helyett áttértek a frissen szedett termés vizsgálatára, mert attól tartottak, hogy a szokásos ipari feldolgozáskor az érzékeny karotinoidok változásokat szenvedhetnek, nekik pedig éppen az volt az egyik céljuk, hogy az élő növényi szerv karotinoidjait ismerjék meg.

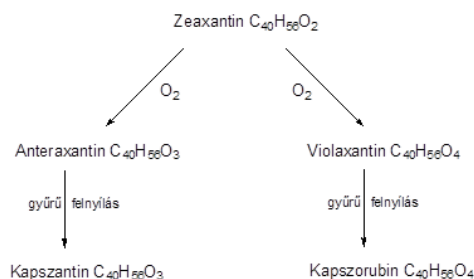
A paprikának számos fajtája ismeretes, amelyek főleg termésük formájában és színében különböznek egymástól. Cholnoky a piros paradicsompaprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme rubrum*) és a sárga paradicsompaprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme flavum*) érett és éretlen termésének karotinoidjait vizsgálta [101-104,108,109].

Az először vizsgált piros paradicsompaprika termésének fejlődésében két élesen elhatárolt szakaszt lehet megkülönböztetni: a termés az első szakaszban klorofill tartalma miatt zöld színű, a másodikban viszont a klorofill eltűnésével párhuzamosan megvörösödik. Az éretlen, zöld termés karotinoidjai közül Cholnoky és munkatársai a

következőket azonosították [102,103]: β -karotin, β -karotin-monoepoxid (nyomok), mutatokróom, neo- β -karotin B és U, violaxantin, xantofill (lutein), föliaxantin (neoxantin), föliakróom (a föliaxantin furanoid származéka) és anteraxantin (nyomok). Ezen kívül a zöld termés valószínűleg tartalmazott még kriptoxantint, valamint a xantofill és a violaxantin *cisz*-izomerjeit. Az érett termés festékei a következők voltak: β -karotin, aurokróm, mutatokróom, kriptoxantin, kriptokapszin, neo- β -karotin B és U, kapszorubin, kapszantin, violaxantin, anteraxantin, xantofill-epoxid, zeaxantin, és ezek közül egyeseknek a *cisz*-izomerjei. A paprika leveleinek karotinoidjai minőségileg megegyeztek az éretlen zöld termésével, tartalmaztak azonban α -karotint is. Festéktartalmuk viszont 65-ször akkora volt, mint a zöld termésé. Ezen adatok birtokában Cholnoky és munkatársai arra következtettek, hogy a levelekben és a klorofill tartalmú termésekben az egyes pigmenteknek azonosnak kell lennie. A termések érésénél a klorofill eltűnésével párhuzamosan a festékképződésben minőségi változás következik be, amelyet a festékek mennyiségének ugrásszerű megnövekedése követ.

Ezt követően Cholnoky és munkatársai a sárga paradicsompaprika festékeiről számoltak be [108,109]. Ennek a kultúrfajtának éretlen termései zöldek, de a klorofill eltűnésekor, tehát teljes beérés után sem vörösdnek meg, hanem narancssárgák maradnak. Az éretlen, zöld termésben a következő karotinoidokat azonosították: β -karotin, xantofill, violaxantin, és ezeknek néhány *cisz*-izomerje, β -karotin-monoepoxid, β -kriptoxantin és anteraxantin nyomai, föliaxantin és föliakróom. Az érett sárga termések festékei: α - és β -karotin, α - és β -kriptoxantin, valamint ezeknek *cisz*-izomerjei, xantofill, violaxantin, anteraxantin és a két előbbi *cisz*-izomerjei, föliaxantin, föliakróom, és nyomokban β -karotin-monoepoxid. A levelek karotinoidjai minőségileg megegyeztek az éretlen termésével, de tartalmaztak α -karotint is, festéktartalmuk pedig 50-szer nagyobb volt, mint a zöld termésé.

A kísérleti adatokból Cholnoky a karotinoidok oxigén-transzfer szerepére következtetett [104], ezek a megfontolások azonban nem voltak bizonyíthatóak. Cholnoky és munkatársai érdeme, hogy sárga paradicsompaprikából izolálták először kristályosan az α -kriptoxantint, melynek szerkezetét később igazolták [110,111]. A piros paradicsompaprikában még egy piros festéket találtak, a kriptokapszint [118]. Cholnoky másik feltevése a kapszantin és a kapszorubin bioszintézisére vonatkozott (9. ábra). Eszerint a zeaxantin epoxidálásával anteraxantin, illetve violaxantin keletkezik, és ezekből képződik gyűrűfelnyílással a kapszantin, illetve a kapszorubin [102,103].

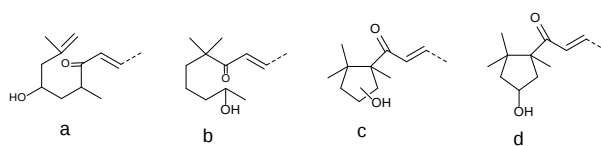


9. ábra. A kapszantin és a kapszorubin képződése zeaxantinból Cholnoky szerint [103]

E munkák kapcsán javasolta Cholnoky a kapszantin addig elfogadott szerkezetének revízióját.

Az 1930-as években felállított szerkezeti képletek hosszú ideig jól magyarázták a kapszantin és kapszorubin ismert tulajdonságait. A közel két évtizedes nyugalmat azonban élénk érdeklődés váltotta fel, amikor 1955-ben Cholnoky és munkatársai [102,103] utalást tettek arra, hogy a kapszantin és kapszorubin szerkezetét helyesbíteni kívánják. Így a már nyugvópontra jutott piros paprikafestékek szerkezeti kérdése ismét a felszínre került, és Paul Karrer iskoláján kívül hamarosan B.C.L. Weedon londoni munkacsoportja is bekapcsolódott a kutatásokba.

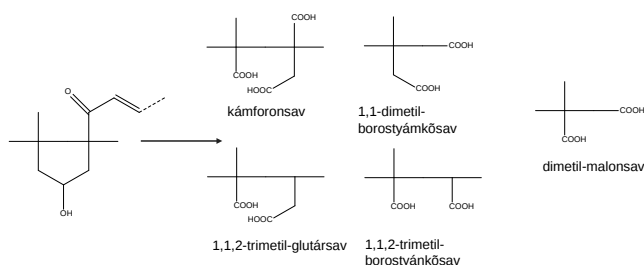
Cholnoky [105,106] nagyszámú kísérleti anyagon bizonyította - főleg a kapszantin és kapszorubin észtereit égetve - hogy a kapszantin helyes összegképlete két, a kapszorubin pedig négy hidrogénatommal szegényebb a régi összegképleteknél. A kapszantin új összegképlete tehát $C_{40}H_{56}O_3$, a kapszorubiné pedig $C_{40}H_{56}O_4$. A régi tapasztalati képletekhez viszonyítva, az új összegképletek hidrogén hiánya vagy újabb telítetlenség, vagy újabb gyűrű mellett szólt. Gyűrűk feltételezése a festékek biogeneizise szempontjából valószínűtlennek tűnt. A régi szerkezeti képleteket Cholnoky tehát úgy próbálta módosítani, hogy a kapszantin molekulájában egy, a kapszorubinban pedig két új etilénkötést feltételezett. A feladat tehát ezek után az új kettős kötések elhelyezése volt. Mivel a kapszantin szerkezetének C(1)-től a C(9') atomig a zeaxantin szerkezetével meg kell egyeznie, az új kettős kötés csak a karbonilcsoport utáni molekularészben lehet. Tekintettel a kapszantin és kapszorubin bizonyított kromofor rendszerére, az új kettős kötés csak izolált helyzetben helyezkedhet el. Cholnoky a hidroxilcsoportok helyét az új szerkezeteknél is megtartotta, hiszen éppen az előző években feltételezte a kapszantinnak anteraxantinból, a kapszorubinnak pedig violaxantinból való keletkezését. Különböző megfontolások után az izopropilidén szerkezetet (10. ábra, a) választotta [105,106].



10. ábra. Különböző kapszantin végcsoportok

1956-ban Karrer⁶ is módosította az eredeti Zechmeister-Cholnoky féle kapszantin képletet. A Cholnoky által javasolt izopropilidénés szerkezettel ellentétben a karbonilcsoportot a C(1)-hez kapcsolta, és a hidroxilcsoportot a C(5)-re helyezte át (**b**) feltételezve, hogy a kapszantin a β -kriptoxantinból keletkezik a bioszintézis során. Ez Cholnokynak a karotinoidok fiziológiai szerepére vonatkozó elméletével éles ellentétben állt. A Karrer-féle szerkezeti képletekkel a kapszantin, illetve a kapszorubin sok ismert tulajdonságát sem lehetett összhangba hozni. Mivel Karrer eredményei annyira hihetetlennek tűntek, Cholnoky és Szabolcs [107] megismételték a kísérleteket, Karrer eredményeit azonban nem tudták reprodukálni. Ekkor jelent meg Karrer és Entschel újabb közleménye⁷, melyben elvetik az előző szerkezeti képlet módosításukat, és beszámolnak arról, hogy a kapszantinból Oppenauer-oxidációval előállított kapszanton IR-spektrumában megtalálták a ciklopentanonyűrű karakterisztikus frekvenciáját ($\nu=1740\text{cm}^{-1}$). Alig valamivel később Weedon és munkatársai⁸ NMR-spektroszkópiával hasonló eredményre jutottak, és megadták a ciklopentángyűrűn kívül a három metilcsoport 1,1,5-helyzetét is (**c**). A hidroxilcsoport helyzete a ciklopentángyűrűn azonban továbbra is bizonytalan maradt.

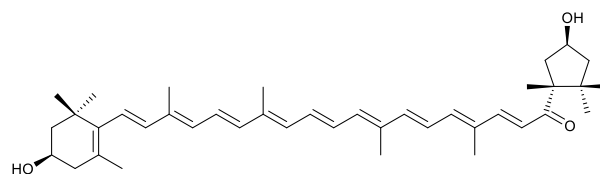
A hidroxilcsoport helyzetét és a trimetil-ciklopentángyűrűs szerkezetet Cholnokynak és Szabolcsnak sikerült kémiai úton igazolnia [115,116]. A kapszantin-diacetátot először ózonizálták, majd krómsavval oxidálták. Az oxidátumot preparatív papírkromatográfiával feldolgozva, kristályos kámforonsavat, 1,1,2-trimetil-glutársavat, trimetil-borostyánkőssavat, 1,1-dimetil-borostyánkőssavat és dimetil-malonsavat izoláltak. A savak megjelenése bizonyította mind a ciklopentángyűrűs végcsoportot, mind a rajta lévő szubsztituensek helyzetét.



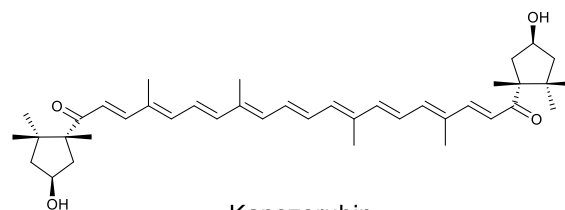
11.ábra. A κ -végcsoport ózonizálásának termékei

A kámforonsav izolálása nemcsak a szerkezetfelfedezés szempontjából volt fontos, hanem a (-)-kámforonsav lett a karotinoidok abszolút konfiguráció-vizsgálatában az első vonatkoztatási alap is. Karrer és Faigle^{9,10} ugyanis lényegében ezt a lebontást ismételte meg nagyobb mennyiségű kapszantinból kiindulva, és kristályos állapotban olyan mennyiségű kámforonsavat tudtak izolálni, melyből megállapíthatták a fajlagos forgatóképességét is. Így a (-)-kámforonsav - melynek abszolút konfigurációja már ismert volt - egyértelműen bizonyította a kapszantin 5'-szénatomjának *R*-konfigurációját. A ciklopentángyűrűhöz kapcsolódó karbonilcsoport és a 3'-helyzetben lévő hidroxilcso-

port *transz* helyzetéből pedig következett a 3'-szénatom *S*-konfigurációja. Ezzel tehát tisztázódott a kapszantin végcsoportjának (κ -végcsoport), és ezzel a kapszantinnak és kapszorubinnak a szerkezete; eddig ilyen végcsoport nem volt ismeretes.



Kapszantin
(3*R*,3'*S*,5'*R*)-3,3'-dihidroxi- β , κ -karotin-6'-on



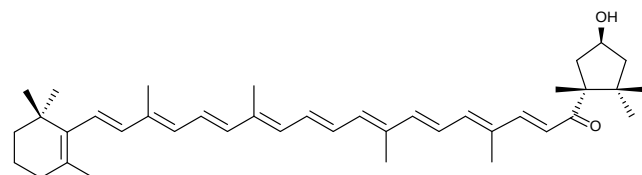
Kapszorubin
(3*S*,5*R*,3'*S*,5'*R*)-3,3'-dihidroxi- κ , κ -karotin-6,6'-dion

Személyes megjegyzés: Szabolcs professzor valamikor 1988-1989 táján egy laboratóriumi beszélgetés során mesélte nekem, az akkor még ifjú kutatónak, hogy Ő merészelte javasolni Cholnokynak megfontolásra a kapszantinban az öttagú gyűrű jelenlétét. Ezt az ötletet azonban Cholnoky hatalmi szóval azonnal elvetette. Úgy éreztem, ez a tüske még mindig benne van.

A szerkezetre további bizonyítékot szolgáltatott az 1974-ben a kapszantin-*bisz*(*p*-bróm-benzoát)-ról publikált röntgen kristallográfiai adatok¹¹. A kapszantin és kapszorubin szerkezetbizonyító totál szintézisét végül az angol kutatócsoport és a Hoffmann-La Roche kutatócsoportja együtt végezte el 1983-ban^{12,13}.

Cholnokyék az α - és β -kriptoxantin szerkezetének egyértelmű igazolására további vizsgálatokat végeztek [114,117,122], többek közt a *Physalis alkekengi* kehely-levelének analízisét is [112,113].

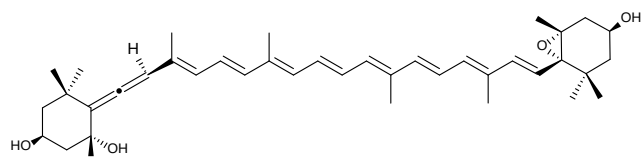
B.C.L. Weedon kutatócsoportjával közösen egy újabb κ -végcsoportú karotinoid, a kriptokapszin izolálását és szerkezetigazolását is elvégezték [118].



Kriptokapszin

Ezzel kezdetét vette egy évtizedes munkakapcsolat a két csoport között. A londoni csoport műszerezettség (NMR, MS, ORD) nagy segítség volt a szerkezetmeghatározásban.

E munka egyik első eredménye a foliaxantin szerkezetének felderítése [124], és a neoxantinnal való azonosságának bizonyítása [126,131] volt.



Neoxantin

(3*S*,5*R*,6*R*,3'*S*,5'*R*,6'*S*)-5',6'-Epoxi-6,7-didehidro-5,6,5',6'-tetrahidro-β'-β-karotin-3,5,3'-triol

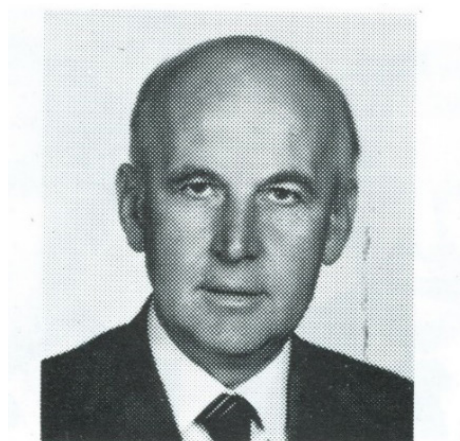
Modern spektroszkópiás módszerekkel igazolták a likoxantin és a likofil szerkezetét [129] is.

A londoni csoporttal a karotinoid 5,6- és 5,8-epoxidokat, valamint a karotinoid ketonokat is vizsgálták tömegspektrometriával [123,130], és tisztázták fragmentációjukat is. Legjelentősebb közös eredményük a Journal of Chemical Society C folyóiratban 1969-ben jelent meg [132]. Ebben a közleményben mintegy 40 karotinoid ORD analíziséről számoltak be, és felállították a végcsoportok additivitásának elméletét, melynek segítségével több karotinoid ORD spektrumát megjósolták.

Weedon professzor meghívására a Queen Mary University of London laboratóriumában Szabolcs József 1965-1966-ban 15 hónapot, Tóth Gyula 1972-1973-ban, 1975-1976-ban pedig Baranyai Márta töltött egy-egy évet.

Cholnoky László 1967-ben váratlanul elhunyt [127,128]. A Kémiai Intézet új igazgatója Szabó Dezső lett, aki heterociklusos kémiával kezdett el foglalkozni és egy új kutatócsoportot alakított ki az intézetben. E csoport tagjai lettek Oszbach György (1968-1999), Lóránd Tamás (1973-2019), Krajcsi Péter (1977-1981), Perjési Pál (1981-2001) és egy rövid ideig (1981-1984) jómagam is. Alkonyi István az újonnan alakult Biokémiai Intézet igazgatói tisztét vállalta el. Szabó Dezső egy analitikai csoport felállítását is célul tűzte ki, melynek vezetését Ohmacht Róbertre (1973-2019) bízta. A csoport eredeti célja a szerveskémikusok munkájának segítése, elemanalízis elvégzése volt. A csoport azonban hamarosan a kromatográfia területén kezdett el dolgozni, és HPLC töltetek fejlesztésével és vizsgálatával ért el jelentős eredményeket. Az Intézet 1972-ben a Rákóczi útról a Szigeti útra költözött, a kutatócsoport a II. emeleten kapott helyet, új kromatográfiai helyiséget is kialakítva.

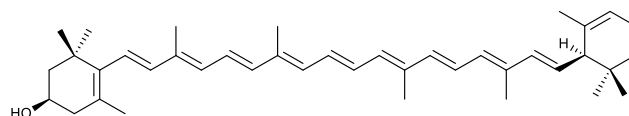
4. 1967-1990: Szabolcs József



1929-

A karotinoidkémiai kutatócsoport vezetését Szabolcs József vette át. Szabó Dezső halála után 1988-1990 között a Kémiai Intézet igazgatói tisztségét is betöltötte. Rövid ideig dolgozott az intézetben Rónai Ádám és felesége Fónagy Klára (1967-1969), Szalay László (1967-1970) és István László (1969-1970). 1969-ben került a csoportba Kerényiné Baranyai Márta, 1971-ben pedig Molnár Péter. Baranyai Márta 1981-ben távozott az Intézetből, helyére 1982-1986 között Sipos László került. Az Ő távozása után kerültem 1986-ban a kutatócsoportba.

Az első éveket az útkeresés jellemezte, több irányban (izolálás, szerkezetbizonyítás, kémiai átalakítás) folytak a kutatások. A munka egyik első eredményeként módosították az α-kriptoxantin szerkezetét [135]. Korábban az α-kriptoxantint 3'-hidroxi-β,ε-karotinként írták le, azaz a hidroxilcsoportot az ε-végcsoportra helyezték [111]. A lutein-ditrikloracetát [134] és a β-kriptoxantin-trikloracetát metanolízisével bizonyították, hogy az α-kriptoxantinban a hidroxilcsoportot a β-végcsoport tartalmazza [135]. A metanolízis során ugyanis a β-végcsoporton lévő hidroxilcsoport változatlan formában felszabadul, míg az ε-végcsoport átrendeződik.



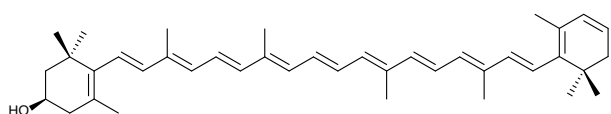
α-Kriptoxantin

Igazolták, hogy a petaloxantin a lutein és zeaxantin keveréke [137], a tareoxantin pedig a 9-*cisz*- és 13-*cisz*-lutein-5,6-epoxid keveréke [138], nem pedig új szerkezetű karotinoidok. Cáfolták az eloxantin létezését [159]. Különböző virágok (*Helianthus annuus*, *Impatiens noli tangere*, *Ranunculus acer*, *Taraxacum officinale*) analízisével igazolták, hogy a taraxantin nem más, mint a lutein-5,6-epoxid [139].

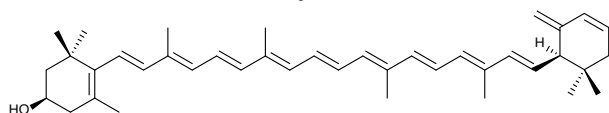
Solanum dulcamara érett bogyójából 3,4-dehidroli-kopin-16-al-t izoláltak, melyet a szerkezet-azonosításhoz a likoxantin Oppenauer oxidációjával is előállítottak [141].

β -Kriptoxantin oxidálásával egy nyíltláncú diketo-vegyületet, a triphasixantint állították elő [144].

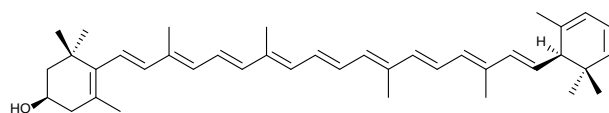
Zeaxantin-ditozilát litium-aluminium-hidriddel történő redukciójával zeaxantint, β -kriptoxantint és retrodehidro-karotint állítottak elő [136]. Perftálsavval a retrodehidro-karotinnál izozeaxantint és izozeaxantin-5,6-epoxidot állítottak elő [140]. Zechmeister eredeti receptjét követve luteinből deoxyluteineket (I-III) preparáltak, és meghatározták pontos szerkezetüket [171].



Deoxylutein I



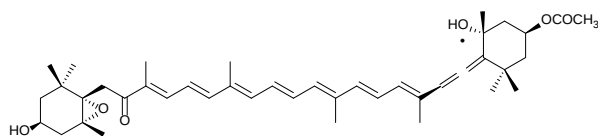
Deoxylutein II



Deoxylutein III

Az 1970-es évek elejére alakult ki a kutatás fő iránya, mely Zechmeistert követve, elsősorban a karotinoidok *cisz-transz* izomériájához és a karotinoid-5,6-epoxidok szerkezetének tisztázásához és a természetben való előfordulásukhoz kapcsolódott.

Folytatva az együttműködést a londoni kutatócsoporttal tisztázták, hogy a természetben előforduló 3-hidrox-5,6-epoxikarotinoidok mindig (3*S*,5*R*,6*S*) konfigurációjúak, míg szintetikusan előállíthatók a (3*S*,5*R*,6*S*) (*anti*) mellett a (3*S*,5*S*,6*R*) (*szűn*) izomerek is [143]. Meghatározták a fukoxantin epoxidos végének abszolút konfigurációját [151], és előállították 9-, 13- és 13'-*cisz*-izomerjét [146].



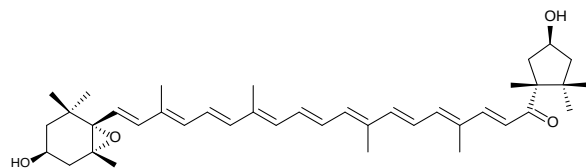
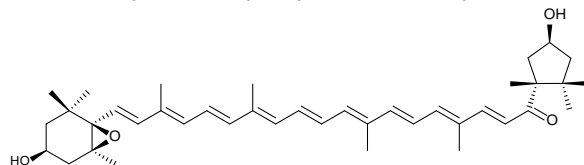
Fukoxantin

(3*S*,5*R*,6*S*,3'*S*,5'*R*,6'*R*)-3,5'-Dihidrox-8-oxo-6',7'-didehidro-5,5',6,6',7,8-hexahidro-5,6-epoxi- β '- β -karotin-3'-il acetát

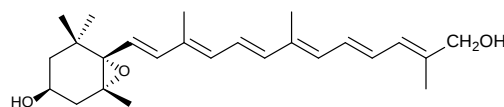
Ugyancsak tisztázták, hogy a violeoxantin a violaxantin 9-*cisz*-izomerje [148].

E mellett természetesen folytatódott egyéb karotinoidok izolálása, és kémiai átalakítása is. Kapszantin epoxidálásá-

val előállították az *anti*- és *szűn*-kapszantin 5,6-epoxidot, és belőlük a megfelelő 5,8-epoxidokat [153,142].

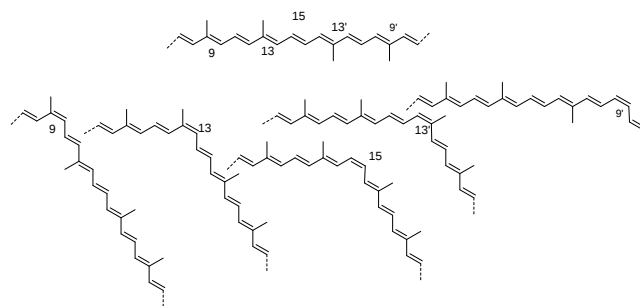
*anti*-(3*S*,5*R*,6*S*)-Kapszantin-5,6-epoxid*szűn*-(3*S*,5*S*,6*R*)-Kapszantin-5,6-epoxid

Cisz- és *transz*-5,6- és -5,8-epoxi-karotinoidok lúgos kálium-permanganáttal történő oxidációjával epoxi-apokarotenálokat állítottak elő [145,156], melyek segítségével később a természetben előforduló epoxidok (pl. neoxantin [156]) *cisz*-kettőskötésének helyzetét is tudták tisztázni. Valencia narancs héjából β -citaurin-epoxidot [160], őszibarack húsából pedig persicaxantint izoláltak [180]. Mindkét vegyület 5,6-epoxi-apokarotenál.

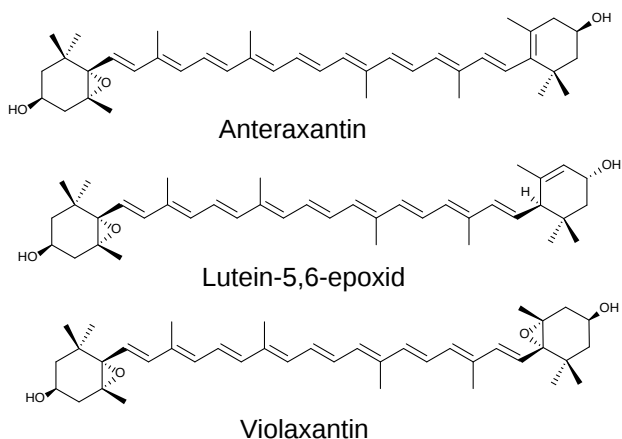


Perzikaxantin

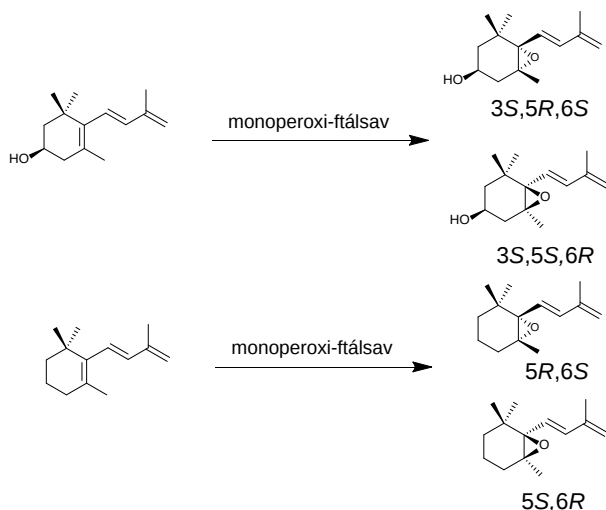
Az 1970-es évek közepétől a kutatás fókuszába a *cisz*-karotinoidok természetben való jelenlétének, valamint a *cisz-transz* izomerizáció kinetikájának vizsgálata került. E munkát elsősorban Molnár Péter végezte. A termikus és jód katalizált fotoizomerizációval előállított karotinoidok geometriai izomerjeit vizsgálták modern szerkezetvizsgáló módszerekkel. Először a szimmetrikus zeaxantin és kapszorubin [149,152] (9*Z*)- és (13*Z*)-izomerjeit majd az aszimmetrikus lutein és kapszantin (9*Z*)-, (9'*Z*)-, (13*Z*)- és (13'*Z*)-izomerjeit határozták meg ^{13}C NMR módszerrel Radics Lajos közreműködésével [161,152]. Előállították a természetes (3*S*,5*R*,6*S*) és szintetikus (3*S*,5*S*,6*R*) anteraxantin fő mono-*cisz*-izomerjeit, és ^{13}C -NMR segítségével hozzárendelték a konfigurációkat [166].

12. ábra. Karotinoidok fő mono-*cisz*-izomerjei

Természetes forrásból izolálták a 9-*cisz*-anteraxantint [155,163], és a 9-*cisz*-lutein-5,6-epoxidot [163,186], és bebizonyították, hogy az aszimmetrikus mono-epoxidoknak csak a 9-*cisz*-izomerje fordul elő a természetben, a 9'-*cisz* nem. Sárga árvácskából (*Viola tricolor*) izolálták a violaxantin centrális *cisz*-izomerjét [158], és bizonyították természetes voltát [169]. Ugyancsak sárga árvácskából a violaxantin négy di-*cisz*-izomerjét (9Z,9'Z; 9Z,13'Z; 9Z,15Z; és 9Z,13Z) is izolálták [176,179].



A kapszantin oxidációjához hasonlóan β -karotinból β -karotin mono- és diepoxidot, luteinből lutein-5,6-epoxidot, zeaxantinből anteraxantint és violaxantint állítottak elő. A monoperftálsavval történő epoxidálás mindig két 5,6-epoxi izomert eredményez kb. 1:1 arányban.



13. ábra. A hidroxilált és nem hidroxilált β -végcsoport epoxidálása

Ha az 5,6-epoxi-végcsoport tartalmaz hidroxil csoportot, akkor az *anti*- és a *szün*-epimer elválasztása oszlop-kromatográfiával is megvalósítható CaCO_3 tölteten [132,166]. A β -karotin mono- és diepoxid epimerjeinek szétválasztása csak mintegy negyven évvel később, királis állófázison sikerült [370].

A karotinoidok *cisz-transz* (Z-E) izomerizációjának a kinetikai vizsgálatát is elkezdték az 1970-es években. Az előzetes eredményekről Szabolcs József már az 1975-ben Bernben megtartott 4th International Symposium on Carotenoids konferencián plenáris előadásban beszámolt [152]. A részletes eredmények publikálása azonban a jódkatalizált fotoizomerizáció [195,205], és a termikus izomerizáció [195,214] kinetikájáról sokat vártott magára, csak a 90-es években történt meg.

Az izolált és a felszintetikus izomerek elválasztása ebben az időszakban is klasszikus oszlopkromatográfiával történt, amely nehéz és hosszadalmas munka volt. Az Intézetben az egyetlen komoly műszer a Perkin-Elmer 402 UV-VIS spektrofotométer volt. A proton és szén NMR vizsgálatok, melyeket Radics Lajos végzett az MTA KKKI-ban, abban az időben még igencsak sok anyagot (20-30 mg) igényeltek. A CD méréseket Kajtár Márton végezte az ELTE-n.

Tóth Gyula vezetésével az 1980-as évek elejétől elindult egy közös munka a POTE I.sz. Belklinikájával, a Mózsik Gyula által vezetett kutatócsoporttal. Elsősorban a karotinoidok - különös tekintettel a β -karotinra és az A-vitaminra - gyomornyálkahártyára gyakorolt hatásait vizsgálták gyomorfekély esetén [165,167]. Patkányban, etanol vagy sósav által kiváltott fekélyek kialakulását, gyógyulását vizsgálták egyéb fekélyellenes szereket is alkalmazva [168,172,173,187-189,192,193]. Az együttműködés az 1990-es években is folytatódott, bár kisebb intenzitással [199,200,202,207,218,253,254].

Ezek az orvosi vizsgálatok abban az időben úttörő jellegűek voltak, azonban a *Helicobacter pylori* baktérium felfedezése átírta a gyomorfekély kialakulásával kapcsolatos elképzeléseket.

Az együttműködés kapcsán a vérszérumban előforduló karotinoidok mérésére már a 80-as években Ohmacht Róbert és Matus Zoltán közreműködésével módszert dolgoztak ki [174,175,177,181]. A vérszérum karotinoid szintjét később különböző (gastrointestinális [217], vastagbél polip [227], Crohn [237], hasnyálmirigy- és vastagbélrák [252]) betegségek kialakulásával próbálták korrelációba hozni.

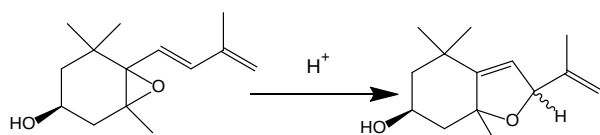
Természetesen a piros paprika vizsgálata is újra terítékre került. Előbb a piros paprika összes és piros karotinoid tartalmának spektrofotometriás meghatározását dolgozták ki [150], majd előtérbe kerültek a HPLC-s vizsgálatok is.

Az 1970-es évek közepétől, a nagynyomású folyadék-kromatográfia gyors ütemű fejlődésével e módszer is egyre nagyobb szerepet kapott a karotinoid analízisben. Az elválasztástechnika, a műszeres analitikai módszerek (HPLC) és ezek detektálási módjainak fejlődése lehetővé tette az előzőekben nem kimutatható, kis mennyiségben jelenlévő komponensek kimutatását, elválasztását is. A modern szerkezetvizsgáló módszerek elterjedése lehetővé tette e kis

menyiségben jelenlévő komponensek szerkezetének meghatározását is.

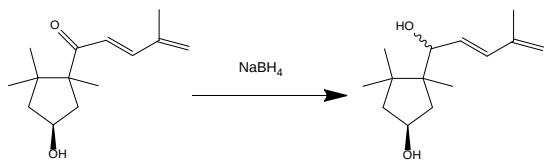
Intézetünkben Baranyai Márta és Matus Zoltán a piros paprika karotinoidjainak HPLC analízisét dolgozták ki [164]. Házilag készítésű, állandó térfogatú szívó oldali gradiens keverővel adott oldószer gradienst tudtak elérni, ezzel lehetővé vált, hogy a széles polaritás tartományt felölölő karotinoidokat egy kromatogramból külön-külön mérjék, az igen poláros kapszorubintól az apoláros szénhidrogén β -karotinig. Az egyes csúcsok azonosítását különböző hullámhosszon végzett mérésekkel, standard anyagokkal és specifikus származékképzési reakciókkal (‘‘savazás’’, redukció) végezték el [162].

A karotinoid-5,6-epoxidok sav hatására karotinoid-5,8-epoxidokká rendeződnek át, polaritásuk csökken, és mivel a konjugált kettős kötés rendszerből egy kettős kötés kiesik, így spektrumuk alacsonyabb hullámhossz irányába tolódik el (14. ábra). Egy kettős kötés kiesése a konjugált rendszerből kb. 20 nm eltolódást jelent.



14. ábra. 5,6-Epoxidok átrendeződése 5,8-epoxidokká

Hasonlóan, a konjugált ketocsoport redukciója is (15. ábra) az UV/VIS spektrum 20 nm-es hipsochróm eltolódását idézi elő, miközben polárosabb hidroxi-termékek keletkeznek.



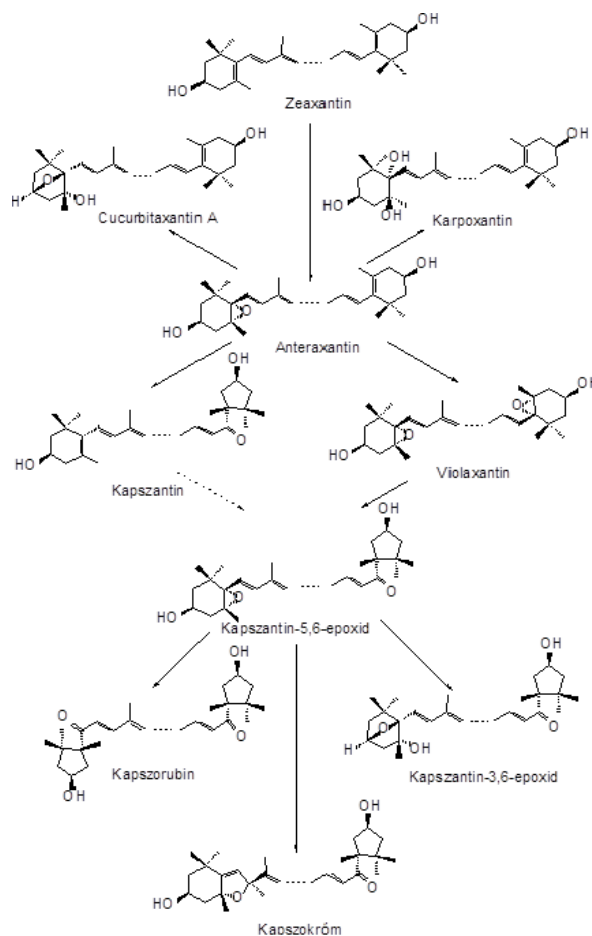
15. ábra. A κ -végcsoport redukciója

Mindkét módszer kitűnő lehetőséget biztosít a jellemző végcsoportot tartalmazó karotinoidok sokkomponensű elegyből való kimutatására, különböző detektálási hullámhosszak alkalmazásával. Ebben az időszakban még egy házilag átalakított Beckman-fotométert használtak detektorként.

E módszerek segítségével elvégezve a piros paradicsompaprika karotinoid-analízisét, 15 csúcsot határoztak meg, melyekből ötöt nem tudtak azonosítani. Ezt az öt komponenst hosszadalmas preparatív kromatográfiás módszerrel izolálták és elvégezték a szerkezetazonosítást [178]. Így piros paprikából először sikerült kristályosan izolálni a kapszantin-5,6-epoxidot, az egyik kapszokróm epimert és a karpoxantint. A további két festék, a cucurbitaxantin A és a kapszantin-3,6-epoxid, az eddig csak kevésbé ismert szerkezetű biciklo-3,6-epoxi-5-hidroxi végcsoporttal rendelkező karotinoidnak bizonyult. Az újonnan izolált karotinoidokat elhelyezték a Cholnoky-Davies-féle bioszintézis

sémába¹⁴ (16. ábra), feltételezve, hogy mind a 3,5,6-trihidroxi- β -végcsoport, mind a 3,6-epoxi- β -végcsoport a 3-hidroxi-5,6-epoxi- β -végcsoportból keletkezik. Így a karpoxantin és a cucurbitaxantin A anteraxantinból, a kapszantin-3,6-epoxid pedig kapszantin-5,6-epoxidból képződik.

A cucurbitaxantin A és ennek 5',6'-epoxidja, a cucurbitaxantin B, sütőtökből való izolálásáról a pécsi csoporttal gyakorlatilag azonos időben számoltak be Matsuno és munkatársai¹⁵ (e vegyületek nevüket a növényről kapták). A karpoxantin jelenlétét más növényekben Eugster és munkatársai már korábban leírták, azonban a 3,5,6-trihidroxi- β -végcsoportra a (3S,5R,6R) konfigurációt javasolták¹⁶.



16. ábra. Paprikakarotinoidok bioszintézise [178]

Én ekkor, 1986-ban kerültem Szabolcs professzor hívására a karotinoidkémiai kutatócsoportba. Bár első munkám – újjgyakorlatként – a *cis*-lutein-5,6-epoxidok természetes voltának az igazolásához kapcsolódott [186], hamarosan kialakult a fő kutatási irány, és megint előtérbe kerültek a paprika karotinoidok. Az 1980-as évek második felében az intézetünk HPLC-és részlegére modern Gynkotec pumpák és gradiens keverők, majd egy Waters diódasoros detektor került. A Labor MIM gyárral együttműködve pedig HPLC töltetek fejlesztése is folyt. Hosszadalmas próbálkozás után sikerült kiválasztani egy Chromsil C₁₈ 6 μ m-es után-szila-

nizált töltetet [194], és kifejleszteni egy gradiens rendszert, amellyel kb. 45 perc alatt a karotinoidok teljes polaritás-tartományát sikerült átfogni és ezzel együtt a korábbinál finomabb felbontást is elérni. Ezzel a módszerrel megvizsgáltuk először a sárga paradicsompaprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiceforme flavum*) [198] és a fekete fűszerpaprika (*C.a.* var. *longum nigrum*) [203], majd a későbbiekben a Szentesi Kosszarvú (*C.a.* var. *longum ceratoides*) [210], a Bovet-4 jelű paprika (*C.a.* var. *abbreviatum pendens*) [215], a piros paradicsompaprika (*C.a.* var. *lycopersiceforme rubrum*) [241] karotinoid-összetételének változását az érés során, valamint az ún. „kaliforniai paprika” (*C.a.* var. *grossum* cv. Kaliforniai wonder) [245] különböző színű változatainak az analízisét is elvégeztük, és következtetéseket vontunk le a paprika-karotinoidok bioszintézisének mechanizmusára.

Miközben a paprika analízis első eredményei kezdtek kikristályosodni, Szabolcs József 1990-ben váratlanul nyugdíjba vonult, és távozott az Intézetből.

5. 1991-2003: Tóth Gyula



1936-

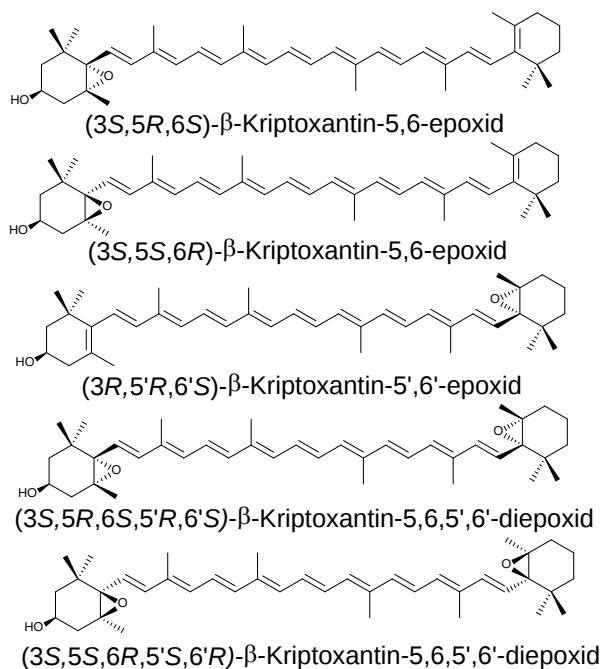
A Kémiai Intézet és a kutatócsoport vezetését Tóth Gyula vette át 1991-ben. Még ugyanebben az évben az Intézetet Orvosi Kémiai Intézetté nevezték át. Rövid ideig dolgozott a kutatócsoportban Fekete Tibor (1990-1992), Gyetvai Gergely (2000-2001) és Oláh Péter (2001-2005). Ők Tóth Gyula vezetésével az I.sz. Belklinikával folytatott kutatásokban vettek részt elsősorban, melyet már említettem. 1999-ben került az Intézetbe Ősz Erzsébet, aki NMR mérésekkel segítette a kutatócsoport munkáját 2005-ig, sajnálatosan korán bekövetkezett haláláig.

Így a kutatócsoport tényleges létszáma három főre, Tóth Gyulára, Molnár Péterre és jómagamra apadt. Matus Zoltán a kromatográfiás csoportból a HPLC-s mérésekben segített. A kutatás egyik iránya a paprika karotinoidokkal kapcsolatosan folyt tovább. A korábban leírt bioszintézis sémát [178]

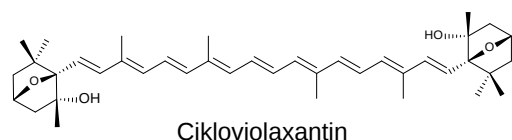
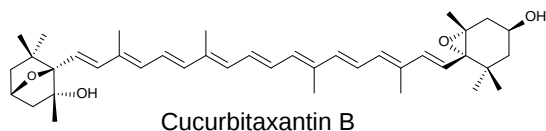
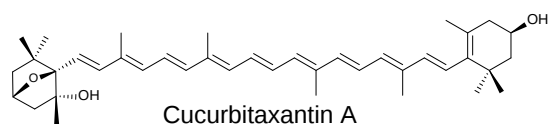
tovább gondolva, észszerű volt feltételezni, hogy további 3,6-epoxi- és 3,5,6-trihidroxi karotinoidok találhatóak a piros paprika extraktumában.

Az analízis adatokra támaszkodva mintegy 40 karotinoidot izoláltunk, vagy állítottunk elő félszintézisekkel, és végeztük el szerkezet- és konfiguráció-meghatározásukat NMR- és CD-spektroszkópia, valamint tömegspektrometria segítségével.

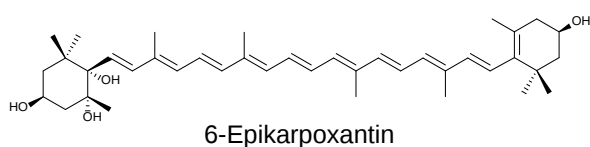
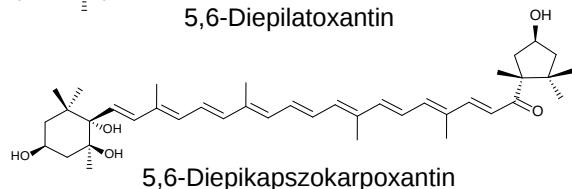
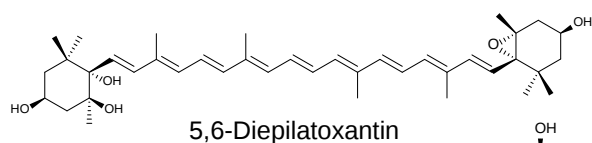
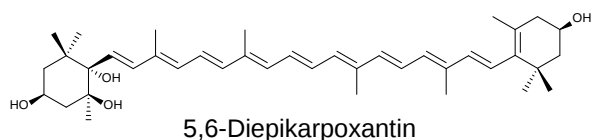
Sárga paradicsompaprikában [198] korábban kimutattuk a β -kriptoxantin-5,6-epoxidot, a kriptokapszin prekursorát, melyet kis mennyisége miatt nem tudtunk kristályosan izolálni. Így β -kriptoxantin epoxidálásával előállítottuk a szemisztetikus β -kriptoxantin-5,6-epoxidokat és 5,6,5',6'-diepoxidokat [213]. Igazoltuk, hogy a sárga paprikában lévő β -kriptoxantin-5,6-epoxid konfigurációja (3*S*,5*R*,6*S*).



Piros paprikából hat, 3,6-epoxi- β -végcsoportot tartalmazó karotinoidot (cikloviolaxantin [197], cucurbitaxantin A, cucurbitaxantin B, kapszantin-3,6-epoxid, cucurbitakróm epimerék) izoláltunk [211], melyek közül a cikloviolaxantint és a két cucurbitakróm epimert elsőként izoláltuk természetes forrásból. Javaslatot tettünk a 3,6-epoxi-végcsoport bioszintézisének mechanizmusára. Cucurbitaxantin A epoxidálásával előállítottuk a szemisztetikus cucurbitaxantin B-t és epimerjét az 5',6'-diepicucurbitaxantin B-t [204].



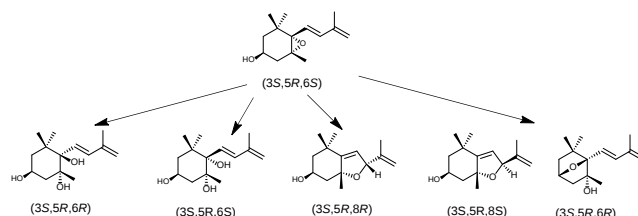
Ugyancsak piros paprikából négy új, 3,5,6-trihidroxi- β végcsoportot tartalmazó karotinoidot (5,6-diepikarpoxantint, 5,6-diepilatoxantint, 5,6-diepikapszokarpoxantint, és 6-epikarpoxantint) izoláltunk [219]. Az 5,6-diepi-vegyületekhez a (3*S*,5*S*,6*S*)-, míg a 6-epikarpoxantin-hoz a (3*S*,5*R*,6*S*)-konfigurációt rendeltük hozzá.



A 3,5,6-trihidroxi- β -végcsoport konfigurációs viszonyainak tisztázására *anti*- és *szün*-kapszantin-5,6-epoxid [220], valamint *anti*- és *szün*-anteraxantin [224] savkatalizált gyűrűnyitásával előállítottuk a további három-három lehetséges szemisztetikus kapszokarpoxantin- és karpoxantin-epimert [220,224]. Izoláltuk és elvégeztük a szerkezetvizsgálatát az összes, főtermékként keletkező karotinoid-5,8-epoxidnak (kapszokróim- és mutatoxantin-epimerek) is. Az *anti*-anteraxantinból keletkező két mutatoxantin-epimert piros fűszerpaprikából is izoláltuk és elvégeztük szerkezet- és konfiguráció-meghatározásukat [235].

Megállapítottuk, hogy a savas gyűrűnyitás termékeinek konfigurációja csak az 5,6-epoxi-végcsoport konfigurációjától függ, és független a másik végcsoport szerkezetétől.

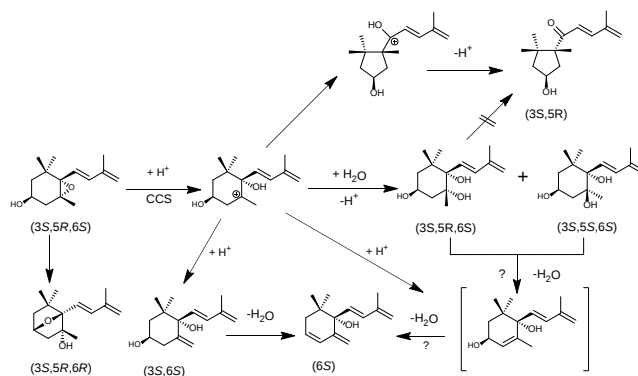
A paprikában előforduló 5,6-diepi-vegyületek ((3*S*,5*S*,6*S*)-konfigurációval) ilyen körülmények között nem keletkeznek. Javlatot tettünk a karotinoid-5,6-epoxidok savkatalizált gyűrűnyitásának mechanizmusára (17. ábra). A savkatalizált reakció során az 5-ös szénatom konfigurációja változatlan marad, míg a 6-os szénatomon vagy megváltozik a konfiguráció, vagy nem [220].



17. ábra. 5,6-Epoxi-karotinoidok savkatalizált gyűrűnyitása [220]

Elsőként izoláltunk a reakcióelegyből szemi-szintetikus 3,6-epoxi-karotinoidokat (kapszantin-3,6-epoxid, cucurbitaxantin A és epimerjeik).

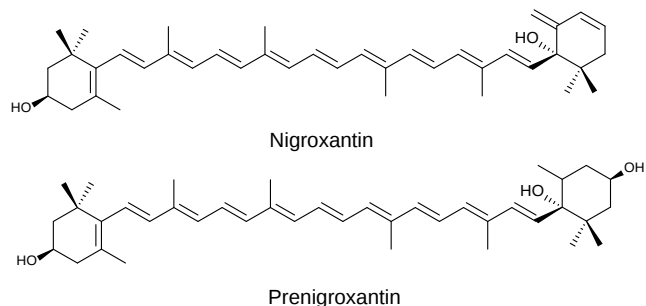
Megállapítottuk, hogy a piros paprikában a 3,5,6-trihidroxi-karotinoidok a kapszantin-kapszorubin-szintáz enzim katalizálta folyamatban keletkeznek és képződésük összefüggésben van az 5,6-epoxi-karotinoidok ún. pinakolin átrendeződésével. Javlatot tettünk az enzimkatalizált reakció mechanizmusára (18. ábra), mely szerint a gyűrűnyitás során a 6-os szénatomon nem változik meg a hidroxilcsoport konfigurációja, míg az 5-ös szénatomon megváltozhat [219]. Francia kutatókkal együttműködve bizonyítottuk a kapszantin-kapszorubin-szintáz enzim szerepét az 5,6-diepi-vegyületek kialakulásában [311].



18. ábra. Feltételezett bioszintézis utak a piros paprikában

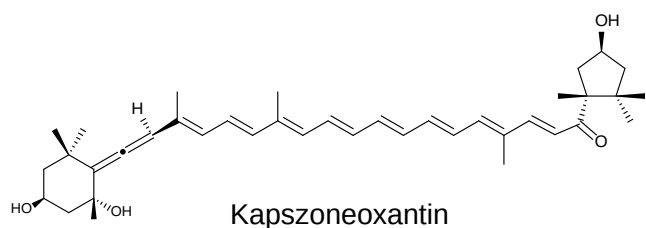
Elsőként izoláltunk piros paprikából további két, újszerű végcsoportot - 6-hidroxi- γ -végcsoportot - tartalmazó karotinoidot, nigroxantint [208] és prenigroxantint [238].

Javlatot tettünk keletkezésük mechanizmusára és ennek alapján a 6'-ös hidroxilcsoport konfigurációjára (18. ábra) [236,241,263].



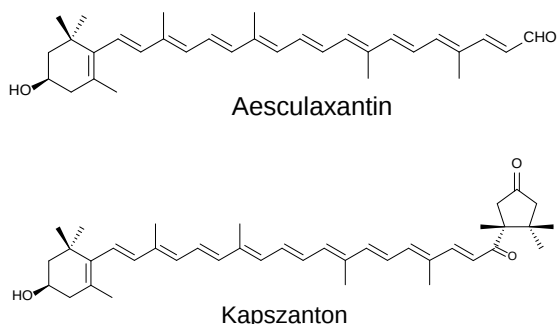
Tigris liliom (*Lilium tigrinum*) szirmából 5,6-diepikarpoxantint, 5,6-diepikapszokarpoxantint, és 6-epikarpoxantint [221], *Asparagus falcatus* bogyójából 5,6-diepikarpoxantint izoláltunk [231]. Eredményeink azt mutatták, hogy azokban a növényekben amelyek tartalmaznak κ -végcsoportú karotinoidokat, a bioszintézis azonos úton játszódik le.

Ugyancsak tigris liliom szirmából kapszantin-5,6-epoxidot [229], az *Asparagus falcatus* bogyójából pedig egy eddig ismeretlen, új szerkezetű karotinoidot, kapszoneoxantint [234] valamint (9Z)-kapszantin-5,6-epoxidot [244] izoláltunk és határoztuk meg szerkezetüket.



Elvégeztük a spárka (*Asparagus officinalis*) bogyójának karotinoid analízisét is [233]. Bár κ -végcsoportot tartalmazó karotinoidokat kimutattunk, 3,5,6-trihidroxi-vegyületet nem sikerült detektálnunk.

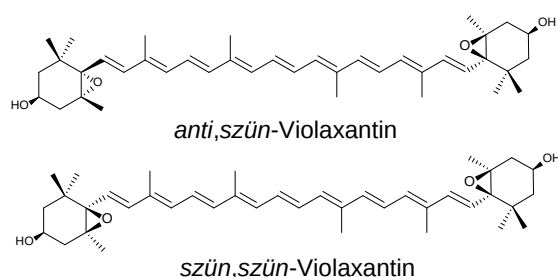
Különböző vadgesztenyefajták (*Aesculus hippocastanum*) szirmának és porzójának analízisével igazoltuk, hogy nem tartalmaznak κ -végcsoportú karotinoidokat [230], mint azt addig az irodalomban állították¹⁷. A főkomponens egy új, eddig nem ismert 6'-apo-karotin-al az aesculaxantin, melynek izolálását és szerkezetazonosítását elvégeztük [223]. Az aesculaxantinból redukcióval előállítottuk az aesculaxantint amelynek természetes előfordulását eddig nem tudtuk igazolni.



Piros fűszerpaprikából a kapszantin oxidált származékát a kapszantont is izoláltuk és elvégeztük szerkezet- és konfigurációmeghatározását [209]. Jelenlétét az *Asparagus falcatus* bogyójában is kimutattuk [231].

Szabolcs József nyugdíjba vonulásával gyakorlatilag a nagyműszeres (NMR, MS, CD) mérési lehetőségek is megszűntek. 1991-ben, a cikloviolaxantin szerkezet-meghatározásával kapcsolatban vettük fel a kapcsolatot a zürichi Eugster professzorral, aki ebben és a cucurbitaxantin B azonosításában segítségünkre volt. Ő ajánlotta a csoportot a berni Hanspeter Pfander professzor figyelmébe, akivel gyümölcsöző kapcsolat alakult a következő mintegy 10 évben. A fentebb említett, Pécsen izolált anyagok NMR mérései a Berni Egyetem Szerveskémia Intézetében, az MS és CD mérések pedig a Hoffman-La-Roche AG. bázeli kutatóintézetében történtek. Az együttműködés keretében Molnár Péter 1992-1993-ban egy évet, én 1994-ben két hónapot töltöttem a berni intézetben. Pfander professzor szervezésében 1996-ban Pécsen került megrendezésre a 1st Central European Workshop on Carotenoids, majd 1998-ban a 2nd Central European Workshop on Carotenoids, mely a karotinoidkutatás modern és klasszikus módszereit mutatta be elsősorban közép- és nyugateurópai PhD hallgatóknak. Hanspeter Pfandert 1997-ben egyetemünk díszdoktorává avatták.

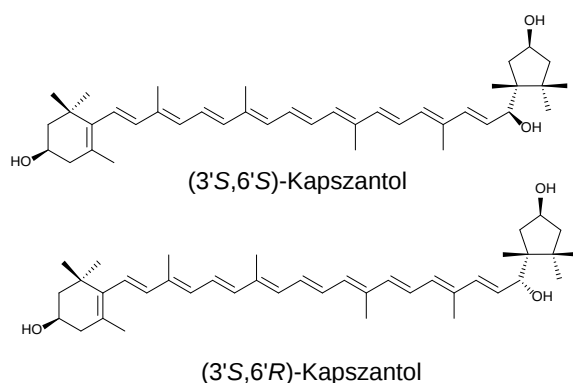
A kutatás másik iránya a Molnár Péter által jegyzett izomerizációs vizsgálatok voltak. Az ő vezetésével elvégeztük a piros paprikából izolált cikloviolaxantin [212], a cucurbitaxantin A [232] és az 5,6-diepikarpoxantin [258], valamint a szintetikus előállított violaxantin diasztereomerek *anti,szűn*=(3S,5R,6S,3'S,5'S,6'R) ill *szűn,szűn*=(3S,5S,6R,3'S,5'S,6'R) [269] termikus és jó katalizált fotoizomerizációját, izoláltuk és azonosítottuk a fő *cisz*-izomereket.



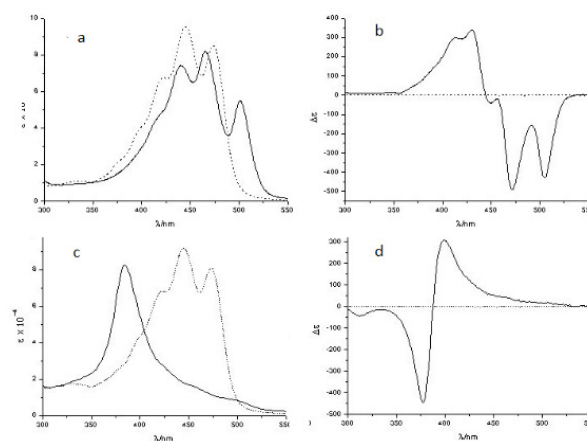
A korábban Molnár Péter által izolált, főleg *cisz*-konfigurációjú vegyületek növénykémiai vonatkozásait széleskörű nemzetközi kooperációban alkalmazták. A tübingeni Achim Hager munkacsoportja vizsgálta a violaxantin-deepoxidáz enzim szubsztrát specifitását különböző *cisz*-karotinoidokat alkalmazva [225]. Andrew Young munkacsoportja vizsgálta a karotinoid-izomerek fotoszintézisben betöltött szerepét [226]. Japán és német kutatókkal kiegészülve vizsgálták számos *transz*- és mono-*cisz*-karotinoidnak a magasabbrendű növények II. foto-rendszere nagy térkitöltésű fénygyűjtő komplexéhez történő kapcsolódását [257]. A dél-afrikai Keith Cowan kimutatta, hogy az érett narancs

héjának színintenzitása függ a jelenlévő 9-*cis*-violaxantin és a β -citaurin relatív mennyiségétől, s ezen karotinoidok arányától [250]. Ugyancsak ő, narancsból 9-*cis*- illetve 9'-*cis*-karotinoid-5,6-epoxidokat excentrikusan hasító enzimet izolált, és vizsgálta ennek az enzimnek az aktivitását, továbbá az abszcizinsav bioszintézisre gyakorolt hatását [251]. Milánói kutatókkal együttműködve a karotinoidok és ciklodextrin nem-kovalens társulásait vizsgálták [256].

Nem hanyagoltuk el a karotinoidok kémiai átalakításának vizsgálatát sem. Vizsgáltuk a paprika keto-karotinoidjainak (kapszantin, kapszanton, kriptokapszin, kapszorubin) redukcióját különböző komplex fémhidridekkel [239,249,262]. A 6'-oxo-csoport redukciója egy új aszimmetria centrum kialakulásával jár, a keletkezett diasztereomerek elválasztása nem mindig egyszerű.



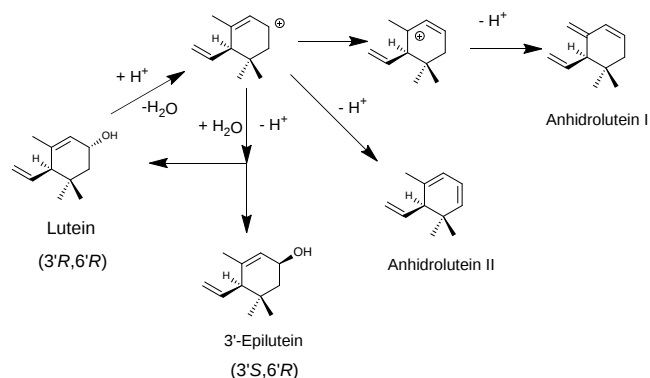
A kapszanton redukciója négy sztereoisomert ad. A keletkezett termékek CD vizsgálata kapcsán kerültünk kapcsolatba az MTA KKKI Molekulárfarmakológiai Osztály kutatóival, Simonyi Miklóssal és Zsila Ferencsel. Az együttműködés később kiterjedt a karotinoidok szupramolekuláris szerveződésének („self-assembly” jelenség) vizsgálatára. A jelenséget a karotinoidoknak a víz hatására bekövetkező aggregációjával lehet értelmezni. A karotinoidok erősen hidrofób jellegű molekulák. Szerves oldószerekben (etanol, aceton stb.) molekuláris oldatot képeznek, ami vizes hígítás hatására hidrofób aggregátum képződéséhez vezet. A karotinoidokból álló szupramolekulát intermolekuláris van der Waals kölcsönhatások tartják össze. Az aggregátumok királisak, mivel a királis karotinoid-molekulák nem képesek egymással párhuzamosan elrendeződni. A végső csoportok kiralitása a molekulák jobbos, ill. balos átfedését kedvezményezi, és ez az aggregátumban megsokszorozódik azáltal, hogy az aggregátumhoz csatlakozó molekulák követik a megkezdett irányt. Az ún. „card-pack” (H-típusú) aggregáció az UV-VIS és a CD spektrum alacsonyabb hullámhossz felé való eltolódását eredményezi, míg a „head-to-tail” (J-típusú) a magasabb hullámhossz felé tolja el a spektrumot. Mindkét típusú szerveződés a CD spektrumban erős exciton jelet (ellentétes előjelű sávpárt) eredményez [240,242,243,247,259,267].



19. ábra. A (3'S,6'S)- (a,b) és a (3'S,6'R)-kapszantol (c,d) UV-VIS és CD spektruma etanolban (...) és víz-etanol (3:1) elegyében (—)

Igazolást nyert az is, hogy a virágok (pl. a vérehulló fecskefű (*Chelidonium majus*)) szirmában a karotinoidok hasonló szerveződésben helyezkednek el [246]. Ugyancsak CD módszerrel vizsgálták a bixin és fehérjék egymáshoz való kötődését is [276,277].

Vizsgáltuk a lutein szerkezeti változásait feldolgozott élelmiszerekben. Megállapítottuk, hogy növényi savak hatására, vagy savas közegben történő feldolgozás esetén a luteinből 3'-epilutein, anhidrolutein I és anhidrolutein II képződik, a körülményektől függő arányban [270,272,303] (20. ábra). Az anhidrolutein I megegyezik a korábban [171] előállított deoxilutein II-vel, az anhidrolutein II pedig a deoxilutein III-al. A vizsgálatokhoz a 3'-epiluteint izoláltuk természetes forrásból, mocsári gólyahírből [273], illetve előállítottuk 3'-oxo-lutein [289] redukciójával [273] is. Termikus és jódkatalizált foto izomerizációval a 3'-epilutein fő mono-*cis*-izomerjeit is előállítottuk [274]. Hőkezelt sóskából anhidrolutein I-t és II-t izoláltunk [278]. Az ugyanezen forrásból származó anhidrolutein II *cis*-izomerjeit Klaus Albert (Tübingeni Egyetem) segítségével HPLC-NMR vizsgálatok segítségével azonosítottuk [286] egy közös NATO grant keretén belül. Ugyanebben az időszakban számoltunk be a lutein (9Z,9'Z)-izomerjének jellemzéséről [287].



20. ábra. A lutein átalakulása savas közegben

6. 2004-: Deli József



1956-

2004 őszétől vettem át a kutatócsoport vezetését és intézet igazgatóhelyettesként a volt Kémiai Intézet vezetését. Molnár Péter Sümegi Balázs dékán unszolására 2006-tól elvállalta a Gyógyszerész Szakon a Farmakognózi Tanszék vezetését, így a csoport munkájában lényegesen kisebb intenzitással tudott részt venni. Ez gyakorlatilag azt jelentette, hogy újra kellett építeni a kutatócsoportot, ami nem kis kihívást jelentett. 2005-ben került az Intézetbe Nagy Veronika és Agócs Attila, 2006-ban Turcsi Erika, aki analitikusként a HPLC méréseken dolgozott 2016-ig. 2006-2007 között dolgozott a csoportban Rákó János. Gulyás Gergely 2007-től, Szabó (Línzembold) Ildikó 2008-tól, Böddi Katalin 2019-től a csoport tagjai.

A 2000-es évek elején már világossá vált, hogy új szerkezetű karotinoidokat csak véletlenszerűen lehet találni növényi forrásban, hazánkban legalábbis. Így tehát el kellett gondolkodni, hogyan tovább. Három terület tűnt ígéretesnek: 1. ismert szerkezetű karotinoidok izolálása elsősorban kooperációban történő biológiai és fizikai-kémiai vizsgálatokhoz; 2. analitikai vizsgálatok, karotinoid-összetétel meghatározás, jó esetben új karotinoidok izolálása; 3. természetes karotinoidok felszintetikus átalakításai potenciálisan bioaktív származékok, konjugátumok előállítására, és ezek biológiai vizsgálata.

Az első területen főleg Molnár Péter tevékenykedett. A fizikai-kémiai vizsgálatok területén Lowell D. Kispert professzorral (The University of Alabama) alakult ki gyümölcsöző kapcsolat, elsősorban a karotinoid gyökök vizsgálata kapcsán. Zeaxantin [293,332] és izomerjei [335], lutein [294], violaxantin [293] 9'-*cisz*-neoxantin [302], likopin és hidrogénezett származékai [316], voltak a vizsgálatok anyai. Hideki Hashimoto (University of Osaka) professzor a karotinoidok optikai abszorpciós spektrumait vizsgálta [349,351] az általunk izolált anyagoknak. A PTE TTK kuta-

tóival a *Xanthophyllomyces Dendrorhous* plazmamembrájának vizsgálatában is résztvettünk [296,314].

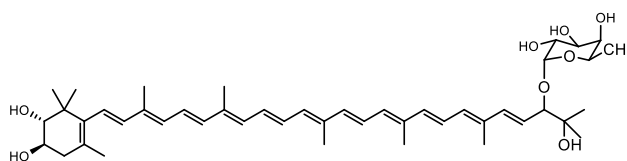
A biológiai vizsgálatok elsősorban a szegedi Molnár József professzornak és japán kutatóknak köszönhetően a karotinoidok, terpének és a multidrug-rezisztencia kapcsolatával foglalkoztak [268,275,284,285,297,312,321]. Ezenkívül vizsgálták a piros paprika, a *Valencia* narancs, a *Golden delicious* alma [281,308], valamint a csipkebogyó (*Rosa canina*) [323] karotinoidjainak biológiai aktivitását.

A PTE ÁOK Farmakológiai és Farmakoterápiai Intézetével közösen a luteinnek az ioncsatorna működését gátló hatását [320], a karotinoidok neurogén gyulladásos folyamatokra gyakorolt hatását [341], valamint a lutein-5,6-epoxid primer érzékelő neuronokra és makrofágokra gyakorolt hatását [358] vizsgáltuk.

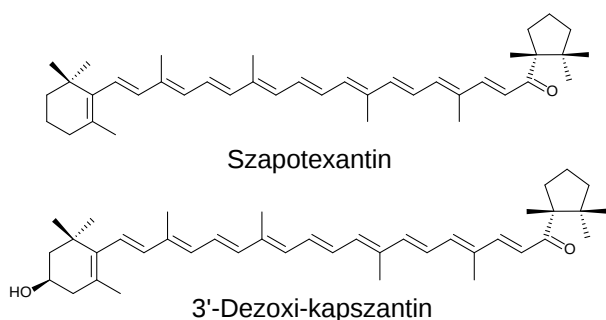
Az utóbbi években ígéretesnek tűnő kapcsolat alakult ki a PTE GYTK Gyógyszerészi Biológiai Intézetével a lutein [359,366] és lutein származékok (3'-epilutein, 3'-oxolutein) [368] glutamát indukálta gyulladást és oxidatív stresszt csökkentő hatásának vizsgálatára.

A karotinoidok izolálása, analízise kapcsán át kellett gondolni a korábbi módszereket. A klasszikus oszlop-kromatográfia helyénél kalcium-karbonátot alkalmaztunk adszorbensként, nagyon oldószer igényes eljárás volt. Kidolgoztunk egy olyan eljárást [300], mellyel a szilikagél savasságát megszüntettük (vizes oldatának pH-ja 9), így el tudtuk kerülni a karotinoidok izomerizációját és az epoxid-furanoid átrendeződést. Ezzel az eljárással megnöveltük a kromatográfia hatékonyságát, és már csak az esetleges további tisztításnál használjuk a klasszikus módszert. Az 1980-as években C_{18} -as állófázisra kidolgozott HPLC módszer sem volt mindenre alkalmazható, így összehasonlítottuk az újabban használt C_{30} -as állófázissal. Megállapítottuk, hogy a poláros karotinoidok elválasztására a C_{18} , míg az apolárosabb karotinoidok illetve *cisz*-izomerjeik elválasztására a C_{30} állófázis a megfelelőbb választás [343].

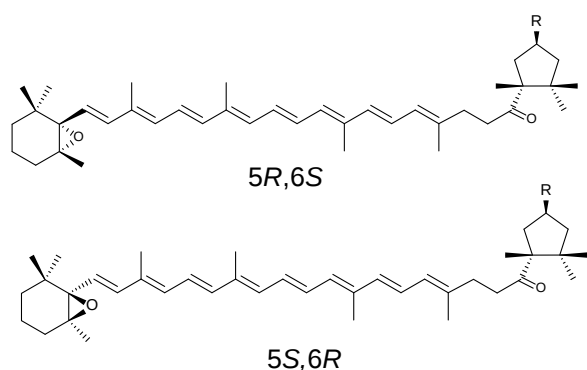
A Debreceni Egyetem Növénytan Intézetével együttműködésben HPLC-DAD-MS módszerrel vizsgáltuk három, Magyarországon is honos, algafaj (*Dunaliella salina*, *Euglena sanguinea* és egy *Nostoc* törzs) karotinoid-összetételét [337]. Vizsgáltuk a *Cylindrospermopsis raciborskii* cianobaktérium karotinoidösszetételét is. A fő komponens 2-hidroxi-(3*R*,2'*S*)-mixol-2'- α -l-fukozidként [347] azonosítottuk.

2-Hidroxi-(3*R*,2'*S*)-mixol-2'- α -L-fukozid

2009-ben kerültünk kapcsolatba a Panamai Egyetem professzorával, Enrique Murilloval, aki segítségünket kérte trópusinövények κ -végcsoportot tartalmazó karotinoidjainak azonosításához. A piros húsú mamey (*Pouteria sapota*) aranybányának bizonyult számunkra, nagy mennyiségben tartalmazott ugyanis olyan karotinoidokat, amelyek κ -végcsoportja nem tartalmaz hidroxilcsoportot, és amelyek eddig ismeretlenek voltak. HPLC-DAD-MS analízis alapján [344] a mamey fő karotinoidja a kriptokapszin (csak kis mennyiségben fordul elő a piros paprikában) mellett a szapotexantin, melyet kristályos állapotban izoláltunk [313]. Mindkettő A-provitamin karotinoid. Munkánk során a HPLC analízisre támaszkodva számos kis mennyiségben jelenlévő κ -karotinoidot izoláltunk: a kriptokapszin-5,6-epoxidot [328], a 3'-dezoxi-kapszantin-5,6-epoxidot, a 3'-dezoxi-kapszantint [342] és a szapotexantin-5,6-epoxidot [355].

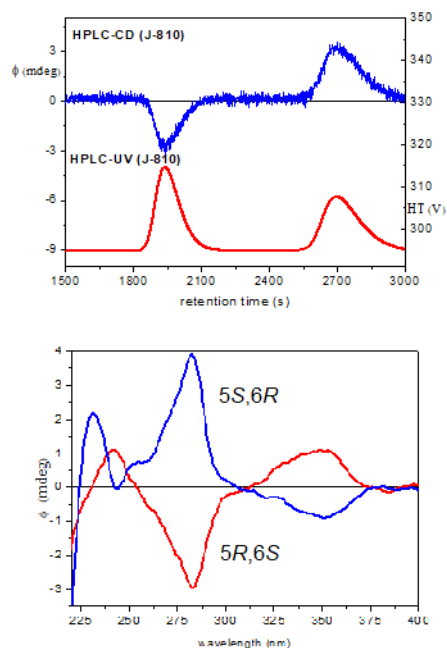


A kriptokapszin-5,6-epoxid és a szapotexantin-5,6-epoxid szerkezetigazolásához kriptokapszin, illetve szapotexantin epoxidálásával előállítottuk a félszintetikus termékeket is. Mint már említettem, az epoxidálás során mindig két epoxid-izomer, az (5*R*,6*S*)-, illetve az (5*S*,6*R*)-komponens keletkezik. Ha a ciklohexángyűrű nem tartalmaz hidroxilcsoportot, akkor oszlopkromatográfiával a termékek nem választhatók szét.



R = H: Szapotexantin-5,6-epoxid
R = OH: Kriptokapszin-5,6-epoxid

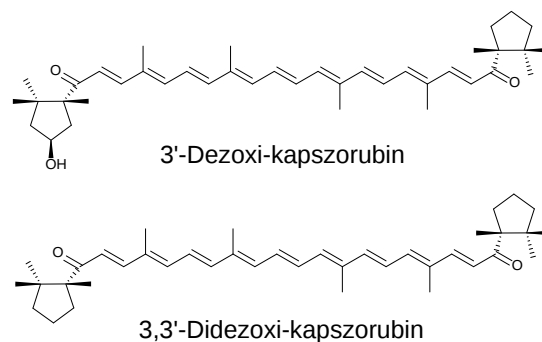
Kurtán Tibor csoportjával (Debreceni Egyetem) kooperálva, mindkét esetben királis fázison, HPLC-ECD technikát alkalmazva választottuk szét a diasztereomereket, és meghatároztuk a konfigurációjukat [328,355],



21. ábra. Kriptokapszin-5,6-epoxid epimerok szétválasztása és CD görbéjük

Hasonló módon mamey-ből izoláltuk, illetve előállítottuk a β -kriptoxantin-5,6-epoxidokat és HPLC-CD analízissel meghatároztuk szerkezetüket [342].

Ugyancsak izoláltuk a kapszorubin dezoxi-származékait is, a 3'-dezoxi-kapszorubint és a 3,3'-didezoxi-kapszorubint [326].

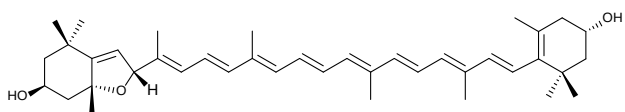


Mameyből allén-végcsoporthoz tartozó karotinoidokat, neoxantint és kapszoneoxantint is izoláltunk, és először adtuk meg teljes ^1H és ^{13}C -NMR asszignációjukat [346].

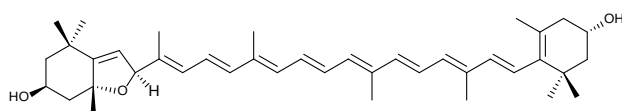
Ezekkel az eredményekkel gyakorlatilag az összes kapszantin, kriptokapszin és kapszorubin származékot és prekursoraikat izoláltuk, és elhelyeztük a bioszintézis sémában [344].

További növényi forrásokat vizsgálva, két olyan növényi forrást, a Jipi-japa (*Carludovica palmata*) termését és a Zamia pálma (*Zamia dressleri*) levelét találtunk, amelyekben a fő komponens a kapszorubin volt [357].

Bár már korábban is foglalkoztunk vele [248,264,266,310], az utóbbi években elkezdtük a gyógynövények karotinoid összetételének szisztematikus vizsgálatát. Mintegy 50 virág karotinoid analízisét végeztük el. Akadt közöttük mely csak a luteint és izomerjeit tartalmazta fő komponensként [367]. A teljes azonosításhoz előállítottuk és ^1H és ^{13}C NMR vizsgálatokkal igazoltuk a lutein fő mono-*cis* izomerjeinek (9, 9', 13, 13') szerkezetét. Más virágok, mint pl. az Erdélyben honos Teleki virág (*Teleki speciosa*) karotinoid 5,6-epoxidokban volt gazdag [370]. Budapesti kutatókkal együttműködve [360,369] újra vizsgáltuk a körömvirág (*Calendula officinalis*) karotinoid összetételét. Megállapítottuk, hogy az eddigi ismeretekkel ellentétben a fő komponens 5,8-epoxi-karotinoid konfigurációja nem 8R, hanem 8S, azaz a fő komponens a krizantemaxantin és nem a flavoxantin [369].



Krizantemaxantin (3S,5R,8S)



Flavoxantin (3S,5R,8R)

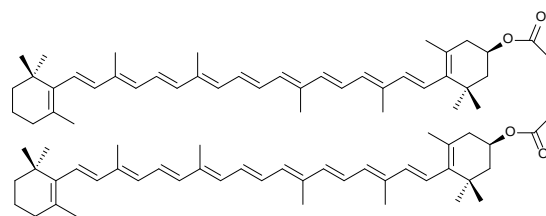
A másik fő 5,8-epoxi komponensnek a luteoxantinnak és 9-*cis* izomerjének a konfigurációja pedig 8R. Az, hogy csak az egyik 5,8-epoxi-vegyület fordul elő, arra utal, hogy ebben a virágban ezeknek a vegyületeknek a képződése enzimatisz uton játszódik le, míg sav hatására történő un. furanoid átrendeződés során mindig mind a két epimer képződik. Az egyértelmű azonosításhoz előállítottuk a szemisztetikus krizantemaxantint és flavoxantint, valamint a luteoxantin epimereket is [369]. A HPLC-DAD-MS mérések a PTE ÁOK Bioanalitikai Intézetével közösen készültek.

A kutatócsoport harmadik kutatási területe a származékképzés és a szintézis, melyet kicsit nagyképpen derivatív karotinoidkémiaának is nevezhetünk. E területet elsősorban Agócs Attila és Nagy Veronika műveli. A karotinoidok lényegében hidrofób antioxidánsok. A hidrofóbítás ebben az összefüggésben meglehetősen hátrányos, mivel a karotinoidok felhasználása a gyógyászatban antioxidánsként vagy az élelmiszerkémiaában színezékként némi vízben való diszpergálhatóságot igényel a hatékony felszívódáshoz. Ez a felismerés arra készítetett minket, hogy fokozott vízdoldékonyságú karotinoid-származékokat készítsünk. A hidrofób karotinoidok előállításával kapcsolatos intenzív kutatások a világban kevesebb, mint 25, csoportunkban közel 20 éve kezdődtek.

Első kísérleteink a Cyclolab, az MTA KKKI és az ELTE kutatóival közösen elnyert pályázat keretén belül karotinoid-ciklodextrin származékok előállítására történtek.

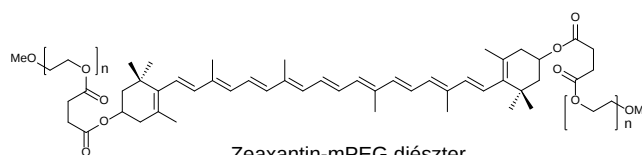
Kutatásaink szerint a karotinoidok gyűrűs végcsoportja nem fér be a CD-ek apoláris üregébe, de 3-4 CD molekula körbeveszi a végcsoportot és oda másodlagos kölcsönhatásokkal kötődik. Számos CD-karotinoid kombinációt kipróbálva a legjobb vízdoldhatóságot és stabilitást a véletlenszerű eloszlásban metilezett β -CD (RAMEB) komplexekkel lehet elérni kapszantin, kapszorubin vagy lutein felhasználásával. A CD-komplexek vizes oldatait hosszú időn át stabilak maradnak, tehát nincs aggregáció, és a komplexképzés nem pH-függő. A RAMEB-lutein komplexszel végzett élettani vizsgálatok szerint a komplex elősegíti a lutein beépülését az idegsejtekbe³²⁰. Ezeknek a nanokapszulázott karotinoidoknak az a legnagyobb hátránya, hogy csak magas (95%) CD koncentráció mellett tarthatók komplexben és tehetők vízdoldhatóvá a karotinoidok [325,329].

A következőkben a karotinoidokhoz kovalens kötéssel borostyánkőssavat kapcsoltunk, karotinoid dimereket létrehozva [295,353].



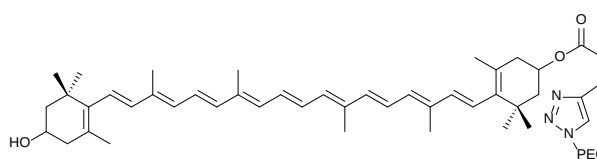
β -Kriptoxantin dimer

A vízdoldhatóság növelésére karotinoid-szukcinátokból PEG észtereket és diésztereket állítottunk elő különböző hosszúságú polietilén-glikolokkal [tetraetilén-glikol (TEG), oktaetilénglikol (OEG), PEG-550 monometil-éter (mPEG-550)].



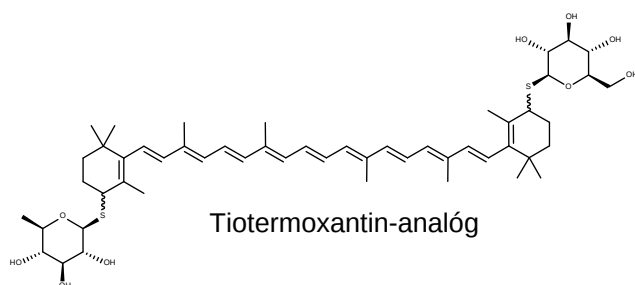
Zeaxantin-mPEG diészter

Ha a reakciókban a karotinoid-szukcinátot alkalmaztuk feleslegben, akkor dimerekhez jutottunk, ahol a két karotin rész között egy PEG összekötő elem található [315]. Hasonló módon, több lépésben olyan dendritikus jellegű karotinoid trimereket állítottunk elő, melyek TEG vagy OEG elemeken keresztül kapcsolódnak a központi egységhez [309]. Ezután új módszert dolgoztunk ki PEG-karotinoid konjugátumok kialakítására: elsőként alkalmaztuk az azid-alkin click-reakciót a karotinoidkémiaában. A reakció körülmények optimalizálása után sikeresen kapcsoltunk PEG-azidokat karotinoid-pentinoátokhoz [322].

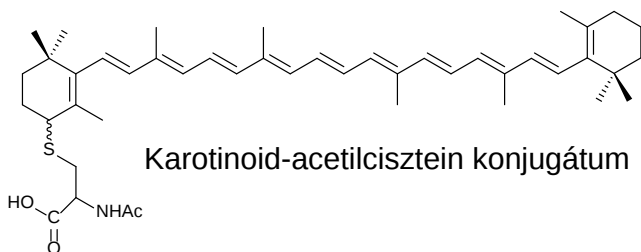


Zeaxantin PEG-triazol-észter

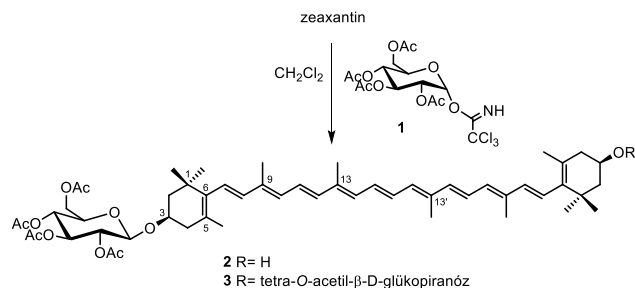
β -Karotinból és izo-zeaxantinból generált dikationt a megfelelő cukor nukleofillel reagáltatva mono- és ditio-glikozidokhoz jutottunk [307]. A védőcsoportok eltávolítása után hidrofíl termoxantin-mimetikumot kaptunk.



Hasonló módon kéntartalmú aminosavak is kapcsolhatók karotinoidokhoz jó kitermeléssel. *N*-acetyl-ciszteint használva nukleofilként olyan karotinoid-cisztein konjugátumot állítottunk elő, ahol az aminosav a kénatomon keresztül kapcsolódik a karotinoidhoz [324].

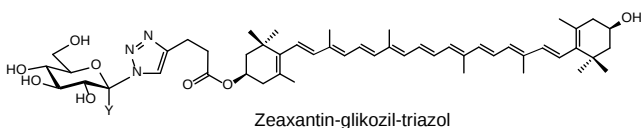


Karotinoid-alkoholok közvetlen glikozilezését is sikeresen elvégeztük acetimidát-módszert alkalmazva [336].

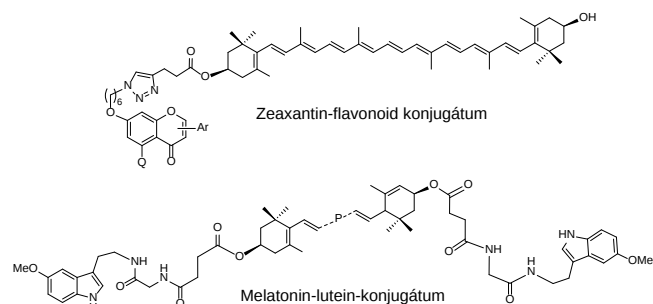


22. ábra. A zeaxantin mono- és bisz-glükozidjainak előállítása

A későbbiekben az azid-alkin click reakció felhasználásával jutottunk el karotinoidok szénhidrátszármazékaihoz [345].



A hidrofíl származékok szintéziséén kívül, illetve azokkal részben átfedésben megvalósítottuk karotinoid-konjugátumok szintézisét különböző bioaktív vegyületekkel, így például flavonoidokkal [354] és melatoninnal [364].



Vizsgáltuk a szintetizált vegyületek antioxidáns hatását *in vitro* ABTS és FRAP módszerekkel, valamint gyulladás- és ROS-csökkentő hatását sejten szinten [364,365]. A karotinoidok - és különösen amfipatikus származékaik - hajlamosak lehetnek aggregációra/szupramolekuláris szerveződésre vizes közegben. Az aggregátumok kialakulása hatással lehet a biológiai aktivitásra (pl. antioxidáns hatás), ezért az önszerveződést is vizsgáltuk természetes karotinoidoknál és származékaiknál is [364,365].

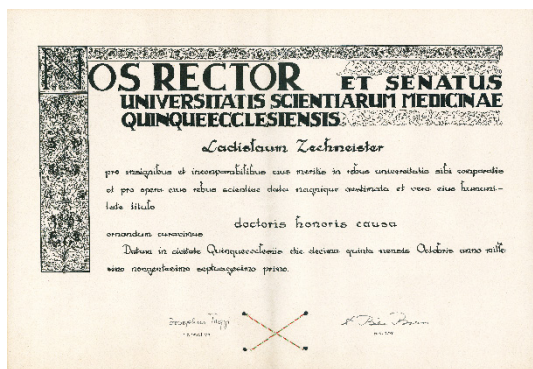
A természetes apo-karotinoidok és szintetikus glikopeptid származékaik SARS-CoV-2 replikációt gátló kutatásokba is bekapcsolódtunk [361].

7. Díjak, elismerések, konferenciák, pályázatok

A mindig csak kis létszámú (4-5 fős) csoport tagjai közül két akadémikus (*Zechmeister László* (1930), *Cholnoky László* (1960)), egy kémiai tudományok doktora (*Szabolcs József* (1976)) és két MTA doktor (*Deli József* (2003), *Molnár Péter* (2006)) került ki.

A karotinoidkémia területén bölcsészdoktori címet Emandity Katalin (1944), Garadnai Béla (1944), Szabó Dezső (1944), egyetemi doktori címet Pánczél Márta (1950), Tímár Mátyás (1953), Farkas Margit (1964), Baranyai Márta (1975), Molnár Péter (1975) szerzett. Kandidátusi fokozatot Szabolcs József (1964) Tóth Gyula (1980), Molnár Péter (1988) nyert el. PhD fokozatot Matus Zoltán (2004), Háda Magdolna (2013), Tureci Erika (2016) kapott. A PhD képzésben nyújtott szerény teljesítményt a csoport sajátos helyzete magyarázza: orvostanhallgató ritkán jelentkezik kémiai képzésre.

Zechmeister László 1934-ben elnyerte a francia Societe de Chimie Biologique Luis Pasteur érmét, 1937-ben a Magyar Tudományos Akadémia Nagydíját. 1937-ben a Royal Danish Academy of Sciences tagjai közé választották. Bár 1948-ban a Magyar Tudományos Akadémia kizárta sorából Zechmeister Lászlót, és csak 1989-ben rehabilitálták, a Pécsi Orvostudományi Egyetem 1971-ben díszdoktorává avatta. Betegsége miatt azonban már nem tudta vállalni a hosszú utat, így nem tudta személyesen átvenni az oklevelet, amelyet Pécsen őriznek (23. ábra).



23. ábra. Zechmeister László díszdoktori oklevele

Cholnoky László 1959-ben Kossuth Díjat kapott. 1961-1965 között a POTE rektora volt. 1966-ban a Munka Érdemrend Arany Fokozata kitüntetésben részesítették.

Agócs Attila Zemplén Géza díjat (2012), Nagy Veronika Bruckner Győző ifjúsági (2012) és Zemplén Géza díjat (2020), Deli József Zemplén Géza fődíjat (2015) nyert el.

2017-ben Molnár Péter és Deli József is megkapta az első ízben kiosztott Fellows of the International Carotenoid Society címet. 2023-ban Nagy Veronika is megkapta ezt a címet.

A csoport tagjai folyamatosan részt vesznek és előadást tartanak az 1966-ban indult és három évente a világ különböző tájain tartott *International Symposium on Carotenoids* rendezvényen, mely a karotin kémikusok legrangosabb találkozója. Szabolcs József Bernben (1975) és Bostonban (1987), Deli József Salt Lake City-ben (2014) plenáris előadást, Molnár Péter Okinawán (2008), Deli József Krakkóban (2011) szekció plenáris előadást tartott. 1993-tól kezdve folyamatosan, minden szimpóziumon több poszter bemutatással vagy/és előadással szerepeltünk. 2006-tól ugyancsak folyamatosan résztvettünk az International Congress on Pigments in Food konferencia sorozaton, 2010-ben, a Budapesten tartott konferencia szervezésében is aktív szerepet töltöttünk be.

Aktivitásunknak köszönhetően meghívást kaptunk Klaus Albert professzortól (Tübingen) egy NATO projektben való részvételre (2002-2004), illetve Prof. Antonio Meléndez-Martínezről (Sevilla) a European network to advance carotenoid research and applications in agro-food and health (EUROCAROTEN COST CA15136) programban való részvételre.

A csoport hazai elismertségét mutatja, hogy az OTKA 1986-os indulásától kezdve gyakorlatilag szinte mindig kapott támogatást, ezenkívül sikeresen szerepelt ETT, NKFP, TÉT pályázatokon is. Ennek eredményeként az utóbbi 40 évben több mint 250 millió forint kutatási támogatást sikerült ilyen módon elnyerni: OTKA 3.290 (1986-1990 Szabolcs József) 0,5 Mft; OTKA T 6034 (1993-1996 Tóth Gyula) 1,5 Mft; OTKA T 023096 (1997-1999 Tóth Gyula) 2,7 Mft; OTKA

T 030271 (1999-2001 Deli József) 3,4 Mft; ETT 333/2000 (2000-2002 Deli József) 1,5 Mft; FKFP 0168/2001 (2001-2003 Ősz Erzsébet) 4,6 Mft; OTKA T 037654 (2002-2005 Deli József) 9,0 Mft; OTKA T 03744 (2002-2005 Molnár Péter) 4,5 Mft; ETT 297/2003 (2003-2005 Deli József) 1,8 Mft; NKFP1-00012/2005 (2005-2008 Sente Lajos, alprogramvezető Deli József) 45,0 Mft; OTKA T 60121 (2006-2009 Deli József) 18,0 Mft; OTKA K 76176 (2008-2011 Molnár Péter) 14,4 Mft; OTKA PD 77467 (2009-2012 Agócs Attila) 7,847 Mft; OTKA K 83898 (2011-2014 Deli József) 23,976 Mft; NKFI K 115931 (2015-2019 Deli József) 26,444 Mft; NKFI K 128253, (2018-2024 Deli József) 46,296 Mft; NKFI K 131493, (2020-2025 Agócs Attila) 35,736 Mft; NKFI TÉT-2021-00028 (2022-2025 Agócs Attila) 5,0 Mft.

Feladatunknak tekintjük elhunyt nagyjaink emlékének ápolását. Cholnoky László halálának 10. évfordulóján emlékülést szervezett a POTE, az MKE Pécsi Csoportja és az MTA PAB. 1989-ben, Zechmeister László születésének 100. évfordulóján a Kémiai Intézet II. emeleti folyosóján emléktáblát avattunk.



24. ábra. Zechmeister László emléktábla avatása 1989-ben



1999-ben Cholnoky László születésének 100. évfordulóján az emlékülést követően avatták fel emléktábláját a POTE aulájában.



25. ábra. Cholnoky László emléktábla avatása 1999-ben

2009-ben Zechmeister születésének 120. és Cholnoky László születésének 110. évfordulója alkalmából tartottunk emlékülést az MTA Szerves és Biomolekuláris Bizottságával közösen.

2014-ben A PTE ÁOK Gyógyszerész Szakon (ma PTE GYTK) a megalakuló szakkollégium Cholnoky László nevét vette fel.

2022-ben Zechmeister László halálának 50. évfordulóján is emlékülést tartottunk, melyet az MTA Kémiai Tudományok Osztályán tartott emlékbeszéd követett.

2022-ben a Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Biológiai Munkabizottsága Zechmeister Lászlóról elnevezett előadói díjat alapított PhD hallgatók számára.

Természetesen számtalan megemlékező cikk is született a két elhunyt akadémikusról és a kutatócsoportról [127,128, 147,154,185,190,191,196,255,298,299,327,330,338,340,362, 363].

8. Összefoglalás

A karotinoidokkal kapcsolatos kutatások az elmúlt 30 évben világszerte drasztikusan átalakultak. A kezdetektől az 1990-es évekig elsősorban a karotinoidok szerkezetével, szerkezetigazoló szintézisével kapcsolatos kutatások folytak. Ezt követték a karotinoidok bioszintézisét feltáró, elsősorban molekuláris biológiai jellegű kutatások, a 2000-es évek elejétől pedig a karotinoidok élettani hatásainak vizsgálata került előtérbe. E vizsgálatok eredményezték a karotinoidok másodlagos kölcsönhatásainak fiziko-kémiai kutatásainak fellendülését is.

Miközben az Európában működő híres karotinoidkémiai műhelyek (Heidelberg, Zürich, London, Bern, Liverpool, Trondheim) vezetőik nyugdíjba vonulása után megszűntek, a pécsi csoport egyedülálló módon 100 éve folyamatosan működik, köszönhetően az egymást váltó nemzedékek által felhalmozott és átadott tudásnak, a klasszikus és a modern kutatási módszerek ötvözésének. A kutatócsoport mindig kis költségvetéssel, a nyugati csoportokhoz képest szerény felszereltséggel, alacsony támogatással működött. Már Szentgyörgyi Albert is megírta 1937-ben, hogy, ha Zechmeister nem ilyen sanyarú körülmények között dolgozna, most ketten utazhatnának Stockholmba [362]. Talán ennek a kényszernek is köszönhető, hogy mindig megtaláltuk a módszert a túlélésre, a megújulásra. A csoport olyan, a karotinoidkutatáshoz szükséges technikai tudással (izolálás, elválasztás, kristályosítás, ampullázás) rendelkezik, melyeket alig, vagy csak nagyon kevés helyen ismernek és alkalmaznak a világon. Ennek köszönhetően - bár a kutatócsoport 100 éves működése során többször került hullámvölgybe - mindig sikerült megújulnia és vissza-kapaszkodnia mind a hazai, mind a nemzetközi tudományos életbe.

A karotinoidkémiai kutatócsoport közleményei

1. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: A paprika carotinjáról. *Magy. Chem. Foly.* **1926**, 32, 97-102.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1926_032/?pg=126&layout=s
2. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Vizsgálatok a paprika festékéről. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1927**, 44, 404-419.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTtudErtesito_44/?pg=411&layout=s
3. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff I. *Liebigs Ann. Chem.* **1927**, 454, 54-71.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19274540106>
4. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff II. *Liebigs Ann. Chem.* **1927**, 455, 70-81.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19274550105>
5. Issekutz, B., Zechmeister, L.: Notiz über die physiologische Indifferenz des Capsanthins. *Biochem. Z.* **1927**, 185, 1-2.
6. Zechmeister L., Cholnoky, L., Vrabély, V.: Über die katalytische Hydrierung von Carotin. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1928**, 61, 566-568.
<https://doi.org/10.1002/cber.19280610319>
7. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den paprika-Farbstoff III. Katalytische Hydrierung). *Liebigs Ann. Chem.* **1928**, 465, 288-299.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19284650116>
8. Zechmeister, L., Cholnoky, L., Vrabély, V., Tuzson, P.: Növényi festékek vizsgálata a katalitikus hidrállás módszerével. *Magy. Chem. Foly.* **1928**, 34, 185-193.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1928_034/?pg=236&layout=s
9. Zechmeister, L., Cholnoky, L., Vrabély, V.: Újabb vizsgálatok a paprika festékéről. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1928**, 45, 639-651.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTtudErtesito_45/?pg=652&layout=s
10. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Beitrag zum Konstitutions-Problem des Carotins. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1928**, 61, 1534-1539.
<https://doi.org/10.1002/cber.19280610717>
11. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Zur Kenntnis des Xanthophylls, I.: Katalytische Hydrierung. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1928**, 61, 2003-2009.
<https://doi.org/10.1002/cber.19280610871>
12. Vrabély, V.: A katalitikus hidrállás módszeréről. *Magy. Chem. Foly.* **1929**, 35, 28-32.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1929_035/?pg=37&layout=s
13. Vrabély, V.: A katalitikus hidrállás módszeréről. *Magy. Chem. Foly.* **1929**, 35, 38-43.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1929_035/?pg=51&layout=s
14. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Zur Kenntnis des Xanthophylls (II. Mitteil.). *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1929**, 62, 2226-2232.
<https://doi.org/10.1002/cber.19290620858>
15. Zechmeister, L., Vrabély, V.: Zur Deutung der colorimetrischen Hydrierungskurve von Carotinoiden. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1929**, 62, 2232-2235.
<https://doi.org/10.1002/cber.19290620859>
16. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Über den Farbstoff der Bocksdorn-Beere und über das Vorkommen von chemisch gebundenen Carotinoiden in der natur. *Liebigs Ann. Chem.* **1930**, 481, 42-56.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19304810104>
17. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Über das Pigment der reifen Beeren des *Tamus communis*. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1930**, 63, 422-427.
<https://doi.org/10.1002/cber.19300630227>

18. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Lycopin aus *Solanum dulcamara*. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1930**, 63, 787-790. <https://doi.org/10.1002/cber.19300630407>
19. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Néhány őszi bogvő vörös festékének kémiai vizsgálata. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1930**, 47, 209-218. https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTudErtesito_47/?pg=218&layout=s
20. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Der Farbstoff der Wasser-Melone. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1930**, 63, 2881-2883. <https://doi.org/10.1002/cber.19300631032>
21. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über den Farbstoff der Sonnenblume (ein Beitrag zur Kenntnis der Blüten-Xanthophylle). *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1930**, 63, 3203-3207. <https://doi.org/10.1002/cber.19300631136>
22. Zechmeister, L., Tuzson, P.: A görögdió festéke. *Magy. Chem. Foly.* **1930**, 36, 180-184. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1930_036/?pg=225&layout=s
23. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff IV. Einige Umwandlungen des Capsanthins. *Liebigs Ann. Chem.* **1930**, 478, 95-111. <https://doi.org/10.1002/jlac.19304780106>
24. Zechmeister, L., Szilárd, K.: Über ein Carotinoid aus den Samenhüllen des Spindelbaumes (*Euonymus europaeus*). *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1930**, 190, 67-71. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1930.190.1-2.67>
25. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über eine sterinartige Verbindung aus den Kelchblättern der Sonnenblume. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1930**, 192, 22-24. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1930.192.1-3.22>
26. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Über den Zustand der sauerstoffhaltigen Carotinoide in der Pflanze. *Vorl. Mitt. Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1930**, 189, 159-161. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1930.189.3-4.159>
27. Cholnoky, L.: Analytikai és praeparatív vizsgálatok a capsanthinról. *Magy. Chem. Foly.* **1930**, 36, 11-17. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1930_036/?pg=16&layout=s
28. Cholnoky, L.: Analytikai és praeparatív vizsgálatok a capsanthinról. 2. Capsanthin-dijodid. *Magy. Chem. Foly.* **1930**, 36, 2-25. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1930_036/?pg=26&layout=s
29. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff V. Natürliche und synthetische Ester des Capsanthins. *Liebigs Ann. Chem.* **1931**, 487, 197-213. <https://doi.org/10.1002/jlac.19314870114>
30. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff VI. Das Pigment des japanischen Paprikas. *Liebigs Ann. Chem.* **1931**, 489, 1-6. <https://doi.org/10.1002/jlac.19314890102>
31. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über das Pigment der Orangenschale. *Naturwiss.* **1931**, 19, 307. <https://doi.org/10.1007/BF01520419>
32. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über ein Carotinoid aus den Samenhüllen des Spindelbaumes (*Euonymus europaeus*) II. *Mitt. Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1931**, 196, 199-200. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1931.196.3-4.199>
33. Cholnoky, L.: A lycopinről. *Magyar Gyógyszerész-tudományi Társaság Értesítője* **1931**, 2, 1-13.
34. Zechmeister, L.: Die Forschungen Richard Willstatters auf dem Gebiete der Carotinoide. *Naturwiss.* **1932**, 20, 608-612. <https://doi.org/10.1007/BF01504959>
35. Zechmeister, L.: Carotinoide höherer Pflanzen (Polyen-Farbstoffe). In: G. Klein, *Handbuch der Pflanzenanalyse*, Bd. III, SS. 1239-1350. Wien: Julius Springer, 1932.
36. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Über den Farbstoff der Ringelblume (*Calendula officinalis*). Ein Beitrag zur Kenntnis des Blüten-Lycopins. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1932**, 208, 26-32. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1932.208.1-3.26>
37. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: A *Calendula officinalis* szíromfestéke. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1933**, 49, 181-189. https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTudErtesito_49/?pg=190&layout=s
38. Cholnoky, L.: A japán paprika pigmentje. *Magy. Chem. Foly.* **1932**, 38, 74-79. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1932_038/?pg=87&layout=s
39. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Festékviaszok előfordulása és vizsgálata. *Magy. Chem. Foly.* **1932**, 38, 85-95. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1932_038/?pg=102&layout=s
40. Zechmeister, L., Cholnoky, L., Vrabély, V.: Zur Bestimmung der Doppelbindungen im Carotin-Molekül. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1933**, 66, 123-124. <https://doi.org/10.1002/cber.19330660209>
41. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Zur Kenntnis des Mandarinenpigments. I. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1933**, 221, 278-280. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1933.221.5-6.278>
42. Cholnoky, L.: A *Capsicum annum* festékeinek vizsgálata adsorptió módszerekkel. *Magyar Gyógyszerész-tudományi Társaság Értesítője* **1933**, 5, 1-25.
43. Cholnoky, L.: A paprika festékeinek koloriméteres meghatározása. *Magy. Chem. Foly.* **1933**, 39, 82-86. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1933_039/?pg=91&layout=s
44. Cholnoky, L.: Frakcionált adsorptio alkalmazása természetes szerves vegyületek elkülönítésénél. *Magy. Chem. Foly.* **1933**, 39, 138-144. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1933_039/?pg=151&layout=s
45. Zechmeister, L.: Carotinoide. In: *Ein biochemischer Bericht über pflanzliche und tierische Polyen-farbstoffe*. XII, 338 SS., mit 85 Abb. Berlin: Julius Springer. 1934. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-90652-7>
46. Zechmeister, L.: Les caroténoïdes, leurs rapports avec d'autres composés naturels et leur importance biologique. *Bull. Soc. chim. biol. (Paris)* **1934**, 16, 993-1008.
47. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff VII. (Adsorptionsanalyse des Pigments). *Liebigs Ann. Chem.* **1934**, 509, 269-287. <https://doi.org/10.1002/jlac.19345090120>
48. Cholnoky, L.: Kryptoxanthin előállítás paprikából. *Magy. Chem. Foly.* **1934**, 40, 85-89. https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1934_040/?pg=94&layout=s
49. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Zur Kenntnis der tierischen Fettfarbstoffe. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1934**, 67, 154-155. <https://doi.org/10.1002/cber.19340670203>
50. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über den Farbstoff der Sonnenblume (II. Mitt.). *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1934**, 67, 170-173. <https://doi.org/10.1002/cber.19340670207>
51. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Das Pigment der *Cucurbita maxima* Duch. (Riesenkürbis). *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1934**, 67, 824-828. <https://doi.org/10.1002/cber.19340670526>
52. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Isolierung des Lipochroms aus Hühner- und Pferdefett. Einige Beobachtungen an menschlichem Fett. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1934**, 225, 189-195. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1934.225.4.189>

53. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Beitrag zum Lipochrom-Stoffwechsel des Pferdes. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **226**, 255-257 (1934)
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1934.226.4-6.255>
54. Zechmeister, L., Tuzson, P.: A mandarin festékéről. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1934**, 51, 266-270.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTtudErtesito_51/?pg=275&layout=s
55. Zechmeister, L., Tuzson, P.: A napraforgó-virág festékéről. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1935**, 52, 80-85.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTtudErtesito_52/?pg=85&layout=s&pg=85
56. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff VIII. Zur Konstitution des Capsanthins und Capsorubins. *Liebigs Ann. Chem.* **1935**, 516, 30-45.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19355160103>
57. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Über einen neuen Farbstoff mit Lycopin-Spektrum. *Naturwiss.* **1935**, 23, 407.
<https://doi.org/10.1007/BF01495079>
58. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Zur Kenntnis des Lipochroms höherer Tiere und des Menschen. *Naturwiss.* **1935**, 23, 680-685.
<https://doi.org/10.1007/BF01489114>
59. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Isolierung von Komponenten des menschlichen lipochroms. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1935**, 231, 259-264.
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1935.231.6.259>
60. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Zur Kenntnis der selektiven Aufnahme von Carotinoiden im Tierkörper. (Zugleich II. Mitt. über den Lipochromstoffwechsel des Pferdes.). *Z. physiol. Chem. (Hoppe Seyler)* **1935**, 234, 235-240.
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1935.234.6.235>
61. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über den Lipochromgehalt der menschlichen Leber. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1935**, 234, 241-244.
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1935.234.6.241>
62. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Újabb vizsgálatok a lipochromról. *Orvosi Hetilap* **1935**, 79, 115-116.
<https://doi.org/10.1556/650.1935.02.02>
63. Zechmeister, L., Tuzson, P., Ernst, E.: Selective accumulation of lypochrome. *Nature* **1935**, 135, 1039.
<https://doi.org/10.1007/BF01489114>
64. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Contribution biochimique à l'étude des pigments de la graisse humaine. *Bull. Soc. chim. biol. (Paris)* **1935**, 17, 1110-1118.
65. Zechmeister, L., Béres, T., Újhelyi, E.: Zur Pigmentierung der reifenden Kürbis-Blüte (*Cucurbita Pepo*). *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1935**, 68, 1321-1323.
<https://doi.org/10.1002/cber.19350680718>
66. Cholnoky, L.: Egy új, lycopin-spektrumú polyen-festék. *Magy. Chem. Foly.* **1935**, 41, 117-119.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1935_041/?pg=126&layout=s
67. Tuzson, P.: Növényi festékek kristályai a mikroszkóp alatt *Búvár* **1935**, I. 400-403.
https://adt.arcanum.com/hu/view/BME_Buvar_1935/?pg=447&layout=s
68. Cholnoky, L.: Ernst Abbé és a Zeiss- művek. *Búvár* **1935**, I. 476-480.
https://adt.arcanum.com/hu/view/BME_Buvar_1935/?pg=535&layout=s
69. Zechmeister, L.: Lipochrom und Vitamin A. In: Schönfeld, H. und Heftler, G., *Chemie und Technologie der Fette und Fettprodukte*, Bd.I, SS. 149-193, Wien: Julius Springer. 1936.
70. Zechmeister, L.: Die Carotinoide und ihre physiologische Bedeutung. *Chem.-Ztg.* **1936**, 60, 505-508.
71. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff IX. Partieller Abbau des Capsanthins. *Liebigs Ann. Chem.* **1936**, 523, 101-118.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19365230106>
72. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Lycoxanthin und Lycophyll, zwei natürliche derivate des Lycopins. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1936**, 69, 422-429.
<https://doi.org/10.1002/cber.19360690238>
73. Zechmeister, L., Béres, T., Újhelyi, E.: Zur Pigmentierung der reifenden Kürbis-Blüte (II. Mitt.). *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1936**, 69, 573-574.
<https://doi.org/10.1002/cber.19360690319>
74. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Dreissig Jahre Chromatographie. *Monatsh. Chem.* **1936**, 68, 68-80.
<https://doi.org/10.1007/BF01518848>
75. Zechmeister, L., Cholnoky, L., Újhelyi, E.: Contribution a la chromatographie des substances incolores. *Bull. Soc. Chim. Biol. (Paris)* **1936**, 18, 1885-1887.
76. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Apparat zur katalytischen Hydrierung im Halbmikromassstab. *Chem. Ztg.* **1936**, 60, 655-656.
77. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über das Polyen-Pigment der Orange, I. Mitt. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1936**, 69, 1878-1884.
<https://doi.org/10.1002/cber.19360690816>
78. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über das Lipochrom des Wasserfrosches (*Rana esculenta*). *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1936**, 238, 197-203.
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1936.238.4-5.197>
79. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über einige farblose Begleiter von Pflanzencarotinoiden. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1936**, 238, 204-209.
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1936.238.4-5.204>
80. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Notiz über das Lipochrom der Schweineleber. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1936**, 239, 147-148.
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1936.239.3.147>
81. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Zur Kenntnis des Mandarinenpigments, II. *Z. physiol. Chem. (Hoppe-Seyler)* **1936**, 240, 191-194.
<https://doi.org/10.1515/bchm2.1936.240.3-4.191>
82. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Die Chromatographische Adsorptionsmethode XI. 231 SS., mit. 45 Abb. Wien, Julius Springer 1937.
83. Zechmeister, L.: Die Carotinoide im tierischen Stoffwechsel. *Ergebn. Physiol.* **1937**, 39, 117-191.
<https://doi.org/10.1007/BF02320757>
84. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff X. Citraurin aus Capsanthin. *Liebigs Ann. Chem.* **1937**, 530, 291-300.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19375300121>
85. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Über das Polyen-Pigment der Orange, II. Mitt.: Citraurin. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1937**, 70, 1966-1969.
<https://doi.org/10.1002/cber.19370700921>
86. Cholnoky, L.: Lycopin, lycoxanthin, lycophyll. *Magy. Chem. Foly.* **1937**, 43, 69-79.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarChemiaiFolyoirat_1937_043/?query=magyar+chemiai+foly%C3%B3irat&pg=78&layout=s
87. Cholnoky, L.: A paprika festékei és A-vitamin hatásuk. *Kisérl. Közl.* **1937**, 40, 1.
88. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Die Chromatographische Adsorptionsmethode. Grundlagen. Methodik. Anwendungen. 2. wesentlich erweiterte Aufl. XIII. 354 SS., mit. 74 Abb. Wien, Julius Springer 1938.
<https://doi.org/10.1007/978-3-7091-3212-8>
89. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Spontaneous Isomerization of Lycopene. *Nature (London)* **1938**, 141, 249-250.
<https://doi.org/10.1038/141249a0>

90. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Isomerization of Carotenoids. *Biochem. J.* **1938**, 32, 1305-1311.
<https://doi.org/10.1042/bj0321305>
91. Zechmeister, L., Tuzson, P.: Umkehrbare Isomerisierung von Carotinoiden durch Jod-Katalyse. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1939**, 72, 1340-1346.
<https://doi.org/10.1002/cber.19390720705>
92. Zechmeister, L., Cholnoky, L., Polgár, A.: Über die Isomerisierung des Zeaxanthins und Physaliens. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1939**, 72, 1678-1685.
<https://doi.org/10.1002/cber.19390720909>
93. Zechmeister, L., Cholnoky, L., Polgár, A.: Zur Isomerisierung von Xanthophyllen (Nachtrag). *Ber. dtsh. chem. Ges.* **1939**, 72, 2039-2040.
<https://doi.org/10.1002/cber.19390721127>
94. Cholnoky, L.: Über die quantitative Bestimmung der Paprikafarbstoffe. *Z. f. Unters. d. Lebensm.* **1939**, 78, 157-161.
<https://doi.org/10.1007/BF01671909>
95. Cholnoky, L.: Stufenphotometrische Bestimmung der Paprikafarbstoffe. *Z. f. Unters. d. Lebensm.* **1939**, 78, 401-403.
<https://doi.org/10.1007/BF01662972>
96. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Carotenoids of Hungarian Wheat Flour. *J. Biol. Chem.* **1940**, 135, 31-36.
[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)73153-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)73153-0)
97. Zechmeister, L., Cholnoky, L., Neumann, E.: Van-e a lisztnek provitamin A-tartalma? *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1940**, 59, 146-154.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTtudErtesito_59/?pg=155&layout=s
98. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Untersuchungen über den Paprika-Farbstoff XI. Isomersierungs-Erscheinungen. *Liebigs Ann. Chem.* **1940**, 543, 248-257.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19405430120>
99. Zechmeister, L.: A chromatographia néhány újabb alkalmazásáról. *MTA Matematikai és Természettudományi Értesítője* **1942**, 61, 36-41.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MatEsTtudErtesito_61/?pg=41&layout=s
100. Zechmeister, L., Cholnoky, L.: Principles and Practices of Chromatography. Translated from the 2nd German ed. by Barbarach, A.L. and Robinson, F.A. with a Foreword Heilbron. XVIII. 362 pp., with 71 figures. London Chapman and Hall; New York J. Wiley and Sons Inc. 1941; second imp. 378 pp. 1943.
101. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Nagy, E., Pánczél, M.: Karotinoidok képződése és egymásba való átalakulása paprikatermések érésénél. *Vegyipari Kutató Intézetek Közleményei* **1954**, 4, 255-264.
102. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Nagy, E., Pánczél, M.: Untersuchungen über Carotinoid-Farbstoffe. 1. Die Farbstoffe des roten tomatenförmigen Paprikas. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1955**, 6, 143-147.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_006/?pg=150&layout=s
103. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Nagy, E., Pánczél, M.: Vizsgálatok a karotinoid-festékekről. 1. A vörös paradicsom-paprika festékei. *Magyar Tud. Akad. Kém. Tud. Oszt. Közl.* **1955**, 5, 419-441.
https://adt.arcanum.com/hu/view/KEMKOZL_05/?pg=432&layout=s
104. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Nagy, E., Pánczél, M.: Function of carotenoids in chlorophyll-containing organs. *Nature* **1956**, 178, 410-411.
<https://doi.org/10.1038/178410a0>
105. Cholnoky, L., Szabó D., Szabolcs J.: Untersuchungen über die Carotinoid-Farbstoffe. 2. Die Struktur des Capsanthins und des Capsorubins. *Liebigs Ann. Chem.* **1957**, 606, 194-208.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19576060121>
106. Cholnoky, L., Szabó, D., Szabolcs, J.: Vizsgálatok a karotinoidfestékekről. 2. A kapszantin és kapszorubin szerkezete. *Magyar Tud. Akad. Kém. Tud. Oszt. Közl.* **1957**, 9, 179-194.
https://adt.arcanum.com/hu/view/KEMKOZL_09/?pg=188&layout=s
107. Cholnoky, L., Szabolcs, J.: Über die Struktur des Capsanthins und des Capsorubins. *Naturwiss.* **1957**, 44, 513.
<https://doi.org/10.1007/BF00638255>
108. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Nagy, E., Pánczél, M.: Untersuchungen über die Carotinoid-Farbstoffe. 3. Die Farbstoffe des gelben tomatenförmigen Paprikas (*Capsicum annum* varietas *lycopersiciforme flavum*). *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1958**, 16, 227-246.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_016/?pg=244&layout=s
109. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Nagy, E., Pánczél, M.: Vizsgálatok a karotinoidfestékekről. 3. A sárga paradicsompaprika (*Capsicum annum* varietas *lycopersiciforme flavum*) festékei. *Magyar Tud. Akad. Kém. Tud. Oszt. Közl.* **1958**, 10, 23-39.
https://adt.arcanum.com/hu/view/KEMKOZL_10/?pg=28&layout=s
110. Cholnoky, L., Szabolcs, J., Nagy, E.: Untersuchungen über die Carotinoid-Farbstoffe. 4. α -Cryptoxanthin. *Liebigs Ann. Chem.* **1958**, 616, 207-218.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19586160113>
111. Cholnoky, L., Szabolcs, J., Nagy, E.: Vizsgálatok a karotinoidfestékekről. 4. α -Kriptoxantin. *Magyar. Tud. Akad. Kém. Tud. Oszt. Közl.* **1959**, 11, 57-69.
https://adt.arcanum.com/hu/view/KEMKOZL_11/?pg=60&layout=s
112. Cholnoky, L., Szabolcs, J.: Untersuchungen über die Carotinoidfarbstoffe. 5. Über die Farbstoffe der Kelchblätter von *Physalis Alkekengi*. *Liebigs Ann. Chem.* **1959**, 626, 206-215.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19596260121>
113. Cholnoky, L., Szabolcs, J.: Vizsgálatok a karotinoid-festékekről. 5. A *Physalis Alkekengi* kehelyleveleinek festékei. *Magyar. Tud. Akad. Kém. Tud. Oszt. Közl.* **1959**, 11, 455-464.
https://adt.arcanum.com/hu/view/KEMKOZL_11/?pg=470&layout=s
114. Cholnoky, L., Szabolcs, J.: Die Schmelzpunkte des α - und β -Kryptoxanthinacetates. *Naturwiss.* **1959**, 46, 424-425.
<https://doi.org/10.1007/BF00599304>
115. Cholnoky, L., Szabolcs, J.: Über die Struktur des Paprikafarbstoffes. *Acta Chim Acad. Sci. Hung.* **1960**, 22, 117-119. https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_022/?pg=124&layout=s
116. Cholnoky, L., Szabolcs, J.: Bemerkungen zur Struktur des Capsorubins. *Experientia* **1960**, 16, 483.
<https://doi.org/10.1007/bf02158346>
117. Cholnoky, L., Szabolcs, J., Timár, M.: Untersuchungen über die Carotinoid-farbstoffe. 6. Identität des "Physoxanthins" mit Neo- β -kriptoxanthin A. *Liebigs Ann. Chem.* **1963**, 663, 202-210.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19636630130>
118. Cholnoky, L., Szabolcs, J., Cooper, R.D.G., Weedon, B.C.L.: The structure of cryptocapsin. *Tetrahedron Lett.* **1963**, 19, 1257-1259.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)90813-5](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)90813-5)

119. Szabó, D., Szabolcs, J.: A kapszantin és a kapszorubin lúgos hidrolízise hidroxil-amin jelenlétében. *Magy. Kém. Foly.* **1963**, 69, 465-467.
https://real-j.mtak.hu/8551/1/MTA_MagyarChemiaiFolyoirat_1963_069.pdf
120. Szabó, D., Szabolcs, J.: Alkalische Hydrolise des Capsanthins und des Capsorubins in Gegenwart von Hydroxylamin. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1963**, 38, 435-440. https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_038/?pg=458&layout=s
121. Szabolcs, J.: Beszámoló csehszlovákiai tanulmányutamról. *MTA Kémiai Osztály Közleményei* **1963**, 19, 389-390.
https://adt.arcanum.com/hu/view/KEMKOZL_19/?pg=402&layout=s
122. Farkas, M.: Vizsgálatok a karotinoidfestékekkel: zeinoxantin azonossága α -kriptoxantinnal. Xantofillek vízlehasítási kísérletei. *Veszprémi Vegyipari Egyetem Közleményei* **1964**, 8, 291-298.
123. Baldas, J., Porter, Q.N., Cholnoky, L., Szabolcs, J., Weedon, B.C.L.: Mass spectrometry of carotenoid epoxides and furanoid oxides. *Chem. Commun.* **1966**, 852-854.
<https://doi.org/10.1039/C19660000852>
124. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Szabolcs, J., Weedon B.C.L., Waight E.S.: Folixanthin. *Chem. Commun.* **1966**, 404.
<https://doi.org/10.1039/C19660000404>
125. Cholnoky, L., Szabolcs, J., Tóth, Gy.: Untersuchungen über Carotinoidfarbstoffe. 7. Reduction von Carotenoid-oxiden mit Lithiumalanat. *Liebigs Ann. Chem.* **1967**, 708, 218-223.
<https://doi.org/10.1002/jlac.19677080119>
126. Mallams, A.K., Waight, E.S., Weedon, B.C.L., Cholnoky, L., Györgyfy, K., Szabolcs, J., Krinsky, N.I., Schimmer, B.P., Chichester, C.O., Katayama, T., Lowry, L., Yokoyama, H.: The identity of neoxanthin and folixanthin. *Chem. Comm.* **1967**, 484-485.
<https://doi.org/10.1039/C19670000484>
127. Szabó, D.: Cholnoky László 1899-1967. *Magy. Tud.* **1967**, 12, 664-666.
https://adt.arcanum.com/hu/view/AkademiaiErtesito_MATUD_1967/?query=Magyar+Tudom%C3%A1ny&pg=761&layout=s
128. Szabolcs, J.: Cholnoky László 1899-1967. *Magy. Kém. Lapja* **1967**, 22, 442-443.
129. Cholnoky, L., Szabolcs, J., Waight, E.S.: The structure of lycocanthin and lycophyll. *Tetrahedron Lett.* **1968**, 16, 1931-1933.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)99058-6](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)99058-6)
130. Baldas, I., Porter, Q.N., Leftwick, A.P., Holzer, R., Weedon, B.C.L., Szabolcs, J.: Mass Spectrometry of carotenoid ketones. *Chem. Comm.* **1969**, 415-416.
<https://doi.org/10.1039/C29690000415>
131. Cholnoky, L., Györgyfy, K., Rónai, A., Szabolcs, J., Tóth, Gy., Galasko, G., Mallams, A.K., Waight, E.S., Weedon B.C.L.: Carotenoids and related Compounds. Part XXI. Structure of Neoxanthin (Folixanthin). *J. Chem. Soc. (C)* **1969** 1256-1263.
<https://doi.org/10.1039/J39690001256>
132. Bartlett, L., Klyne, W., Mose, W.P., Scopes, P.M., Galasko, G., Mallams, A.K., Weedon, B.C.L., Szabolcs, J., Tóth, Gy.: Optical Rotatory Dispersion of Carotenoids. *J. Chem. Soc. (C)* **1969**, 2527-2544.
<https://doi.org/10.1039/J39690002527>
133. Rétaljiné Györgyfy, K., Jakabfi, F-né: Adatok kétféle módon tartósított zöld lucerna karotinoid festékeinek összehasonlításáról. *Agrokémia és Talajtan* **1969**, 18, 117-132.
http://real.mtak.hu/96341/1/at_1969_18_1_117-132.pdf
134. Szabolcs, J., Rónai, Á.: Methanolysis of lutein ditrichloroacetate. Preparation of 3-hydroxy-3'-methoxy- α -carotene and 3-hydroxy-5'-methoxy-4',5'-dihydro-3',4'-dehydro- α -carotene. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1969**, 61, 301-308.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_061/?pg=330&layout=s
135. Szabolcs, J., Rónai, Á.: The structure α -cryptoxanthin and the identity of zeinoxanthin with α -cryptoxanthin. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1969**, 61, 309-313.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_061/?pg=340&layout=s
136. Rónai, Á., Szabolcs, J.: A karotinoid-tozilátok reakciója litium-alumínium-hidriddel. *Magy. Kém. Foly.* **1970**, 76, 443-448.
https://real-j.mtak.hu/8536/1/MTA_MagyarChemiaiFolyoirat_1970_076.pdf
137. Szabolcs, J., Rónai, A., Tóth, Gy.: The identification of petaloxanthin. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1970**, 66, 229-233.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_066/?pg=252&layout=s
138. Szabolcs, J., Tóth, Gy.: Violeoxanthin and tareoxanthin. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1970**, 63, 229-232.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_063/?pg=246&layout=s
139. Tóth, Gy., Szabolcs, J.: Distribution of carotenoids in flowers of *Helianthus annuus*, *Impatiens noli tangere*, *Ranunculus acer*, *Taraxacum officinale*, and in ripe hips of *Rosa canina* and *Rosa rubiginosa*. An attempt to isolate taraxanthin. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1970**, 64, 393-406.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_064/?pg=432&layout=s
140. Szabolcs, J., Tóth, Gy.: Conversion of retro-dehydro-carotene into isozeaxanthin epoxides with perphthalic acide. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1971**, 70, 373-378.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_070/?pg=404&layout=s
141. Baranyai, M., Szabolcs, J.: 3,4-dehydrolycopene-16-al. A minor carotenoid in the ripe berries of *Solanum dulcamara*. (preliminary communication). *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1972**, 71, 381-384.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_071/?pg=412&layout=s
142. Kerényi, L-né, Szabolcs, J.: Megjegyzés a karotinoid-epoxidok furanoid-átrendeződéséről. *Magy. Kém. Foly.* **1972**, 78, 122-124.
https://real-j.mtak.hu/8538/1/MTA_MagyarChemiaiFolyoirat_1972_078.pdf
143. Goodfellow, D., Moss, G.P., Szabolcs, J., Tóth, Gy., Weedon, B.C.L.: Configuration of carotenoid epoxides. *Tetrahedron Lett.* **1973**, 40, 3925-28.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)87074-X](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)87074-X)
144. Szabolcs, J., Timár, L.: Structure and preparation of triphasixanthin. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1973**, 78, 315-324.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_078/?pg=342&layout=s
145. Molnár, P., Szabolcs, J.: Oxidation of carotenoid epoxides and furanoids by alkaline potassium permanganate. (Preliminary communication). *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1973**, 79, 465-468.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_079/?pg=508&layout=s
146. Bernhard, K., Moss, G.P., Tóth, Gy., Weedon, B.C.L.: Stereoisomers of fucoxanthin. *Tetrahedron Lett.* **1974**, 44, 3899-3902.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)92040-4](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)92040-4)

147. Szabó, D.: Dr. Zechmeister László. *Pécsi Műsz. Szle.* **1974**, 19, 45.
148. Moss, G.P., Szabolcs, J., Tóth, Gy., Weedon, B.C.L.: The stereochemistry of the carotenoid violoxanthin. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1975**, 87, 301-309.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_087/?pg=334&layout=s
149. Baranyai, M., Szabolcs, J., Tóth, Gy., Radics, L.: Determination of the geometrical configuration of the polyen chain of mono-*cis* C40-carotenoids I. A ¹³C NMR study of mono-*cis* zeaxanthins and mono-*cis* capsorubins. *Tetrahedron* **1976**, 32, 867-870.
[https://doi.org/10.1016/0040-4020\(76\)80015-4](https://doi.org/10.1016/0040-4020(76)80015-4)
150. Baranyai, M., Szabolcs, J.: Determination, by reduction, of the red and total pigment content in paprika products. *Acta Alimentaria* **1976**, 5, 87-105.
https://adt.arcanum.com/hu/view/ACTAALIMENT_05/?pg=94&layout=s
151. Bernhard, K., Moss, G.P., Tóth, Gy., Weedon, B.C.L.: Absolute configuration of fucoxanthin. *Tetrahedron Lett.* **1976**, 2, 115-118.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)93035-1](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)93035-1)
152. Szabolcs, J.: Some studies on the stereochemistry of carotenoids. *Pure & Appl. Chem.* **1976**, 47, 147-159.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-020974-6.50008-5>
153. Baranyai, M., Kajtár, J., Bujtás Gy., Szabolcs J.: The configuration of capsanthin epoxides. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1977**, 94, 67-74,
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_094/?pg=74&layout=s
154. Szabó, D.: Cholnoky László. 1899-1967. *Pécsi Műsz. Szle.* **1977**, 22, 43.
155. Tóth, Gy., Kajtár, J., Molnár, P., Szabolcs, J.: The stereochemistry of natural 'cis-antheraxanthin'. (preliminary communication). *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1978**, 97, 359-361.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_097/?pg=396&layout=s
156. Molnár, P., Szabolcs, J.: Alkaline permanganate oxidation of carotenoid epoxides and furanoids. *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.* **1979**, 99, 155-173.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_099/?pg=176&layout=s
157. Szabolcs, J.: Újabb módszerek és eredmények a karotinoidok kutatásában. *Magy. Kém. Lapja* **1979**, 34, 336-348.
https://real-j.mtak.hu/9333/1/MTA_MagyarKemikusokLapja_1979.pdf
158. Molnár, P., Szabolcs, J.: Occurrence of 15-*cis*-violaxanthin in *Viola tricolor*. *Phytochem.* **1980**, 19, 623-627.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(80\)87027-0](https://doi.org/10.1016/0031-9422(80)87027-0)
159. Tóth, Gy., Szabolcs, J.: On the non-existence of eloxanthin. *Phytochemistry* **1980**, 19, 629-631.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(80\)87028-2](https://doi.org/10.1016/0031-9422(80)87028-2)
160. Molnár, P., Szabolcs, J.: β-Citraurin epoxyde, a new carotenoid from Valencia orange peel. *Phytochem.* **1980**, 19, 633-637.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(80\)87029-4](https://doi.org/10.1016/0031-9422(80)87029-4)
161. Baranyai, M., Molnár, P., Szabolcs, J., Radics, L., Kajtár-Pereidy, M.: Determination of the geometric configuration of the polyene chain of mono-*cis* C40 carotenoids. II. A ¹³C NMR study of mono-*cis* luteins and mono-*cis* capsanthins. *Tetrahedron* **1981**, 37, 203-207.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)97736-1](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)97736-1)
162. Matus, Z., Baranyai, M., Tóth, Gy., Szabolcs, J.: Identification of oxo, epoxy and some *cis*-carotenoids in high-performance liquid chromatography. *Chromatographia* **1981**, 14, 337-340.
<https://doi.org/10.1007/BF02259231>
163. Tóth, Gy., Szabolcs, J.: Occurrence of some mono-*cis*-isomers of asymmetric C₄₀-carotenoids. *Phytochem.* **1981**, 20, 2411-2415.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)82677-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)82677-1)
164. Baranyai, M., Matus, Z., Szabolcs, J.: Determination by HPLC, of carotenoids in paprika products. *Acta Alimentaria* **1982**, 11, 309-323.
https://adt.arcanum.com/hu/view/ACTAALIMENT_11/?pg=328&layout=s
165. Jávör, T., Bata, M., Lovász, L., Móron, F., Nagy, L., Patty, I., Szabolcs, J., Tárnok, F., Tóth, Gy., Mózsik, Gy.: Gastric cytoprotective effects of vitamin A and other carotenoides. *Int. J. Tiss. React.* **1983**, 5, 289-296.
<https://typeset.io/papers/gastric-cytoprotective-effects-of-vitamin-a-and-other-4wh23gcy2t>
166. Molnár, P., Radics, L., Szabolcs, J.: Preparation of mono-*cis* antheraxanthin and determination of their geometrical configuration by ¹³C NMR spectral analysis. *Acta Chim. Hung.* **1983**, 112, 477-485.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_112/?pg=506&layout=s
167. Patty, I., Bata M., Benedek, Sz., Deák, G., Jávör, T., Kenéz, P., Lovász, L., Móron, F., Mózsik, Gy., Nagy, L., Simon, L., Szabolcs, J., Tóth, Gy., Tárnok, F.: Evidence of the ulcer healing effect of vitamin A in patients with chronic gastric ulcer. *Zentralbl. Pharm. Pharmacother. Laboratoriumsdiagn.* **1983**, 122, 773-774.
168. Mózsik Gy., Bata M., Jávör T., Móron F., Szabolcs J., Tóth Gy.: Az A-vitamin és a karotinoidok citoprotektív hatásainak vizsgálata a 0,6 M-os sósav alkalmazásával kiváltott gyomornyálkahártya - károsodáson patkányban. *A táplálkozás helyzete és feladatai Magyarországon 1981* Szerk.: Mózsik Gy., Jávör T., Szakály S. Akadémiai Kiadó, Budapest 1983, pp. 781-791.
169. Radics, L., Molnár, P., Szabolcs, J.: ¹³C NMR evidence for the central mono-*cis* stereochemistry of a naturally occurring violaxanthin isomer. *Phytochemistry* **1983**, 22, 306.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)80116-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)80116-8)
170. Szabolcs, J.: Magyar kémiai elnevezés és helyesírás szabályai 2. A szerves vegyületek elnevezési szabályai. A karotinoidok elnevezésének szabályai. *Kém. Közl.* **1983**, 59, 271-300.
https://adt.arcanum.com/hu/view/KEMKOZL_59/?query=K%C3%A9miai+K%C3%B6zlem%C3%A9nyek&pg=272&layout=s
171. Baranyai, M., Radics, L., Kajtár, M., Kajtár, J., Bujtás, Gy., Szabolcs, J.: The structure of deoxyluteins. *Acta Chim. Hung.* **1984**, 116, 153-161.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_116/?pg=168&layout=s
172. Mózsik, Gy., Bata, M., Fiegler, M., Jávör, T., Nagy, L., Patty, I., Tóth, Gy., Tárnok, F.: Interrelationship between the membrane-bound ATP-dependent energy systems of the gastric mucosa and the gastric cytoprotective effects - carotene on the development of gastric, mucosal damage produced by 0,6 M HCl in rats. *Acta Physiol. Hung.* **1984**, 64, 301-307.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaPhysiologica_64/?pg=336&layout=s
173. Mózsik, Gy., Jávör, T., Tóth, Gy., Zsoldos, T., Tigyi, A.: Interrelationships between the gastric cytoprotective effects of vitamin A and β-carotene and the gastric mucosal superoxide dismutase activity in rats. *Acta Physiol. Hung.* **1984**, 64, 315-318.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaPhysiologica_64/?pg=350&layout=s

174. Tóth, Gy.: Determination of vitamin A, vitamin A precursors and cytoprotective carotenoids in animal and human blood. *Acta Physiol. Hung.* **1984**, 64, 319-324.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaPhysiologica_64/?pg=354&layout=s
175. Ohmacht R., Tóth Gy.: Determination of carotenoids and retinol in human serum. In: *Chromatography, the State of the Art*. H. Kalász and L.S. Ettre (Eds) Akadémiai Kiadó Budapest 1985, pp. 119-125.
<http://real-eod.mtak.hu/3772/1/000825209.pdf>
176. Molnár, P., Szabolcs, J., Radics, L.: Naturally occurring di-*cis*-violaxanthins from *Viola tricolor*: Isolation and identification by ¹H NMR spectroscopy of four di-*cis*-isomers. *Phytochem.* **1986**, 25, 195-199.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)94528-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)94528-X)
177. Ohmacht R., Tóth Gy., Voight G.: HPLC determination of carotenoids in human serum by gradient elution technique. *Chromatographia* **1986**, 22, 189-190.
<https://doi.org/10.1007/BF02257325>
178. Parkes, K.E.B., Pattenden, G., Baranyai, M., Molnár, P., Szabolcs, J., Tóth, Gy.: Novel carotenoid 3,6-epoxides from red paprika, *Capsicum annuum*. *Tetrahedron Lett.* **1986**, 27, 2535-38.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)84578-5](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)84578-5)
179. Molnár, P., Szabolcs, J., Radics, L.: Mono- és di-*cis*-violaxantinok izolálása, valamint konfigurációjuk meghatározása. *Magy. Kém. Foly.* **1987**, 93, 122-128.
180. Molnár, P., Szabolcs, J., Radics, L.: The constitution and absolute stereochemistry of persicaxanthin. *Phytochem.* **1987**, 26, 1493-1496.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)81842-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)81842-7)
181. Ohmacht, R., Tóth, Gy., Voight, G.: Separation of serum carotenoids and vitamin A on Chromsil-amino and -cyano phases by a bi-directional gradient elution technique. *J. Chrom. A* **1987**, 395, 609-612.
[https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)94148-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)94148-2)
182. Szabolcs, J.: A karotinoidkémia újabb eredményei I. *Magy. Kém. Lapja* **1987**, 42, 52-59.
https://real-j.mtak.hu/8479/1/MTA_MagyarKemikusokLapja_1987.pdf
183. Szabolcs, J.: A karotinoidkémia újabb eredményei II. *Magy. Kém. Lapja* **1987**, 42, 151-157.
https://real-j.mtak.hu/8479/1/MTA_MagyarKemikusokLapja_1987.pdf
184. Szabolcs, J.: Szín és elektronszerkezet kapcsolata a karotinoidkémiaiban. *A kémia tanítása* **1987**, 26, 34-44.
185. Szabolcs, J., Szegvári, Cs.: Zechmeister László élete és tudományos munkássága. *Középiskolai Kémiai Lapok* **1987**, 14, 30-39.
186. Deli, J., Molnár, P., Tóth, Gy., Szabolcs, J., Radics, L.: Determination of the geometrical configuration of naturally occurring mono-*cis*-lutein epoxides. *Phytochem.* **1988**, 27, 547-49.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(88\)83139-X](https://doi.org/10.1016/0031-9422(88)83139-X)
187. Mózsik Gy., Garamszegi M., Jávör T., Sütő G., Vincze Á., Tóth Gy., Zsoldos T.: Correlations between the oxygen free radicals, membrane-bound ATP-dependent energy systems in relation to development of ethanol- and HCl-induced gastric cytoprotection. In: *Free Radicals in Digestive Diseases*. Tsuchiya M. et al. (Eds). Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1988, pp. 111-116.
188. Garamszegi, M., Jávör, T., Sütő, G., Vincze, Á., Tóth, Gy., Mózsik Gy.: Effect of atropine, PGF₂ and cimetidine on the beta-carotene-induced cytoprotection in ethanol treated rats. *Acta Physiol. Hung.* **1989**, 73, 221-224.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaPhysiologica_73/?pg=242&layout=s
189. Mózsik, Gy., Garamszegi, M., Jávör, T., Nagy, L., Sütő, G., Tóth, Gy., Vincze, Á.: Cellular energy status of the gastric mucosa and gastric mucosal prevention by vitamin A in indomethacin-treated rats. *Int. J. Tiss. React.* **1989**, 11, 65-71.
<https://typeset.io/papers/cellular-energy-status-of-the-gastric-mucosa-and-gastric-44gs5rlakx>
190. Szabolcs, J.: A természetes anyagok kémiájának kutatója: Zechmeister László. *Természet Világa* **1989**, 120, 472-474.
https://adt.arcanum.com/hu/view/TermtudKozl_1989/?pg=509&layout=s
191. Szabolcs, J.: László Zechmeister (1889-1972). *Acta Chim. Hung.* **1989**, 126, 737-738.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaChimica_126/?pg=786&layout=s
192. Vincze, Á., Garamszegi, M., Jávör, T., Sütő, G., Tigyi, A., Tóth, Gy., Zsoldos, T., Mózsik, Gy.: The free radical mechanisms in β -carotene-induced gastric cytoprotection in HCl model. *Acta Physiol. Hung.* **1989**, 73, 351-355.
https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaPhysiologica_73/?pg=372&layout=s
193. Mózsik, Gy., Fiegler, M., Garamszegi, M., Jávör, T., Nagy, L., Sütő, G., Vincze, Á., Tóth, Gy., Zsoldos, T.: Mechanisms of gastric mucosal cytoprotection. I. Time-sequence analysis of gastric mucosal membrane-bound ATP-dependent energy systems, oxygen free radicals and macroscopically appearance of gastric cytoprotection by PGI₂ and beta-carotene in HCl-model of rats. In: *Medical, Biochemical and Chemical aspects of Free Radicals*. Hayaishi O., Niki E., Kondo M., Yosikawa T. (Eds) Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1989. pp. 1421-1425.
194. Matus, Z., Ohmacht, R.: Selectivity of some aromatic compounds and carotenoids on C18 packings made with different endcapping procedures. *Chromatographia* **1990**, 30, 318-322.
<https://doi.org/10.1007/BF02319715>
195. Szabolcs J.: Plant carotenoids. In: *Carotenoids: Chemistry and Biology* Ed. by N.I. Krinsky et al. Plenum Press, New York, 1990 (8th International Symposium on Carotenoids, Boston, Mass) pp. 39-58.
https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0849-2_3
196. Szabolcs, J.: "Életcélja a kutatás volt" Beszélgetés Tóth Gézával Zechmeister Lászlóról. *Magyar Tudomány* **1990**, 35, 1360-1365.
https://adt.arcanum.com/hu/view/AkademiaiErtesito_MATUD_1990/?pg=1469&layout=s
197. Deli, J., Molnár, P., Tóth, Gy., Baumeler, A., Eugster, C.H.: Cycloviolaxanthin (= (3S,5R,6R,3'S,5'R,6'R)-3,6,3',6'-di-epoxy-5,6,5',6'-tetrahydro- β , β -carotin-5,5'-diol) in neues Carotenoid aus Paprika (*Capsicum annuum*). *Helv. Chim. Acta* **1991**, 74, 819-824.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19910740416>
198. Matus, Z., Deli, J., Szabolcs, J.: Carotenoid composition of yellow pepper during ripening: Isolation of β -cryptoxanthin 5,6-epoxyde. *J. Agric. Food Chem.* **1991**, 39, 1907-1914.
<https://doi.org/10.1021/jf00011a003>
199. Vincze, Á., Garamszegi, M., Sütő, G., Tóth, Gy., Zsoldos T., Jávör T., Mózsik, Gy.: The role of oxygen free radicals in β -carotene and prostacyclin-induced gastric cyto-protection in rats. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.* **1991**, 3, 175-179.
200. Mózsik, Gy., Király, Á., Garamszegi, M., Jávör, T., Nagy, L., Sütő, G., Tóth, Gy., Vincze, Á.: Failure of postacyclin, β -carotene, atropine and cimetidine to produce gastric cyto- and general mucosal protection in surgically vagotomized rats. *Life Sciences*, **1991**, 49, 1383-1389.
[https://doi.org/10.1016/0024-3205\(91\)90389-S](https://doi.org/10.1016/0024-3205(91)90389-S)

201. Zachariev, Gy., Kiss, I., Szabolcs, J., Tóth, Gy., Molnár, P., Matus, Z.: HPLC-analysis of carotenoids in irradiated and ethylene oxide treated red pepper. *Acta Alimentaria* **1991**, 20, 115-122.
https://adt.arcanum.com/hu/view/ACTAALIMENT_20/?pg=130&layout=s
202. Király, Á., Sütő, G., Vincze, Á., Tóth, Gy., Matus, Z., Mózsik, Gy.: Correlation between the -carotene induced gastric cytoprotective effect and its gastric mucosal level in indomethacin (ind) treated rats with or without acut surgical vagotomy. *Acta Physiol. Hung.* **1992**, 80, 213-218. https://adt.arcanum.com/hu/view/MTA_ActaPhysiologica_80/?pg=218&layout=s
203. Deli J., Matus Z., Szabolcs J.: Carotenoid composition in the fruits of black paprika (*Capsicum anuum* variety *longum nigrum*) during ripening. *J. Agric. Food Chem.* **1992**, 40, 2072-2076.
<https://doi.org/10.1021/jf00023a008>
204. Deli, J., Matus, Z., Molnár, P., Tóth, Gy., Décsy, Z., Eugster, C.H.: Epoxydierung von Cucurbitaxanthin A: Herstellung von Cucurbitaxanthin B und seines 5',6'-epimeren. *Helv. Chim. Acta* **1993**, 76, 952-956.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19930760217>
205. Molnár, P., Szabolcs, J.: (Z/E)-Photoisomerization of C40-carotenoids by iodine. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2.* **1993**, 261-266.
<https://doi.org/10.1039/P29930000261>
206. Matus, Z., Molnár, P., Szabó, L. Gy.: Olajtők (*Cucurbita pepo* convar. *pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*) magjából nyert présmaradék összkarotinoid-tartalmának és karotinoid-összetételének meghatározása. *Acta Pharm. Hung.* **1993**, 63, 247.
207. Mózsik, G ; Karádi, O ; Á ; Matus, Z ; Sütő, G ; Tóth, G ; Vincze, Á.: Vagal nerve and the gastric mucosal defense. *J. Physiol. (Paris 1992-)* **1993**, 87, 329-334.
[https://doi.org/10.1016/0928-4257\(93\)90039-V](https://doi.org/10.1016/0928-4257(93)90039-V)
208. Deli, J., Matus, Z., Molnár, P., Tóth, Gy., Szalontai, G., Steck, A., Pfander, H.: Nigroxanthin (3',4'-didehydro- β , γ -carotene-3,6'-diol), a new carotenoid isolated from paprika (*Capsicum annuum* var. *longum nigrum*). *Chimia* **1994**, 48, 102-104.
<https://doi.org/10.2533/chimia.1994.102>
209. Deli, J., Matus, Z., Molnár, P., Tóth, Gy., Steck, A., Pfander, H.: Isolation of capsanthone (all-E,3R,5'R)-3-hydroxy- β , κ -carotene-3',6'-dione) from paprika (*Capsicum annuum*). *Chimia* **1995**, 49, 69-71.
<https://doi.org/10.2533/chimia.1995.69>
210. Deli, J., Matus, Z., Tóth, Gy.: Carotenoid composition in the fruits of *Capsicum annuum* Cv. *Szentesi Kosszarvú* during ripening. *J. Agric. Food Chem.* **1996**, 44, 711-715.
<https://doi.org/10.1021/jf950354n>
211. Deli, J., Molnár P., Matus, Z., Tóth, Gy. Steck, A.: Reisolation of carotenoid 3,6-epoxides from red paprika (*Capsicum annuum*). *Helv. Chim. Acta* **1996**, 79, 1435-1443.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19960790516>
212. Molnár, P., Deli, J., Matus, Z., Tóth, Gy. Steck, A.: Isomerisierung von Cycloviolaxanthin Herstellung und Charakterisierung von 9Z- und 13Z-Cycloviolaxanthin. *Helv. Chim. Acta* **1996**, 79, 1444-1450.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19960790517>
213. Molnár, P., Deli, J., Matus, Z., Tóth, Gy., Steck, A., Pfander, H.: Partial synthesis and characterization of the mono- and diepoxides of β -cryptoxanthin. *Helv. Chim. Acta* **1997**, 80, 221-229.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19970800120>
214. Molnár, P., Körtvéyesi, T., Matus, Z., Szabolcs, J.: Kinetic studies on the thermal Z/E-isomerization of C40-carotenoids. *J. Chem. Res. (S)* **1997**, 120-121.
<https://doi.org/10.1039/A607820F>
215. Deli, J., Tóth, Gy.: Carotenoid composition in the fruits of *Capsicum annuum* Cv. *Bovet 4* during ripening. *Z. f. Lebensm. Unters. Forsch. A* **1997**, 205, 388-391.
<https://doi.org/10.1007/s002170050186>
216. Tóth, Gy.: A fűszerpaprika karotinoidjai. *Biokémia* **1997**, XXI, 18-22.
<http://www.mbkegy.hu/apps/mbkegy/pages/index.html#!/BiokemShow/1997/03/006d00e100720063006900750073>
217. Rumi, Gy., Kovács, K., Matus, Z., Tóth Gy., Vincze, Á., Mózsik, Gy.: Serum carotenoids and malignant gastro-intestinal diseases in patients. In: *Cell injury and cytoprotection in the gastrointestinal tract*. Mózsik, G., Nagy, L., Pár, A. (eds.) Kluwer Academic Publisher 1997, pp. 349-355.
218. Rumi, Gy., Matus, Z., Tóth Gy., Vincze, Á., Mózsik, Gy.: Is only vitamin A activity necessary to the chemo-preventive effect of carotenoids? In: *Twenty Five Years of Peptic Ulcer Research in Hungary. From basic Sciences to clinical Practice (1971-1995)*. Mózsik, Gy., Nagy, L., Király, Á. (eds.) Akadémiai Kiadó, Budapest 1997, pp. 377-382.
219. Deli, J., Molnár, P., Matus, Z., Tóth, Gy., Steck, A., Pfander, H.: Isolation of carotenoids with 3,5,6-trihydroxy-5,6-dihydro- β -end groups from red paprika (*Capsicum annuum*). *Helv. Chim. Acta* **1998**, 81, 1233-1241.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19980810534>
220. Deli, J., Molnár, P., Matus, Z., Tóth Gy., Steck, A., Pfander, H.: Partial synthesis and characterization of capso-karboxanthins and 3,6-epoxycapsanthins. *Helv. Chim. Acta* **1998**, 81, 1242-1253.
<https://doi.org/10.1002/hlca.19980810535>
221. Deli, J., Molnár, P., Matus, Z., Tóth Gy., Steck, A., Pfander, H.: Isolation and characterization of 3,5,6-trihydroxy-carotenoids from *Lilium tigrinum*. *Chromatographia* **1998**, 48, 27-31.
<https://doi.org/10.1007/BF02467511>
222. Deli, J.: Thin-Layer Chromatography of carotenoids. *JPC - Modern TLC* **1998**, 11, 311-312.
223. Deli, J., Molnár, P., Matus, Z., Tóth Gy., Steck, A., Niggli, U., Pfander, H.: Aesculaxanthin a new carotenoid isolated from pollens of *Aesculus Hippocastanum*. *Helv. Chim. Acta* **1998**, 81, 1815-1820.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2675\(19981007\)81:10<1815::AID-HLCA1815>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2675(19981007)81:10<1815::AID-HLCA1815>3.0.CO;2-R)
224. Molnár, P., Deli, J., Matus, Z., Tóth Gy., Steck, A., Pfander, H.: Partial synthesis and characterization of karboxanthins and cucurbitaxanthin A epimers. *Helv. Chim. Acta* **1999**, 82, 1994-2002.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2675\(19991110\)82:11<1994::AID-HLCA1994>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2675(19991110)82:11<1994::AID-HLCA1994>3.0.CO;2-9)
225. Grotz, B., Molnár, P., Stransky, H., Hager, A.: Substrate-specificity and functional aspects of violaxanthin-de-epoxidase, an enzyme of the xanthophyll-cycle. *J. Plant Phys.* **1999**, 154, 437-446.
[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(99\)80280-6](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(99)80280-6)
226. Phillip, D., Molnár, P., Tóth, Gy., Young, A. J.: Light-induced formation of 13-*cis*-violaxanthin in leaves of *Hordeum vulgare*. *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.* **1999**, 49, 89-95.
[https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(99\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(99)00019-6)
227. Rumi, Gy. Jr., Szabó, Imre., Vincze, Á., Matus, Z., Tóth, Gy., Rumi, Gy., Mózsik, Gy.: Decrease in serum levels of vitamin A and zeaxanthin in patients with colorectal polyp. *Eur. J. Gastroenterol. Hepato.* **1999**, 11, 305-308.
<https://doi.org/10.1097/00042737-199903000-00015>
228. Szabó, L. Gy., Matus, Z., Molnár, P.: A sűtők (*Cucurbita maxima* Duch. ex Lam.) sziklevelének karotinoid-összetétele. *Olaj, szappan, kozmetika* **1999**, 48, 169-172.

229. Deli, J., Molnár, P., Pfander, H., Tóth, Gy.: Isolation of capsanthin 5,6-epoxide from *Lilium tigrinum*. *Acta Bot. Hung.* **1999/2000**, 42, 105-110.
https://real-j.mtak.hu/3644/1/ActaBotanica_42.pdf
230. Deli, J., Matus, Z., Tóth, Gy.: Comparative study on the carotenoid composition in the buds and flowers of different *Aesculus* species. *Chromatographia* **2000**, 51, S179-182.
<https://doi.org/10.1007/BF02492802>
231. Deli, J., Molnár, P., Ösz, E., Tóth, Gy.: Analysis of the carotenoids of the fruits of *Asparagus falcatus*; Isolation of 5,6-diepikarpoxanthin. *Chromatographia* **2000**, 51, S183-187.
<https://doi.org/10.1007/BF02492803>
232. Molnár, P., Deli, J., Matus, Z., Tóth Gy., Renneberg, D., Pfander, H.: Isomerization of (all-E)-cucurbitaxanthin A. *Helv. Chim. Acta* **2000**, 83, 1535-1541.
[https://doi.org/10.1002/1522-2675\(20000705\)83:7<1535::AID-HLCA1535>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1522-2675(20000705)83:7<1535::AID-HLCA1535>3.0.CO;2-%23)
233. Deli, J., Matus, Z., Tóth, Gy.: Carotenoid composition in the fruits of *Asparagus officinalis*. *J. Agric. Food Chem.* **2000**, 48, 2793-2796.
<https://doi.org/10.1021/jf991243h>
234. Deli, J., Molnár P., Ösz E., Tóth, Gy.: Capsoneoxanthin, a new carotenoid, isolated from the fruits of *Asparagus falcatus*. *Tetrahedron Lett.* **2000**, 41, 8153-8155.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)01417-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)01417-9)
235. Molnár, P., Deli, J., Matus, Z., Tóth Gy., Steck A., Pfander H.: Isolation and characterization of mutatoxanthin-epimers from red paprika (*Capsicum annuum*). *Eur. Food Res. Technol.* **2000**, 211, 396-399.
<https://doi.org/10.1007/s002170000195>
236. Deli, J.: Paprikakarotinoidok bioszintézise. *Biokémia* **2000**, 24, 84-87.
<http://www.mbkegy.hu/apps/mbkegy/pages/index.html#!/BiokemShow/2000/09/0073007a0065007000740065006d006200650072>
237. Rumi, Gy., Jr., Szabó, I., Vincze, Á., Matus, Z., Tóth, Gy., Mózsik, Gy.: Decrease of serum carotenoids in Crohn's disease. *J. Physiol. (Paris 1992-)* **2000**, 94, 159-161.
[https://doi.org/10.1016/S0928-4257\(00\)00159-5](https://doi.org/10.1016/S0928-4257(00)00159-5)
238. Deli, J., Molnár, P., Matus, Z., Tóth, Gy., Traber, B., Pfander, H.: „Prenigroxanthin” [(all-E,3R,3'S,6'S)-β,γ-Carotene-3,3'6'-triol], a novel carotenoid from red paprika (*Capsicum annuum*). *Tetrahedron Lett.* **2001**, 42, 1395-1397.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)02268-1](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)02268-1)
239. Deli, J., Ösz, E., Visy, J., Zsila F., Simonyi, M., Tóth, Gy.: Stereoselective reduction of capsanthol-3'-ones by complex hydrides. *Helv. Chim. Acta* **2001**, 84, 263-270.
[https://doi.org/10.1002/1522-2675\(20010131\)84:1<263::AID-HLCA263>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1522-2675(20010131)84:1<263::AID-HLCA263>3.0.CO;2-7)
240. Zsila, F., Bikádi, Zs., Deli, J., Simonyi, M.: Configuration of a single centre determines chirality of supramolecular carotenoid self-assembly. *Tetrahedron Lett.* **2001**, 42, 2561-2563.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)00183-6](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)00183-6)
241. Deli, J., Molnár, P., Matus, Z., Tóth Gy.: Carotenoid composition in the fruits of red paprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme rubrum*) during ripening; Biosynthesis of carotenoids in red paprika. *J. Agric. Food Chem.* **2001**, 49, 1517-1523.
<https://doi.org/10.1021/jf000958d>
242. Zsila, F., Deli, J., Bikádi, Zs., Simonyi, M.: Chiral detection of carotenoid assemblies. *Chirality* **2001**, 13, 446-453.
<https://doi.org/10.1002/chir.1060>
243. Zsila, F., Bikádi, Z., Keresztes, Z., Deli, J., Simonyi, M.: Investigation of the self-organization of lutein and lutein diacetate by electronic absorption, circular dichroism spectroscopy and atomic force microscopy. *J. Phys. Chem. B* **2001**, 105, 9413-9421.
<https://doi.org/10.1021/jp011626u>
244. Molnár, P., Deli, J., Tóth Gy., Haberli, A., Pfander, H., Bernhard, K.: (9Z)-Capsanthin 5,6-epoxide, a new carotenoid from the fruits of *Asparagus falcatus*. *J. Nat. Prod.* **2001**, 64, 1254-1255.
<https://doi.org/10.1021/np0101447>
245. Deli, J., Matus, Z., Molnár, P., Tóth, Gy.: Separation and identification of carotenoids from different coloured paprika (*Capsicum annuum*) by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Eur. Food Res. Technol.* **2001**, 213, 301-305.
<https://doi.org/10.1007/s002170100377>
246. Zsila, F., Deli, J., Simonyi, M.: Color and chirality: Carotenoid self-assemblies in flower petals. *Planta* **2001**, 213, 937-942.
<https://doi.org/10.1007/s004250100569>
247. Zsila, F., Deli, J., Bikádi, Zs., Simonyi, M.: Supramolecular assemblies of carotenoids. *Chirality* **2001**, 13, 739-744.
<https://doi.org/10.1002/chir.10011>
248. Kukui, Cs., Deli, J., Tóth, Gy.: Gyógyteafűvek karotinoid tartalmának vizsgálata. *Acta Pharm. Hung.* **2001**, 71, 314-317.
249. Deli, J., Molnár, P., Ösz, E., Zsila, F., Simonyi, M., Tóth, Gy.: Reduction of capsorubin and cryptocapsin. *Helv. Chim. Acta* **2001**, 84 3810-3817.
[https://doi.org/10.1002/1522-2675\(20011219\)84:12<3810::AID-HLCA3810>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1522-2675(20011219)84:12<3810::AID-HLCA3810>3.0.CO;2-1)
250. Oberholster, R., Cowan, A. K., Molnár, P., Tóth, Gy.: The biochemical basis for colour as an aesthetic quality in *Citrus sinensis*. *J. Agric. Food. Chem.* **2001**, 49, 303-307.
<https://doi.org/10.1021/jf0007840>
251. Kalala, M., Cowan, A. K., Molnár, P., Tóth, Gy.: (9Z)-epoxy-carotenoid cleavage enzyme activity from the *Citrus* cell-free system for ABA biosynthesis. *South Afric. J. Bot.* **2001**, 67, 376-377.
[https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31145-5](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31145-5)
252. Rumi, G. Jr., Matus, Z., Tóth, G., Pár, A., Nagy, Z., Vincze, A., Rumi, G., Mózsik, G.: Changes of serum carotenoids in patients with esophageal, gastric, hepatocellular, pancreatic and colorectal cancer. *J. Physiol. (Paris 1992-)* **2001**, 95, 239-242.
[https://doi.org/10.1016/S0928-4257\(01\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0928-4257(01)00031-6)
253. Mózsik, Gy., Nagy, Z., Nagy, A., Rumi, G., Karádi, O., Czimmer, J., Matus, Z., Tóth, Gy., Pár, A.: Leiden mutation (as genetic) and environmental (retinoids) sequences in the acute and chronic inflammatory and premalignant colon disease in human gastrointestinal tract. *J. Physiol. (Paris 1992-)* **2001**, 95, 489-494.
[https://doi.org/10.1016/S0928-4257\(01\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0928-4257(01)00068-7)
254. Mózsik, Gy., Bódis, B., Figler, M., Á., Karádi, O., Pár, A., Rumi, G., Sütő, G., Tóth, Gy., Á.: Mechanisms of action of retinoids in gastrointestinal mucosal protection in animals, human healthy subjects and patients. *Life Sciences* **2001**, 69, 3103-3112.
[https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(01\)01416-3](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(01)01416-3)
255. Tóth, Gy. Cholnoky László (1899-1967). Emlékbeszéd az MTA elhunyt tagjai felett. *MTA, Budapest* **2001**. 1-6.
https://adt.arcanum.com/hu/view/AM_Emlékbeszedek_1999-2000/?pg=46&layout=s

256. Mele, A., Mendichi, R., Selva, A., Molnár, P., Tóth, Gy.: Non-covalent associations of cyclomaltooligosaccharides (cyclodextrins) with carotenoids in water. A study on the α - and β -cyclodextrin / ψ,ψ -carotene (lycopene) system by light scattering, ionspray ionization and tandem mass spectrometry. *Carbohydrate Res.* **2002**, 337, 1129-1136. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(02\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(02)00097-6)
257. Phillip, D., Hobes, S., Paulsen, H., Molnár, P., Hashimoto, H., Young, A.: The binding of xanthophylls to the bulk light-harvesting complex of photosystem II of higher plants: a specific requirement for carotenoids with a 3-hydroxy- β -end group. *J. Biol. Chem.* **2002**, 277, 25160-25169. <https://doi.org/10.1074/jbc.M200202200>
258. Molnár, P., Deli, J., Tóth, G., Haberli, A., Pfander, H.: Isomerization of (all-*E*)-5,6-diepipikaroxanthin. *Helv. Chim. Acta* **2002**, 85, 1327-1339. [https://doi.org/10.1002/1522-2675\(200205\)85:5<1327::AID-HLCA1327>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1522-2675(200205)85:5<1327::AID-HLCA1327>3.0.CO;2-G)
259. Bikádi, Z., Zsila, F., Deli, J., Mády, G., Simonyi, M.: The Supramolecular structure of self-assembly formed by capsanthin derivatives. *Enantiomer* **2002**, 7, 67-76. <https://doi.org/10.1080/10242430212194>
260. Lóránd, T., Molnár, P., Deli, J., Tóth, Gy.: FT-IR study of some carotenoids. *Helv. Chim. Acta* **2002**, 85, 1691-1697. [https://doi.org/10.1002/1522-2675\(200206\)85:6<1691::AID-HLCA1691>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1522-2675(200206)85:6<1691::AID-HLCA1691>3.0.CO;2-G)
261. Deli, J., Pfander, H., Tóth, Gy.: Investigation of carotenoid composition of paprika paste. *Chromatographia* **2002**, 56, S177-179. <https://doi.org/10.1007/BF02494134>
262. Molnár, P., Ösz, E., Zsila, F., Simonyi, M., Deli, J.: Preparation of partially acetylated carotenoids. *Helv. Chim. Acta* **2002**, 85, 2349-2357. [https://doi.org/10.1002/1522-2675\(200208\)85:8<2349::AID-HLCA2349>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1522-2675(200208)85:8<2349::AID-HLCA2349>3.0.CO;2-N)
263. Deli, J., Molnár, P.: Paprika carotenoids: Analysis, isolation, structure elucidation. *Curr. Org. Chem.* **2002**, 6, 1197-1219. <https://doi.org/10.2174/1385272023373608>
264. Bakó, E., Deli, J., Tóth, Gy.: HPLC study on the carotenoid composition of *Calendula* products. *J. Biochem. Biophys. Methods* **2002**, 53, 241-250. [https://doi.org/10.1016/S0165-022X\(02\)00112-4](https://doi.org/10.1016/S0165-022X(02)00112-4)
265. Lóránd, T., Molnár, P., Deli, J., Tóth Gy.: FT-IR Study of some seco and apocarotenoids. *J. Biochem. Biophys. Methods* **2002**, 53, 251-258. [https://doi.org/10.1016/S0165-022X\(02\)00113-6](https://doi.org/10.1016/S0165-022X(02)00113-6)
266. Molnár, P., Pfander, H., Oláh, P., Deli, J., Tóth, Gy., Szabó, L.Gy.: Kínai és Magyar származású közönséges ördögcérna (*Lycium barbarum* L.) termések karotinoid-összetétele. *Olaj, Szappan, Kozmetika* **2003**, 52, 50-55.
267. Simonyi, M., Bikádi, Z., Zsila, F., Deli, J.: Supramolecular exciton chirality of carotenoid aggregates. *Chirality* **2003**, 15, 680-698. <https://doi.org/10.1002/chir.10282>
268. Molnár, J., Mucsi, I., Pusztai, R., Hohmann, J., Molnár, P.: Tumorsejtek multidrog-rezisztenciájának gátlása *in vitro*. *Orvostudományi Értesítő; Az Erdélyi Múzeum Egyesület Orvostudományi Szakosztályának Közleményei* **2003**, 76, 128-131.
269. Molnár, P., Deli, J., Zsila, F., Steck, A., Pfander, H., Tóth, Gy.: Preparation and (E/Z)-isomerization of the diastereoisomers of violaxanthin. *Helv. Chim. Acta* **2004**, 87, 11-27. <https://doi.org/10.1002/hlca.200490001>
270. Deli, J., Molnár, P., Ösz, E., Tóth, Gy., Zsila F.: Epimerisation of lutein to 3'-epilutein in processed foods. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2004**, 14, 925-928. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2003.12.012>
271. Deli, J., Ösz, E.: Carotenoid 5,6-, 5,8- and 3,6-epoxides. *ARKIVOC* **2004**, Part VII, 150-168. <https://doi.org/10.3998/ark.5550190.0005.712>
272. Molnár, P., Ösz, E., Szabó, Z., Oláh, P., Tóth, Gy., Deli, J.: Separation and identification of lutein derivatives in processed foods. *Chromatographia* **2004**, 60, S101-105. <https://doi.org/10.1365/s10337-004-0291-z>
273. Molnár, P., Deli, J., Ösz, E., Zsila, F., Simonyi, M., Tóth, Gy.: Confirmation of (3*R*,3'*S*,6'*R*)-Chirality of 3'-Epilutein. *Helv. Chim. Acta* **2004**, 87, 2159-2168. <https://doi.org/10.1002/hlca.200490195>
274. Molnár, P., Deli, J., Ösz, E., Matus, Z., Tóth, Gy., Zsila, F.: (E/Z)-Isomerization of 3'-Epilutein. *Helv. Chim. Acta* **2004**, 87, 2169-2179. <https://doi.org/10.1002/hlca.200490196>
275. Molnár, J., Gyémánt, N., Mucsi, I., Molnár, A., Szabó, M., Körtvélyesi, T., Varga, A., Molnár, P., Tóth, Gy.: Modulation of multidrug resistance and apoptosis on cancer cells by selected carotenoids. *In vivo* **2004**, 18, 237-244. <https://iv.iarjournals.org/content/18/2/237>
276. Zsila, F., Molnár, P., Deli, J.: Analysis of Binding Interaction Between the Natural Apocarotenoid Bixin and Human Serum Albumin by Circular Dichroism and Fluorescence Spectroscopy Methods. *Chemistry & Biodiversity* **2005**, 2, 758-772. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200590053>
277. Zsila, F., Molnár, P., Deli, J., Lockwood S.F.: Circular Dichroism and Absorption Spectroscopic Data Reveal Binding of the Natural *cis*-Carotenoid Bixin to Human α_2 -Acid Glycoprotein. *Bioorg. Chem.* **2005**, 33, 298-309. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2005.03.003>
278. Molnár, P., Ösz, E., Zsila, F., Deli, J.: Isolation and Structure Elucidation of Anhydroluteins from Cooked Sorrel (*Rumex rugosus* Campd.). *Chemistry & Biodiversity* **2005**, 2, 928-935. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200590070>
279. Kerti, A., Bárdos, L., Deli, J., Oláh, P.: Retinoid and Carotenoid Metabolism in Connection with the Caecotrophy of Rabbits. *Acta Vet. Hung.* **2005**, 53, 309-318. <https://doi.org/10.1556/avet.53.2005.3.4>
280. Ugocsai, K., Varga, A., Molnár, P., Antus, S., Molnár, J.: Effects of selected Flavonoids and Carotenoids on Drug accumulation and Apoptosis Induction in Multidrug-resistant Colon Cancer Cells Expressing MDR1/LRP. *In Vivo* **2005**, 19, 433-438. <https://iv.iarjournals.org/content/19/2/433>
281. Molnár, P., Kawase, M., Satoh, K., Sohara, Y., Tanaka, T., Tani, S., Sakagami, H., Nakashima, H., Motohashi, N., Gyémánt, N., Molnár, J.: Biological Activity of Carotenoids of Red Paprika, Valencia Orange and Golden Delicious Apple. *Phytother. Res.* **2005**, 19, 700 -707. <https://doi.org/10.1002/ptr.1735>
282. Molnár, P., Kawase, M., Motohashi, N.: Isolation, Crystallization and handling of carotenoids and the (E/Z)-isomerization of carotenoids. In: 'Functional Polyphenols and Carotenoids with Antioxidative Action', a review book series of "Chem. Pharmaceutical Sciences Ed. Motohashi, N.; (CPS)" ("RSFLASH", Kerala, India) 2005, Ch 6, pp. 111-131.
283. Mózsik, Gy., Rumi, G., Dömötör, A., Figler, M., Gasztonyi, B., Papp, E., Pár, A., Pár, G., Belágyi, J., Matus, Z., Melegh, B.: Involvement of serum retinoids and Leiden mutation in patients with esophageal, gastric, liver, pancreatic, and colorectal cancers in Hungary. *World J. Gastroenterol.* **2005**, 11, 7646-7650. <http://real.mtak.hu/11338/1/WJG05.11.48.pdf>

284. Molnár, J., Gyémánt, N., Tanaka, M., Hohmann, J., Bergmann-Leitner, E. Molnár, P., Deli, J., Didizapetris, R., Ferreira, M.J.U.: Inhibition of multidrug resistance of cancer cells by natural diterpenes, triterpenes and carotenoids. *Curr. Pharm. Des.* **2006**, 12, 287-311. <https://doi.org/10.2174/138161206775201893>
285. Gyémánt, N., Tanaka, M., Molnár, P., Deli, J., Mándoky, L., Molnár, J.: Reversal of Multidrug resistance of Cancer Cells in vitro: Modification of Drug Resistance by Carotenoids. *Anticancer Res.* **2006**, 26, 367-374. <https://ar.iijournals.org/content/26/1A/367>
286. Hentschel, P., Grynbaum, D. M., Molnár, P., Putzbach, K., Rehbein, J., Deli, J., Albert, K.: Structure Elucidation of Deoxylutein II Isomers by on-line Capillary High-Performance Liquid Chromatography–Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *J. Chrom. A* **2006**, 1112, 285-292. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.12.082>
287. Molnár, P., Ösz, E., Tóth, G., Zsila, F., Deli, J.: Preparation and Spectroscopic Characterization of (9Z,9'Z)-Lutein (Neolutein C). *Helv. Chim. Acta* **2006**, 89, 667-674. <https://doi.org/10.1002/hlca.200690067>
288. Molnár, P., Levy, L.W., Deli, J.: In vitro Degradation of Lutein but not of Lutein Ester by Gastric pH. *Carotenoid Science* **2006**, 10, 1-5.
289. Molnár, P., Deli, J., Ösz, E., Tóth, Gy., Zsila, F., Herrero, C., Landrum J.T.: Preparation and Spectroscopic Characterization of 3'-Oxolutein. *Lett. Org. Chem.* **2006**, 3, 723-734. <https://doi.org/10.2174/157017806779025933>
290. Agócs, A., Nagy, V., Szabó, Z., Márk, L., Ohmacht, R., Deli, J.: Comparative Study on the Carotenoid Composition of the Peel and the Pulp of Different Citrus Species. *Innov. Food Sci. Emerg. Techn.* **2007**, 8, 390-394. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.012>
291. Nagy, V., Agócs, A., Turcsi, E., Molnár, P., Szabó, Z., Deli, J.: Latoxanthin a Minor Carotenoid isolated from yellow paprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme flavum*). *Tetrahedron Lett.* **2007**, 48, 9012-9014. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2007.10.091>
292. Török, J., Hargitai, R., Hegyi, G., Matus, Z., Michl, G., Péczely, P., Rosivall, B., Tóth, Gy.: Carotenoids in the egg yolks of collared flycatchers (*Ficedula albicollis*) in relation to parental quality, environmental factors and laying order. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **2007**, 61, 541-550. <https://doi.org/10.1007/s00265-006-0282-1>
293. Focsan, A.L., Bowman, M.K., Konovalova, T.A., Molnár, P., Deli, J., Dixon, D.A., Kispert, L.D.: Pulsed EPR and DFT Characterization of Radicals Produced by Photo-Oxidation of Zeaxanthin and Violaxanthin on Silica-Alumina. *J. Phys. Chem. B* **2008**, 112, 1806-1819. <https://doi.org/10.1021/jp0765650>
294. Lawrence, J., Focsan, A.L., Konovalova, T.A., Molnár, P., Deli, J., Bowman, M.K., Kispert, L.D.: Pulsed ENDOR Studies of Carotenoid Oxidation in Cu(II)-Substituted MCM-41 Molecular Sieves. *J. Phys. Chem. B* **2008**, 112, 5449-5457. <https://doi.org/10.1021/jp711310u>
295. Háda, M., Nagy, V., Takátsy, A., Deli, J., Agócs, A.: Dicarotenoid esters of bivalent acids. *Tetrahedron Lett.* **2008**, 49, 3524-3526. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2008.03.137>
296. Blaskó, Á., Belágyi, J., Dergez, T., Deli, J., Papp G., Papp T., Vágvolgyi, C., Pesti, M.: Investigation of plasma membrane dynamics of *Xanthophyllomyces Dendrorhous* by EPR and the effect of various carotenoids. *Eur. Biophys. J. Biophys. Lett.* **2008**, 37, 1097-1104. <https://doi.org/10.1007/s00249-008-0289-9>
297. Molnár, J., Engi, H., Gyémánt, N., Schelz, Zs., Spengler, G., Ocsosvzki, I., Szűcs, M., Hohmann, J., Szabo, M., Tanács, L., Molnár, P., Deli, J., Krenn, L., Kawase, M., Wakabayashi, H., Kurihara, T., Shirataki, Y., Sakagami, H., Motohashi, N., Didizapetris, R.: Multidrug resistance of cancer cells by selected carotenoids, flavonoids and anthocyanines. *Topics in Heterocyclic Chemistry Vol. 15/2008, Bioactive Heterocycles VI. Flavonoids and Anthocyanins in Plants, and Latest Bioactive Heterocycles I.* volume ed.: Motohashi, N. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2008, Chapter 4. pp. 133-159. https://doi.org/10.1007/7081_2008_120
298. Deli J.: 85 éves a karotinoid kutatás Pécssett. *Magyar Kémikusok Lapja* **2008**, 63, 230-232. https://www.mkl.mke.org.hu/images/Dokumentumtar/2008/2008_7_8.pdf
299. Deli, J.: A pécsi karotin csoport 85 éve. *Pécsi Szemle* **2008** ősz, 84-92. https://adt.arcanum.com/hu/view/PecsiSzemle_2008/?pg=357&layout=s
300. Nagy, V., Agócs, A., Turcsi, E., Deli, J.: Isolation and Purification of Acide-labile Carotenoid 5,6-Epoxides on Modified Silica Gels. *Phytochem. Anal.* **2009**, 20, 143-148. <https://doi.org/10.1002/pca.1109>
301. Huang, F.C., Horváth, Gy., Molnár, P., Turcsi, E., Deli, J., Schrader, J., Sandmann, G., Schmidt, H., Schwab, W.: Substrate promiscuity of RdCCD1, a carotenoid cleavage oxygenase from *Rosa damascena*. *Phytochemistry* **2009**, 70, 457-464. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.01.020>
302. Focsan, A.L., Molnár, P., Deli, J., Kispert, L.: The structure and properties of 9'-cis-neoxanthin carotenoid radicals by EPR measurements and DFT calculations: Present in LHC II? *J. Phys. Chem. B* **2009**, 113, 6087-6096. <https://doi.org/10.1021/jp810604s>
303. Nagy, V., Agócs, A., Deli, J.: *In vitro* and *in vivo* Transformations of Lutein. *Mini-Reviews in Org. Chem.* **2009**, 6, 211-219. <https://doi.org/10.2174/157019309788922711>
304. Nagy, B., Simándi, B., Kéry, Á., Kursinszki, L., Deli, J.: Paprika minta szuperkritikus extrakciója és a művelet modellezése. *Olaj, Szappan, Kosmetika* **2009**, 58, 97-102.
305. Molnár, P.: Research of the (E/Z)-Isomerization of Carotenoids in Pécs since the 1970s (Review). *Arch. Biochem. Biophys.* **2009**, 483, 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2008.10.030>
306. Huang, F.C., Molnár, P., Schwab, W.: Cloning and functional characterization of carotenoid cleavage dioxygenase 4 genes. *J. Exp. Bot.* **2009**, 60, 3011-3022. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp137>
307. Nagy, V., Agócs, A., Turcsi, E., Deli, J.: Experiments on the synthesis of carotenoid glycosides. *Tetrahedron Lett.* **2010**, 51, 2020-2022. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2010.02.049>
308. Molnár, P., Deli, J., Tanaka, T., Kann, Y., Tani, S., Gyémánt, N., Molnár, J., Kawase, M.: Carotenoids with anti-*Helicobacter pylori* activity from Golden Delicious Apple. *Phytother. Res.* **2010**, 24, 644-648. <https://doi.org/10.1002/ptr.2912>
309. Háda, M., Nagy, V., Gulyás-Fekete, G., Deli, J., Agócs A.: Towards carotenoid dendrimers: Carotenoid dimers and trimers with aromatic cores. *Helv. Chim. Acta* **2010**, 93, 1149-1155. <https://doi.org/10.1002/hlca.200900338>

310. Horváth, Gy., Molnár, P., Farkas, Á., Szabó, L.G., Turcsi, E., Deli J.: Separation and identification of carotenoids in flowers of *Chelidonium majus* L. and inflorescences of *Solidago canadensis* L. *Chromatographia* **2010**, *71*, S103-S108.
<https://doi.org/10.1365/s10337-010-1510-4>
311. Mialoundama, A.S., Heintz, D., Jadid, N., Nkeng, P., Rahier, A., Deli, J., Camara, B. Bouvier, F.: Characterization of plant carotenoid cyclases as members of the flavoprotein family functioning with no net redox change. *Plant Phys.* **2010**, *153*, 970–979.
<https://doi.org/10.1104/pp.110.155440>
312. Molnár, J., Engi, H., Hohmann, J., Molnár, P., Deli, J., Wesolowska, O., Michalak, K., Wang Q.: Reversal of multidrug resistance by natural substances from plants. *Curr. Topics Med. Chem.* **2010**, *10*, 1757-1768.
<https://doi.org/10.2174/156802610792928103>
313. Murillo, E., McLean, L., Britton, G., Agócs, A., Nagy, V., Deli, J.: Sapotexanthin, a new A-provitamin carotenoid isolated from mamey (*Pouteria sapota*). *J. Nat. Prod.* **2011**, *74*, 283-285.
<https://doi.org/10.1021/np1006982>
314. Horváth, E., Papp, G., Gazdag, Z., Belágyi, J., Blaskó, Á., Deli, J., Vágölgvi, Cs., Pesti, M.: Characterization of stress processes of *Phaffia rhodozyma* stress-resistant mutant. *Acta Biol. Hung.* **2011**, *62*, 204–210.
<https://doi.org/10.1556/abiol.62.2011.2.10>
315. Háda, M., Petrovics, D., Nagy, V., Böddi, K., Deli, J., Agócs A.: First synthesis of PEG-carotenoid conjugates. *Tetrahedron Lett.* **2011**, *52*, 3195-3197.
<https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2011.04.039>
316. Focsan, A., Bowman, M., Molnár, P., Deli, J., Kispert, L.D: Carotenoid radical formation: Dependence on conjugation length. *J. Phys. Chem. B* **2011**, *115*, 9495–9506.
<https://doi.org/10.1021/jp204787b>
317. Agócs, A., Deli, J.: Pigments in your food. *J. Food Comp. Anal.* **2011**, *24*, 757-759.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.07.001>
318. Somogyi, B., Felföldi, T., Solymosi, K., Makk, J., Homonnay, G. Z., Horváth, Gy., Turcsi, E., Böddi, B., Márialigeti, K., Vörös, L.: *Chloroparva pannonica* gen. et sp nov. (Trebouxioophyceae, Chlorophyta) – a new picoplanktonic green alga from a turbid, shallow soda pan. *Phycologia* **2011**, *50*, 1-10.
<https://doi.org/10.2216/10-08.1>
319. Brandi, F., Bar, E., Mourgues, F., Horváth, Gy., Turcsi, E., Giuliano, G., Liverani, A., Tartarini, S., Lewinsohn, E., Rosati, C.: Regulation of carotenoid metabolism and volatile compound content in 'Redhaven' peach and its white-fleshed mutant during fruit ripening. *BMC Plant Biol.* **2011**, *11*, 24.
<https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-24>
320. Horváth, Gy., Szöke, É., Kemény, Á., Bagoly T., Deli, J., Szenté, L., Pál, Sz., Sándor, K., Szolcsányi, J., Helyes, Zs.: Lutein inhibits the function of the transient receptor potential A1 ion channel in different in vitro and in vivo models. *J. Mol. Neurosci.* **2012**, *46*, 1-9.
<https://doi.org/10.1007/s12031-011-9525-3>
321. Molnár, J., Serly, J., Pusztai, R., Vincze, I., Molnár, P., Horváth, Gy., Deli, J., Maoka, T., Zalatnai, A., Tokuda, H., Nishino, H.: Putative supramolecular complexes formed by carotenoids and xanthophylls with ascorbic acid to reverse multidrug resistance in cancer cells. *Anticancer Res.* **2012**, *32*, 507-518.
<https://ar.iijournals.org/content/32/2/507>
322. Háda, M., Nagy, V., Takátsy, A., Deli, J., Hait, J., Agócs, A.: Introduction of click chemistry to carotenoids. *Tetrahedron Lett.* **2012**, *53*, 2480-2482.
<https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2012.03.027>
323. Molnár, P., Horváth, Gy., Turcsi, E., Deli, J., Kavase, M., Satoh, K., Tanaka, T., Tani, S., Sakagami, H., Gyémánt, N., Molnár, J.: Carotenoid composition and *in vitro* pharmacological activity of Rose hips. *Acta Biochim. Pol.* **2012**, *59*, 129-132.
https://doi.org/10.18388/abp.2012_2187
324. Zand, A., Agócs, A., Deli, J., Nagy, V.: Carotenoid-cysteine conjugates. *Acta Biochim. Pol.* **2012**, *59*, 149-150.
https://doi.org/10.18388/abp.2012_2193
325. Háda, M., Nagy, V., Deli, J., Agócs, A.: Water-soluble carotenoids: Recent progress. *Molecules* **2012**, *17*, 5003-5012.
<https://doi.org/10.3390/molecules17055003>
326. Murillo, E., Mosquera, Y., Kurtán, T., Gulyás-Fekete, G., Nagy, V., Deli, J.: Isolation and characterization of two novel capsorubin like carotenoids from the red mamey (*Pouteria sapota*). *Helv. Chim. Acta* **2012**, *95*, 983-988.
<https://doi.org/10.1002/hlca.201100493>
327. Deli J.: Zechmeister László 1889-1972. *Magyar Kémikusok Lapja* **2012**, *67*, 92.
https://www.mkl.mke.org.hu/images/Dokumentumtar/2012/2012_03.pdf
328. Gulyás-Fekete, G., Murillo, E., Kurtán, T., Papp, T., Illyés, T.Z., Drahos, L., Visy, J., Agócs, A., Turcsi, E., Deli, J.: Cryptocapsinepoxide-type carotenoids from red mamey, *Pouteria sapota*. *J. Nat. Prod.* **2013**, *76*, 607-614.
<https://doi.org/10.1021/np3007827>
329. Háda, M., Nagy, V., Deli, J., Agócs, A.: Hidrofil karotinoidok. *Magy. Kém. Foly.* **2013**, *119*, 115-119.
https://www.mkf.mke.org.hu/images/stories/docs/2013_2_3/MKF_2013_115.pdf
330. Deli, J., Kollár, L.: Kémiai kutatások és kémiaoktatás a pécsi egyetemen. *Magy. Kém. Foly.* **2013**, *119*, 75-79.
https://www.mkf.mke.org.hu/images/stories/docs/2013_2_3/MKF_2013_75.pdf
331. Molnár, P.: A karotinoidok geometriai izomériájának kutatása Pécsen az elmúlt 40 évben. *Magy. Kém. Foly.* **2013**, *119*, 93-103.
https://www.mkf.mke.org.hu/images/stories/docs/2013_2_3/MKF_2013_93.pdf
332. Magyar, Á., Bowman, M., Molnár, P., Kispert, L. D.: Neutral carotenoid radicals upon intense light exposure of wild-type *Arabidopsis thaliana* L. *J. Phys. Chem. B* **2013**, *117*, 2239-2246.
<https://doi.org/10.1021/jp306387e>
333. Schwab, W., Huang, F.H., Molnár, P.: Carotenoid Cleavage oxygenase Genes from Fruit. In 'Carotenoid Cleavage Products', ACS Symposium Series 1134; American Chemical Society, Washington, DC; Oxford University Press; Eds.: Winterhalter, P., Ebeler, S.E. 2013, Chapter 2, pp.11-19.
<https://doi.org/10.1021/bk-2013-1134.ch002>
334. Murillo, E., Nagy, V., Agócs, A., Deli, J.: Carotenoids with κ -end group. In: *Carotenoids: Food Sources, Production and Health Benefits* ed.: Yamaguchi, M. Nova Science Publishers, Inc. 2013, Chapter 3. pp. 49-78.
<https://novapublishers.com/wp-content/uploads/2019/07/Carotenoids-with-k-end-groups.pdf>
335. Magyar, Á., Focsan, A. L., Molnár, P., Kispert, L. D., Bowman, M.: Chemistry of geometrical isomers of zeaxanthin during mass spectrometry with electrospray ionization source. *Carotenoid Science* **2014**, *19*, 7-16.
336. Hanaura, M., Agócs, A., Böddi, K., Deli, J., Nagy, V.: New methods in the synthesis of carotenoid glycosides. *Tetrahedron Lett.* **2014**, *55*, 3625-3627.
<https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2014.04.114>

337. Deli, J., Gonda, S., L. Nagy, L.ZS., Szabó, I. Gulyás-Fekete, G. Agócs, A. Marton, K., Vasas, G.: Carotenoid composition of three bloom-forming algae species. *Food Res. Int.* **2014**, 65, 215-223.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.020>
338. Deli, J.: Zechmeister László: A kutató, a tanár, a humanista. *Magyar Kémikusok Lapja* **2014**, 69, 278-279.
https://www.mkl.mke.org.hu/images/Dokumentumtar/2014/2014_09.pdf
339. Molnár P.: Karotinoidok szerepe daganatos és szem-betegségek megelőzésében. In: *Természetes hatóanyagok a modern orvoslásban* Szerk.: Blázovics A., Mézes M., Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft. 2014, 46-52. old.
340. Molnár P., Deli J.: Cholnoky László. In: *Dél-Dunántúl neves gyógyszerészei* szerk.: Lárencz L., Szabó L.Gy., PTE ÁOK, Pécs, 2014 (ISBN 978-963-642-594-4), 47-58 old.
341. Horváth, Gy., Kemény, A., Barthó, L., Molnár, P., Deli, J., Sente, L., Bozó, T., Pál, Sz., Sándor, K., Szőke, É., Szolcsányi, J., Helyes, Zs.: Effects of some natural carotenoids on TRPA1- and TRPV1-induced neurogenic inflammatory processes *in vivo* in the mouse skin. *J. Mol. Neurosci.* **2015**, 56, 113-121.
<https://doi.org/10.1007/s12031-014-0472-7>
342. Turcsi, E., Murillo, E., Kurtán, T., Szappanos, Á., Illyés, T.Z., Gulyás-Fekete, G., Agócs, A., Avar, P., Deli, J.: Isolation of β -cryptoxanthin-epoxides, precursors of cryptocapsin and 3'-deoxycapsanthin, from red mamey (*Pouteria sapota*). *J. Agric. Food Chem.* **2015**, 63, 6059-6065. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01936>
343. Turcsi, E., Nagy, V., Deli, J.: Study on the elution order of carotenoids on endcapped C_{18} and C_{30} reverse silica stationary phase. A review of the database. *J. Food Comp. Anal.* **2016**, 47, 101-112.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.01.005>
344. Murillo, E., Turcsi, E., Szabó, I., Mosquera, Y., Agócs, A., Nagy, V., Gulyás-Fekete, G., Deli, J.: Carotenoid composition of the fruit of red mamey (*Pouteria sapota*). *J. Agric. Food Chem.* **2016**, 64, 7148-7155.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03146>
345. Agócs, A., Bokor, É., Gulyás-Fekete, G., Takátsy, A., Lóránd, T., Deli, J., Somsák, L., Nagy, V.: Synthesis of carotenoid-monosaccharide conjugates *via* azide-alkyne click-reaction. *Tetrahedron* **2017**, 73, 519-526.
<https://doi.org/10.1016/j.tet.2016.12.035>
346. Agócs, A., Murillo, E., Turcsi, E., Béni, Sz., Darcsi, A., Deli, J.: Isolation of allene carotenoids from mamey. *J. Food Comp. Anal.* **2018**, 65, 1-5.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.04.004>
347. Nagy, V., Agócs, A., Deli, J., Gulyás, G., Illyés, T.Z., Turcsi, E., Béni, Sz., Dékány, M., Ballot, A., Vasas, G.: Carotenoid glycoside isolated and identified from cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. *J. Food Comp. Anal.* **2018**, 65, 6-10.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.06.003>
348. Bácsi, I., Deli, J., Gonda, S., Veréb, G., Dobronoki, D., Nagy, S. A., B-Béres, V., Vasas, G.: Non-steroidal anti-inflammatory drugs initiate morphological changes but inhibit carotenoid accumulation in *Haematococcus pluvialis*. *Algal Res.* **2018**, 31, 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.01.007>
349. Uragami, C., Saito, K., Molnár, P., Hashimoto, H.: Carotenoid-solvent interaction studied by the simulation of steady-state optical absorption spectra. *Carotenoid Science* **2018**, 22, 29-41.
350. Deli, J., Farkas, Á., Molnár, P.: Carotenoid 5,6-epoxides In: *Epoxides: Synthesis, Reactions and Uses* eds.: Reeves, R., Lawrence, M. Nova Science Publishers, Inc. 2018, Chapter 3. pp. 107-142.
<https://novapublishers.com/shop/epoxides-synthesis-reactions-and-uses/>
351. Uragami, C., Saito, K., Yoshizawa, M., Molnár, P., Hashimoto, H.: Unified analysis of optical absorption spectra of carotenoids based on a stochastic model. *Arch. Biochem. Biophys.* **2018**, 650, 49-58.
<https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.04.021>
352. Molnár, P., Ósz, E., Turcsi, E., Deli, J.: Carotenoid composition of the mushroom scarlet elf cup (*Sarcoscypha Coccinea*). *Heliyon* **2019**, 5, paper: e01883.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01883>
353. Nagy, V., Deli, J., Agócs, A.: Chemical synthesis of carotenoid esters. In: *Food Chemistry, Function and Analysis No.13. Carotenoid Esters in Foods: Physical, Chemical and Biological Properties* ed.: A. Z. Mercadante, Royal Society of Chemistry 2019, Chapter 3. pp. 68-107.
<https://doi.org/10.1039/9781788015851-00068>
354. Línzembold, I., Czett, D., Böddi, K., Kurtán, T., Király, S. B., Gulyás-Fekete, G., Takátsy, A., Lóránd, T., Deli, J., Agócs, A., Nagy, V.: Study on the synthesis, antioxidant properties, and self-assembly of carotenoid-flavonoid conjugates. *Molecules* **2020**, 25, paper: 636.
<https://doi.org/10.3390/molecules25030636>
355. Murillo, E., Agócs, A., Nagy, V., Király, S.B., Kurtán, T., Toribio, E.M., Lakey-Beitia, J., Deli, J.: Isolation and identification of sapotexanthin 5,6- and 5,8-epoxide from red mamey (*Pouteria sapota*). *Chirality* **2020**, 32, 579-587.
<https://doi.org/10.1002/chir.23206>
356. Farkas, Á., Bencsik, T., Deli, J.: Carotenoids as food additives. In: *Pigments in Microalgae: Handbook*. ed.: E. Jacob-Lopes, M. I. Queiroz, L. Q. Zepka, Springer 2020, Chapter 17. pp. 421-447.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-50971-2_17
357. Murillo, A., Deli, J., Nagy, V., Toribio, E. M., Sándor, V., Marton, K., Agócs, A.: Carotenoid composition of two capsorubin-rich tropical plants. *J. Food Comp. Anal.* **2021**, 97, paper: 103798.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103798>
358. Horváth, Gy., Csikós, E., Eichertné Andres, V., Bencsik, T., Takátsy, A., Gulyás-Fekete, G., Turcsi, E., Deli, J., Szőke, É., Kemény, Á., Payrits, M., Sente, L., Kocsis, M., Molnár, P., Helyes, Zs.: Analysing the carotenoid composition of Melilot (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) extracts and the effects of isolated (all-E)-lutein-5,6-epoxide on primary sensory neurons and macrophages. *Molecules* **2021**, 26, paper: 503.
<https://doi.org/10.3390/molecules26020503>
359. Pap, R., Pandur, E., Jánosa, G., Sipos, K., Agócs, A., Deli, J.: Lutein exerts antioxidant and anti-inflammatory effects and influences iron utilization of BV-2 microglia. *Antioxidants* **2021**, 10, paper: 363.
<https://doi.org/10.3390/antiox10030363>
360. Zubay, P., Ruttner, K., Rajhárt, P., Ladányi, M., Deli, J. Zámoriné, Németh, É., Szabó, K.: In the shade - Screening of medicinal and aromatic plants for temperate zone agroforestry cultivation. *Ind. Crops Prod.* **2021**, 170, paper: 113764.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113764>

361. Berecki, I., Papp, H., Kuczmog, A., Madai, M., Nagy, V., Agócs, A., Batta, Gy., Milánkovits, M., Ostorházi, E., Mitrović A., Kos, J., Zsigmond, Á., Hajdú, I., Lőrincz, Zs., Bajusz, D., Keserű, Gy.M., Hodek, J., Weber, J., Jakab, F., Herczegh, P., Borbás, A.: Natural Apocarotenoids and Their Synthetic Glycopeptide Conjugates Inhibit SARS-CoV-2 Replication. *Pharmaceuticals* **2021**, *14*, paper: 1111. <https://doi.org/10.3390/ph14111111>
362. Deli, J.: Emlékezés Zechmeister Lászlóra. *Magy. Kém. Foly.* **2022**, *128*, 2-11. <https://doi.org/10.24100/mkf.2022.01.02>
363. Turcsi, E., Nagy, V., Agócs, A., Deli, J.: Isolation and analysis of carotenoids in Hungary from Zechmeister until today. *Processes* **2022**, *10*, paper: 707. <https://doi.org/10.3390/pr10040707>
364. Czett, D., Böddi, K., Nagy, V., Takátsy, A., Deli, J., Tone, P., Vincze, A., Balogh, Gy.T., Agócs, A.: Synthesis, pharmacokinetic characterization, and antioxidant capacity of carotenoid succinates and their melatonin conjugates. *Molecules* **2022**, *27*, paper: 4822. <https://doi.org/10.3390/molecules27154822>
365. Agócs, A., Deli, J., Márk, L., ifj. Gallyas, F.: Szemelvények a PTE ÁOK Biokémiai és Orvosi Kémiai Intézetében folyó tudományos kutatásokról. *Magy. Kém. Foly.* **2022**, *128*, 86-91. <https://doi.org/10.24100/MKF.2022.02.86>
366. Pap, R., Pandur, E., Jánosa, G., Sipos, K., Nagy, T., Agócs, A., Deli, J.: Lutein decreases inflammation and oxidative stress and prevents iron accumulation and lipid peroxidation at glutamate-induced neurotoxicity *Antioxidants* **2022**, *11*, paper: 2269. <https://doi.org/10.3390/antiox11112269>
367. Nagy, V., Agócs, A., Balázs, V.L., Purger, D., Filep, R., Sándor, V., Turcsi, E., Gulyás-Fekete, G., Deli, J.: Lutein isomers: preparation, separation, structure elucidation and occurrence in twenty medicinal plants. *Molecules* **2023**, *28*, paper: 1187. <https://doi.org/10.3390/molecules28031187>
368. Pap, R., Pandur, E., Jánosa, G., Sipos, K., Fritz, F.R., Nagy, T., Agócs, A., Deli, J.: Protective effects of 3'-epilutein and 3'-oxolutein against glutamate-induced neuronal damage. *Int. J. Mol. Sci.* **2023**, *24*, paper: 12008. <https://doi.org/10.3390/ijms241512008>
369. Gulyás-Fekete, G., Nagy, V., Zubay, P., Szabó, K., Balázs, V.L., Sándor, V., Agócs, A., Deli, J.: Carotenoid composition of *Calendula officinalis* flowers with the identification of the configuration of 5,8-epoxy-carotenoids. *ACS Agric. Sci. & Technol.* **2023**, *3*, 1092-1102. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00367>
370. Varga, E., Balázs, V.L., Sándor, V., Agócs, A., Nagy, V., Király, S.B., Kurtán, T., Molnár, P., Deli, J.: Carotenoid composition of *Telekia speciosa*. *Plants-Basel* **2023**, *12*, paper: 4116. <https://doi.org/10.3390/plants12244116>
3. Palmer, L. S.: Carotenoids and Related Pigments: the Chromolipids. Am. Chem. Soc. Monograph Series, Chemical Catalog Co., New York, 1922.
4. Kuhn, R., Winterstein, A., Lederer, E.: Zur Kenntnis der Xanthophylle. *Biological Chemistry* **1931**, *197*, 141-160. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1931.197.1-4.14>
5. Kuhn, R., Brockmann, H: Bestimmung von Carotinoiden. *Biological Chemistry* **1932**, *206*, 41-64. <https://doi.org/10.1515/bchm2.1932.206.1-3.4>
6. Entschel, R., Eugster, C.H., Karrer, P.: Über die Anwendung des modifizierten Chromsäure-Abbaus zur Konstitutionsaufklärung eines Carotinoidfarbstoffs (Capsanthin) *Helv. Chim. Acta* **1956**, *39*, 1263-1269. <https://doi.org/10.1002/hlca.19560390514>
7. Entschel, R., Karrer, P.: Zur Konstitution des Capsanthins und Capsorubins *Helv. Chim. Acta* **1960**, *43*, 89-94. <https://doi.org/10.1002/hlca.19600430112>
8. Barber, M. S., Jackman, L. M., Warren, C. K., Weedon, B. C. L.: The structures of the paprika ketones. *Proc. Chem. Soc.* **1960**, 19-20.
9. Faigle, H., Karrer, P.: Konstitution und Konfiguration von Capsanthin und Capsorubin *Helv. Chim. Acta* **1961**, *44*, 1257-1261. <https://doi.org/10.1002/hlca.19610440510>
10. Faigle, H., Karrer, P.: Die Konfiguration des natürlichen (+)-Capsanthins und des natürlichen Capsorubins *Helv. Chim. Acta* **1961**, *44*, 1904-1907. <https://doi.org/10.1002/hlca.19610440710>
11. Ueda, I., Nowacki, W.: The crystal structure of capsanthin bis(p-bromobenzoate) *Z. Kristallographie* **1974**, *140*, 190-217. <https://doi.org/10.1524/zkri-1974-3-406>
12. Bowden, R. D., Cooper, R. D. G., Harris, C. J., Moss, G. P., Weedon, B. C. L., Jackman, L. M.: Carotenoids and related compounds. Part 37. Stereochemistry and synthesis of capsorubin. *J. Chem. Soc. Perkin Trans 1.* **1983**, 1465-1474. <https://doi.org/10.1039/P19830001465>
13. Rüttimann, A., Englert, G., Mayer, H., Moss, G. P., Weedon, B. C. L.: Synthese von optisch aktiven, natürlichen Carotinoiden und strukturell verwandten Naturprodukten. X. Synthese von (3R,3'S,5'R)-Capsanthin, (3S,5R,3'S,5'R)-Capsorubin, (3'S,5'R)-Kryptocapsin und einigen verwandten Verbindungen. Ein neuer Zugang zu optisch aktiven Fünfring-Carotinoidbausteinen durch Hydroborierung *Helv. Chim. Acta* **1983**, *66*, 1939-1960. <https://doi.org/10.1002/hlca.19830660706>
14. Davies, B. H., Matthews, S., Kirk, J. T. O.: The nature and biosynthesis of the carotenoids of different colour varieties of *capsicum annuum*. *Phytochemistry* **1970**, *9*, 797-805. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)85183-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)85183-3)
15. Matsuno, T., Tani, Y., Maoka, T., Matsuo, K., Komori, T.: Isolation and structural elucidation of cucurbitaxanthin a and b from pumpkin *cucurbita maxima*. *Phytochemistry* **1986**, *25*, 2837-2840. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83753-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83753-X)
16. Eugster, C. H.: Carotenoid structures, old and new problems. *Pure Appl. Chem.* **1985**, *57*, 639-64. <https://doi.org/10.1351/pac198557050639>
17. Neamtu, G., Salajan, G., Bilas, C., László, T., Simpson, K. I.: Researches on the utilization of carotenoid pigments. The effect of carotenoid pigments of the pollen and floral buds of *Aesculus hippocastanum* on the pigmentation of egg yolks. *Rev. Roum. Biochim.* **1976**, *13*, 209-217.

Hivatkozások

1. Karrer, P., Helfenstein, A., Wehrli, H.: Pflanzenfarbstoffe XXV. Über die Konstitution des Lycopins und Carotins". *Helv. Chim. Acta* **1930**, *13*, 1084-1099. <https://doi.org/10.1002/hlca.19300130532>
2. Karrer, P., Rüegger, A., Solmssen, V.: β -Citaurin, ein Abbauprodukt des Zeaxanthins *Helv. Chim. Acta* **1938**, *21*, 448-451. <https://doi.org/10.1002/hlca.19380210163>

The first 100 years of the carotenoid chemistry research group in Pécs 1923-2023

In October 2023, we celebrated the 100th anniversary of the foundation of the Institute of Biochemistry and Medical Chemistry of the University of Pécs and the Research Group for Carotenoids within it. In October 1922 László Zechmeister was appointed full professor in the Department of Chemistry at the Erzsébet University which had moved from Bratislava to Pécs. Teaching and research at the university began in the autumn of 1923, and this is also the date when the Institute of Chemistry and the Research Group for Carotenoids were established.

László Zechmeister's research has always been close to the chemistry of natural materials. He probably brought his knowledge of carotenoids with him from the Wilstätter School.

In addition to Richard Kuhn (Heidelberg) and Paul Karrer (Zurich), László Zechmeister was the third researcher who set the aim to determine the structure of the already known carotenoids carotene, xanthophyll and other carotenoids, and to isolate and study additional lipochromes (fat-soluble dyes). It is not known exactly when research on carotenoids began in Pécs, but the first publication appeared in the October 1926 issue of the Magyar Kémiai Folyóirat.

Zechmeister together with László Cholnoky (who joined the institute in 1924) began to investigate the colour of red peppers. They entered the international arena with an article submitted to Justus Liebig's *Annalen der Chemie* in February 1927, in the first part of a 12-part series on the isolation of capsanthin [3], and in the second part on the presence of carotene in red peppers [4].

At that time, the structure of carotenoids had not been resolved. In order to elucidate the structure, the group, together with Vera Vrabély and Paul Tuzson, used the catalytic hydrogenation method for carotene, capsanthin and xanthophyll [6-15,40]. Zechmeister's recognition of the polyene structure of carotenoid helped Paul Karrer¹ to establish the correct structural formula for carotene and lycopene in 1930.

Zechmeister and Cholnoky have carried out a number of analysis on berries and other fruits. Lycopene has been isolated from the berries of *Lycium halimifolium* [16,19], *Tamus communis* [17,19] and *Solanum dulcamara* [18,19]. Lycopene and carotene have been crystallized from watermelon [20,22]. Lutein was isolated from the petals of sunflower (*Helianthus annuus*) and was found to be identical to lutein isolated from eggs [21,50,55]. The isolation of physalienes has highlighted the presence of oxygenated carotenoids in nature in the form of fatty acid esters [25,39].

Violaxanthin, cryptoxanthin, β -citaurin have been isolated from orange peel [31,77]. The carotenoid composition of pumpkin flesh [51] and ornamental pumpkin flower [65,73] has also been investigated. Lycopene has been detected in marigolds [36,37]. Violaxanthin, lutein, zeaxanthin, cryptoxanthin have been found in mandarins [41,54,81]. Mono- and dihydroxy derivatives of lycopene [33], lycoxanthin and lycophyll have been isolated from tomatoes [57,66,72,86].

Later, Zechmeister and Cholnoky, using Tswett's column chromatography, found another red compound, capsorubin [47]. In addition, cryptoxanthin and zeaxanthin were separated [47,48]. Zechmeister and Cholnoky attempted to determine the structure of capsanthin and capsorubin. They suggested that the ten unsaturated bonds in capsanthin, as detected by microhydrogenation, were conjugated [7,9,56]. It seemed reasonable to include a carbonyl group in the chromophore, although this was not detected by any oxo reagent. It has been assumed that, due to the hindrance of the carbonyl group, it does not react with oxo-reagents.

The alkaline treatment induced retro-aldol condensation of capsanthin yielded β -citaurin (Figure 5), which had been isolated from orange peel by Zechmeister and Tuzson [85] a year earlier. The formation of β -citaurin from capsanthin meant that the structure of capsanthin between the C(1) - C(9') atoms was identical to that of zeaxanthin. Karrer² also obtained β -citaurin by oxidation of zeaxanthin (Figure 5), thus providing direct evidence that capsanthin is identical to zeaxanthin up to the C(9') atom.

Zechmeister published his book „*Carotinoide*” in 1934. In the preface of this book he wrote: “It would be an understatement to say that carotenoids are just a special class of natural colorants and put them into a system. On the one hand, the peculiar structure poses new tasks to the organic chemist and on the other hand, the vast distribution of these polyene pigments in a large number of different organisms gives a strong indication that these compounds are essential for life”.

It is difficult to determine the exact time when Zechmeister started using the column chromatography technique, but he certainly played a major role in the expansion of its use from the 1930s and onwards. Already in 1934 in his book *Carotinoide* [45], Zechmeister dealt with in detail with the principles and applications of chromatography. In 1937 Zechmeister and Cholnoky published the book *Die Chromatographische Adsorptionsmethode*, which was the very first handbook on chromatography [82]. This was the right book published by the right people at the right time, and it became an instant bestseller. It was such a success that within one year a second, greatly extended edition was published” [88].

Zechmeister soon recognized the relationship of carotenoids with other natural compounds and the biological significance of carotenoids [46,49]. From the early 1930s Zechmeister, mainly with Pál Tuzson, investigated lipochromes of animal and human origin, as well. Overall, carotenoids in cow, horse [52,53], chicken fat [52], pig liver [80], water frog liver and skin [78], human fat [58,59,64] and human liver [61] have been investigated. Zechmeister also reported on the study of animal and human carotenoids in 1936 in a longer book chapter entitled *Lipochrom und Vitamin A* [69].

Zechmeister, Tuzson, Polgár and Cholnoky have been working on the isomerisation of carotenoids since the second half of the 1930s. It was shown that isomerisation starts immediately after the dissolution of crystalline carotenoids at room temperature, albeit to a small extent, and is significantly accelerated by heating, boiling of solutions, light and the presence of catalysts. A methodology for iodine-catalysed isomerisation [91] has also been developed.

In 1940 László Zechmeister left Hungary to America. After his departure László Cholnoky took over the leadership of the group and from 1948 the institute.

Cholnoky studied the dyes of fresh yellow and red tomato shaped peppers and proposed their biosynthesis. By his opinion, epoxidation of zeaxanthin leads to the formation of anteraxanthin and violaxanthin, respectively, which are ring-opened to form capsanthin and capsorubin [102,103]. Based on these works, Cholnoky proposed a revision of the hitherto accepted structure of capsanthin and capsorubin. Cholnoky and his co-workers determined the structure of capsanthin and capsorubin in 1960 [115,116] at the same time as Paul Karrer (Zürich) and Basil C. L. Weedon (London). These compounds possessed an interesting new feature among carotenoids, since instead of a trimethyl-cyclohexan ring they contain a trimethyl-cyclopentan ring. However, in the structure determination Karrer^{6,7} and Weedon⁸ enjoyed priority, as they already had IR equipment at their disposal.

In collaboration with Weedon's research group they have also isolated and elucidated the structure a new κ -carotenoid, cryptocapsin [118]. This was the beginning of a decade-long working relationship between the two groups. The London group's instrumentation (NMR, MS, ORD) was a great help in determining the structures. One of the first results of this work was the elucidation of the structure of foliixanthin [124] and the demonstration of its identity with neoxanthin [126,131]. With the London group, carotenoid 5,6- and 5,8-epoxides as well as carotenoid ketones were also investigated by mass spectrometry [123,130] and their fragmentation was also cleared. Their most significant joint result was published in the Journal of Chemical Society C in 1969 [132]. In this publication, they reported the analysis of about 40 carotenoid ORDs and established the theory of end-group additivity, which was used to predict the ORD spectra of several carotenoids.

After the sudden death of Cholnoky, József Szabolcs became the head of the carotenoid research group and much later also head of the department.

By the early 1970s, following Zechmeister's lead, the main focus of research was the *cis-trans* isomerization of carotenoids and the elucidation of the structure of carotenoid 5,6-epoxides and their occurrence in nature.

Continuing the collaboration with the London research group, it was clarified that naturally occurring 3-hydroxy-5,6-epoxy-carotenoids are always of 3*S*,5*R*,6*S* configuration, while 3*S*,5*S*,6*R* (*anti*) isomers can be synthesized alongside 3*S*,5*R*,6*S* (*syn*) isomers [143]. The absolute configuration of the epoxide end of fucoxanthin has been determined [151] and its 9-, 13- and 13'-*cis*-isomers have been prepared [146].

In the middle of 1970s research began to focus on the presence of *cis*-carotenoids in nature and the kinetics of *cis-trans* isomerisation. This work was mainly carried out by Péter Molnár. The geometric isomers of carotenoids (zeaxanthin, capsorubin, lutein, capsanthin) produced by thermal and iodine-catalysed photoisomerisation were investigated using modern structural methods [149,152,161].

9-*cis*-Anteraxanthin [155,163] and 9-*cis*-lutein 5,6-epoxide [163,186] have been isolated from natural sources and it has been shown that only the 9-*cis*-isomer of the asymmetric mono-epoxides occurs naturally, not the 9'-*cis*-isomer. The central *cis*-isomer of violaxanthin has been isolated from yellow pansy (*Viola tricolor*) [158] and shown to be natural [169]. Four di-*cis*-isomers of violaxanthin (9*Z*,9'*Z*, 9*Z*,13'*Z*, 9*Z*,15*Z*, and 9*Z*,13*Z*) have also been isolated from yellow pansy [176,179].

The kinetic study of the *cis-trans* (*Z-E*) isomerization of carotenoids was also initiated in the 1970s. The preliminary results were reported by József Szabolcs in a plenary lecture at the 4th International Symposium on Carotenoids held in Bern in 1975 [152]. However, the publication of detailed results on the kinetics of iodine-catalysed photoisomerisation [195,205] and thermal isomerisation [195,214] was only published in the 1990s.

Under the leadership of Gyula Tóth, a joint work was started in the early 1980s at the POTE I. Internal Medicine, with the research group led by Gyula Mózsik. The main focus was on the effects of carotenoids, in particular β -carotene and vitamin A, on the gastric mucosa in gastric ulcers [165,167]. The collaboration continued in the 1990s, although with less intensity [199,200,202,207,218, 253,254].

Since the middle 1970s, the HPLC method has also played an increasing role in carotenoid analysis. Using this method 15 peaks were detected in red pepper extract, 5 of which were unknown.

These were isolated by column chromatography, two of them were carotenoid 3,6-epoxide and one was a 3,5,6-trihydroxy compound [178].

In the second half of the 1980s, after I joined the group, we developed a gradient system that could cover the entire polarity range of carotenoids in about 45 minutes and achieve a finer resolution than before. Using this method we were able to analyse first yellow [198] and red [241] tomato shaped peppers and later several other types of peppers [203, 210,215, 245].

József Szabolcs retired unexpectedly in 1990 and left the Institute. Gyula Tóth took over the leadership of the Institute and the research group.

Continuing the work on carotenoids in paprika, we have isolated or semi-synthesized about 40 carotenoids based on the earlier paprika analysis and performed structure and configuration determination by NMR, CD spectroscopy and mass spectrometry. The newly isolated carotenoids contained 3,6-epoxy- β - [197,211], 3,5,6-trihydroxy- β - [219], and 6-hydroxy- γ -end [208,238] groups. The 3,5,6-trihydroxy compounds were also synthesized by acid-catalyzed ring opening of carotenoid 5,6-epoxides and the reaction mechanism was proposed [220,224] (Figure 17). It was confirmed that an enzyme-catalyzed reaction occurs in pepper and the mechanism of this reaction was proposed (Figure 18) [236, 241,263]. We searched a number of capsanthin-containing flowers (*Lilium tigrinum* [221,229] *Aesculus hippocastanum* [223,230]) and buds (*Asparagus officinalis* [233], *Asparagus falcatulus* [234,244]), in the hope of finding a 3,6-epoxy or 3,5,6-trihydroxy compound.

The isomerisation studies continued under the leadership of Péter Molnár. We prepared the main mono-*cis*-isomers of cyclo-violaxanthin [212], cucurbitaxanthin A [232], 5,6-diepikarpoxanthin [258], and semisynthetic violaxanthins [269]. The phytochemical significance of several previously isolated *cis*-carotenoids has been investigated in collaboration with foreign researchers [225,226, 250,251,257].

We investigated the transformations of lutein in acidic medium, resulting in the isolation of 3'-epilutein, and anhydrolutein I and II. [270,272-274,286,287,289].

In those years, the instrumental analysis of our materials was carried out at the Department of Organic Chemistry at the University of Bern, with the help of Professor Hanspeter Pfander.

We contacted the researchers of the Department of Molecular Pharmacology of the Hungarian Academy of Sciences, Miklós Simonyi and Ferenc Zsila, in connection with the CD study of the reduction products of capsanthin and capsanthone [239,249]. The collaboration later was extended to the study of the supramolecular organisation of carotenoids ("self-assembly" phenomenon) [240,242,243,247,259, 267].

I took over the leadership of the research team in autumn 2004. We have been working in three main areas : 1. isolation of carotenoids of known structure, mainly for biological and physico-chemical studies in collaboration research; 2. analytical studies, determination of carotenoid composition, isolation of new carotenoids; 3. semisynthetic transformations of natural carotenoids to produce potentially bioactive derivatives, conjugates and their biological investigation.

In the first area Péter Molnár was mainly active. In the field of physicochemical studies a fruitful relationship was established with Professor Lowell D. Kispert (The University of Alabama) mainly in the study of carotenoid radicals [293,302,316,332,335].

Prof. Hideki Hashimoto (University of Osaka) has studied the optical absorption spectra of carotenoids [349,351] for the materials isolated by us.

Biological studies have mainly focused on the relationship between carotenoids, terpenes and multidrug resistance thanks to Professor József Molnár of Szeged and Japanese researchers [268,275,284, 285,297,312,321].

In collaboration with the Institute of Pharmacology and Pharmacotherapy of the University of Pécs the effects of lutein on ion channel inhibition [320], on neurogenic inflammatory processes [341] and on primary sensory neurons and macrophages [358] were investigated. In recent years, a promising relationship has been established with the Institute of Pharmaceutical Biology at the PTE GYTK to investigate the glutamate-induced anti-inflammatory and oxidative stress reducing effects of lutein [359,366] and lutein derivatives (3'-epilutein, 3'-oxolutein) [368].

The isolation and analysis of carotenoids required a rethinking of previous methods. A new column chromatography adsorbent [300] and method were developed [343]. The separation of carotenoids on C18 and C30 HPLC stationary phases was compared.

In 2009 we contacted a professor at the University of Panama, Enrique Murillo, who asked for our help to identify κ -end group carotenoids in tropical plants. The red-fleshed mamey (*Pouteria sapota*) contained large amounts of carotenoids whose κ -end group does not contain a hydroxyl group and which were previously unknown [344]. Based on HPLC analysis, the major carotenoid in mamey, in addition to cryptocapsin (also present in small amounts in red pepper), is sapotexanthin, which was isolated in a crystalline state [313]. Subsequently, cryptocapsin 5,6-epoxide, 3'-deoxycapsanthin 5,6-epoxide [328], 3'-deoxycapsanthin [342] and sapotexanthin 5,6-epoxide were isolated. To confirm the structure of cryptocapsin 5,6-epoxide and sapotexanthin 5,6-epoxide, we also prepared semi-synthetic products by epoxidation of cryptocapsin [328] and sapotexanthin [355], respectively. During epoxidation, two epoxide isomers, 5*R*,6*S* and 5*S*,6*R*, are always formed (Figure 13.). If the cyclohexane ring does not contain a hydroxyl group, the products cannot be separated by column chromatography. In both cases, the diastereomers were separated on a chiral phase using HPLC-ECD technique and their configuration was determined in cooperation with Tibor Kurtán (University of Debrecen) (Figure 21). Deoxy derivatives of capsorubin, 3'-deoxycapsorubin and 3,3'-dideoxy-capsorubin, have also been isolated [326]. Neoxanthin, (9*Z*)-neoxanthin and capsoneoxanthin containing an allenic end group, were also isolated from mamey and first reported as complete ¹H and ¹³C-NMR [346]. We found two plant sources, the fruit of jipi-japa (*Carludovica palmata*) and

the leaf of zamia palm (*Zamia dressleri*) [357], in which the main component is capsorubin. Our work contributed to the elucidation of the biosynthesis of κ -end group carotenoids.

In collaboration with the Institute of Plant Sciences of the University of Debrecen we investigated the carotenoid composition of three algal species (*Dunaliella salina*, *Euglena sanguinea* and a *Nostoc* strain) native to Hungary using HPLC-DAD-MS [337]. We also investigated the carotenoid composition of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. The major component was identified as 2-hydroxy-(3*R*,2'*S*)-mixol-2'- α -L-fucoside [347].

Although it has been addressed previously [248,264,266, 310], in recent years we have begun to systematically investigate the carotenoid composition of medicinal plants. Carotenoid analysis of about 50 flowers have been performed [360,367,369,370].

The third research area of the research group is derivatization of carotenoids. Carotenoids are essentially hydrophobic antioxidants. This realization has led us to make carotenoid derivatives with increased water solubility. We have developed a simple method for the synthesis of polyethylene glycol (PEG)-carotenoid conjugates by ester formation [295,313]. Carotenoid thioglycosides were synthesized, as well, by a new method using carotenoid dications [307], and glycosylation of carotenoid alcohols was successfully performed [336]. Our research group used the alkyne azide click-reaction on carotenoid derivatives for the first time, it has been used for the synthesis of several groups of compounds [322,345]. In addition we synthesized carotenoid conjugates with various bioactive compounds such as vitamin C, melatonin, curcumin, and flavonoid [354,364]. In the last years, we started the *in vitro* antioxidant study of the synthesized compounds by ABTS and FRAP methods, as well as the anti-inflammatory and ROS-reducing effect in cell culture [365].

While the famous carotenoid chemistry groups in Europe (Heidelberg, Zurich, London, Bern, Liverpool, Trondheim) have ceased to exist after the retirement of their leaders, the Pécs group has been operating continuously for 100 years, thanks to the knowledge accumulated and passed on by successive generations, combining classical and modern research methods. The group possesses the technical knowledge (isolation, separation, crystallisation, ampoule preparation) necessary for carotenoid research, which is hardly known and applied in the world, or only in very few places. As a result, although the group has experienced several ups and downs in its 100 years of existence, it has always managed to renew itself and to re-establish itself in the national and international scientific scene.