

# Animal welfare, etológia és tartástechnológia



## Animal welfare, ethology and housing systems

Volume 5

Issue 4

Különszám

Gödöllő  
2009



## FELSZÍVÓDÁS SORÁN TAPASZTALHATÓ KAROTINOID KÖLCSÖNHATÁSOK TOJÓTYÚKOKBAN

*Kerti Annamária, Gregosits Balázs, Szabó Csaba, Bárdos László*

Szent István Egyetem, Állattudományi Alapok Intézet, Állatélettani és Állat-egészségtani Tanszék

[kerti.annamaria@mkk.szie.hu](mailto:kerti.annamaria@mkk.szie.hu)

### Összefoglalás

A karotinoid felszívódás és metabolizmus mechanizmusáról, különösen madarakban hiányosak az ismereteink. Az eddig végzett karotinoid anyagforgalmi vizsgálatok többségében csak a  $\beta$ -karotin hatásait tanulmányozták, ugyanakkor bizonyítottan egyéb, nem provitamin aktivitású karotinoidok (likopin, lutein) is jelentős szerepet játszanak a különböző biológiai folyamatokban. A felszívódás során, pl. a kötőhelyekért folytatott versenyben az egyes karotinoidok között változatos kölcsönhatások alakulhatnak ki.

Kísérletünkben 20 ppm (Lutein CWS/S-TG 5,6%;  $\beta$ -karotin 10,4%; Redivivo likopin 5,2%);  $\Sigma$  20 ppm (6,6 ppm lutein + 6,6 ppm  $\beta$ -karotin + 6,6 ppm likopin); és 3 x 20 ppm (20 ppm lutein + 20 ppm  $\beta$ -karotin + 20 ppm likopin) karotinoid adagolást követően vizsgáltuk a karotinoidok felszívódását felnőtt tojóttyúkokban (*Bovans Nera* n=8). Az egyszeri karotinoid kiegészítést követően 6 óránként (0-48h) egyedi vérvételre került sor. A mintákból rpHPLC technikával karotinoid (lutein+zeaxantin, kriptoxantin, likopin,  $\beta$ -karotin) és retinoid (retinol, retinil-palmitát) profil meghatározást végeztünk.

Mindhárom vizsgált karotinoid esetében, mind egyedileg, mind keverékként történő adagolást követően az adott karotinoid szignifikáns mértékű megemelkedését tapasztaltuk a kezdeti időponthoz viszonyítva. Az adagolt karotinoid koncentráció vérbeli csúcspontja a kiegészítést követő 6-12. órában jelentkezett, majd maximális értéket elérve további utánpótlás hiányában fokozatosan visszatért az alapértékre. A provitamin aktivitásnak tulajdoníthatóan növekedést tapasztaltunk a vérminták retinil-palmitát koncentrációiban, ami a metabolizmus, felhasználás és depozíció hatására a vizsgált időintervallumot követően ugyancsak visszaállt a kiindulási szintre. A karotinoidokat együttesen adagolva, a kisebb dózis mindhárom karotinoid esetében nagyobb koncentrációemelkedést eredményezett, míg a kombinált adagolásakor azt tapasztaltuk, hogy a karotinoidok között kialakuló kompetíció következtében feltehetően a kötőhelyek pillanatnyi telítődése következhetett be, és az apoláros karotinoid rontotta az oxikarotinoidok hasznosulását.

**Kulcsszavak:** karotinoid, felszívódás, interakció, baromfi, HPLC



## Interactions between the carotenoids during absorption in laying hens

### Abstract

About the mechanism of absorption and metabolism of carotenoids, especially in poultry our knowledge is imperfect. The majority of carotenoid metabolism studies have been done only with  $\beta$ -carotene, but there is evidence that other not provitamin A carotenoids also perform substantial functions in various biological processes. Between individual carotenoids various interactions are developed during absorption.

In our experiment after 20ppm (Lutein CWS/S-TG 5.6%;  $\beta$ -carotene 10.4%; Redivivo lycopene 5.2%);  $\Sigma$ 20ppm (6.6ppm lutein + 6.6ppm  $\beta$ -carotene + 6.6ppm lycopene); and 3x20ppm (20ppm lutein + 20ppm  $\beta$ -carotene + 20ppm lycopene) carotenoid administration we investigated the absorption of carotenoids in laying hens (*Bovans Nera* No=8). After single carotenoid doses blood was collected at 6 hourly intervals for up to 48 hr post-dosing. The plasma was analyzed with rpHPLC for the carotenoid (lutein+zeaxanthin, cryptoxanthin, lycopene,  $\beta$ -carotene) and retinoid (retinol, retinyl palmitate) responses.

In cases of all investigated carotenoids the concentration of the added carotenoid in plasma was significantly increased compared to the initial value. The response curves for respective carotenoids occurred maximally over the 6-12 hours after postprandially, thereafter in absence of additional supplies gradually returned to the baseline. Due to their provitamin activity we observed significant increases in retinyl palmitate concentrations which returned to the basal level (metabolism, utilization and deposition). Applying the carotenoids combined the smaller dose resulted greater increase in the plasma concentrations in case of all three carotenoids. While at larger doses we observed that competition might be occurred between carotenoids, and the nonpolar carotenoid worsened the utilization of the oxycarotenoids.

**Key words:** carotenoid, absorption, interaction, poultry, HPLC

### Irodalmi áttekintés

Összehasonlítva a retinoidokkal a karotinoidok felszívódásának és metabolizmusának mechanizmusáról keveset tudunk, különösen madarak esetében. Az anyagforgalmi vizsgálatok döntő többsége a provitamin hatású  $\beta$ -karotinnal végzett kísérleteken alapul. További vizsgálatokra van szükséges egyéb karotinoidokkal, mint pl. likopinnal és az oxikarotinoidok közé tartozó luteinnel és



zeaxantinnal, amely karotinoidok ugyan nem provitaminok, de szintén jelentős szerepet játszanak a különböző biológiai folyamatokban.

A karotinoidok a növényekben és egyes mikroorganizmusokban, néhány baktériumban, algákban és gombákban szintetizálódnak. Az állati szervezetek nem képesek a karotinoidok *de novo* szintézisére, teljes mértékben a táplálék karotinoid tartalmára vannak utalva. Abban az esetben, ha a karotinoid bejutott az állatok szervezetébe, ott metabolizálódik. A természetes forrásokból eddig izolált több mint 600 karotinoidból kb. 20 mutatható ki a vér- és szövetmintákban, amelyek közül a  $\beta$ -karotin, az  $\alpha$ -karotin, a likopin, a lutein és a  $\beta$ -kriptoxantin a legjelentősebbek (*During és Harrison, 2004*).

A madarakban van a felvett karotinoidok hasznosítására alkalmas enzimrendszer, így pl. az elfogyasztott  $\beta$ -karotint A-vitaminná metabolizálják. Ugyanakkor képesek specifikus szövetekben (pl.: bőr, tollazat, tojás, szik) raktározni is a szervezetükbe bejutott karotinoidokat, részben változatlan (pl. lutein), részben módosított formában (kantaxantin, asztaxantin) (*Brush, 1990; Goodwin, 1986; Raila és mtsai, 2002*).

Az egyes karotinoidok anyagforgalma eltérő, ami leginkább a lipoproteinek között történő megoszlásukban figyelhető meg. Az intakt karotinoidok a portomikronokba épülnek, amelyek segítségével jutnak a májba. A vérplazmában megjelenő karotinoidok kezdetben a VLDL-ekben és a portomikron frakcióban szállítódnak, míg a felszívódást követő 24-48 óra elteltével egyéb lipoproteinekben (LDL és HDL) növekszik meg a mennyiségük. A karotinoidok legnagyobb mértékben az LDL-ekben találhatóak, mivel az apoláros karakterűek ( $\alpha$ -,  $\beta$ -karotin és likopin) fő szállítója az LDL és a VLDL, a xantofilok (a sokkal polárosabb lutein, zeaxantin és  $\beta$ -kriptoxantin) körülbelül azonos arányban oszlanak meg a HDL és az LDL között (*Faulks és Southon, 2005; Fraser és Bramley, 2004; Furr és Clark, 1997; Paetau és mtsai, 1997; Stahl és Sies, 1996*).

Feltehető, hogy az egyes karotinoidok között a felszívódás során, pl. a micellákba történő bekerülés érdekében zajló versengésben, a kötőhelyekért folytatott versenyben, az étkezést követő lipoproteinek közötti karotinoid kicserélődésben, valamint a provitamin karotinoidok hasadásának gátlásában változatos kölcsönhatások alakulhatnak ki. A karotinoidok közötti interakciók kialakulása elsősorban az apoláros jellegűek (karotének) és a xantofilok között jellemző, pl. a kantaxantin gátolja a likopin felvételt, a  $\beta$ -karotin antagonizál a luteinnel és a kantaxantinnal, míg a likopin fokozza a  $\beta$ -karotin felszívódásának arányát (*Böhm és Bitsch, 1999; Kostic és mtsai, 1995; White és mtsai, 1994*).

A plazma és a szövetek karotinoid koncentrációit gyakran a felszívódás indexeként alkalmazzák. A vérszérum karotinoid koncentrációi a bélbeli felszívódástól függenek, valamint a szövetek karotinoid felvételének és leadásának a függvényében alakulnak, de kétségtelenül elsődlegesen a táplálék karotinoid bevitelét tükrözik. Napjainkig csak néhány tanulmány határozta meg közvetlenül a bélben tapasztalható karotinoid felszívódás mértékét madarakban. Ezért vizsgálatunkban különböző karotinoid ( $\beta$ -karotin,



likopin és lutein) kiegészítések hatásait tanulmányoztuk a plazmabeli koncentráció-változást analizálva tojótyúkokban.

## Anyag és módszer

A vizsgálatot annak érdekében terveztük, hogy részletes információt nyerjünk 48 órás mintavételi időtartamot és eltérő nagyságú adagokat alkalmazva különböző karotinoidok egyszeri dózisait követően felnőtt tojótyúkokban (*Bovans Nera* n=8/kezelés). A kiegészítések mértékét irodalmi adatokra támaszkodva a tojótyúkok átlagos napi takarmányfelvétele alapján számítottuk ki.

Kísérletünkben 20 ppm (357 mg Lutein CWS/S-TG 5,6%; 192,3 mg  $\beta$ -karotin 10,4%; 384,6 mg Redivivo likopin 5,2%);  $\Sigma$  20 ppm (6,6 ppm lutein + 6,6 ppm  $\beta$ -karotin + 6,6 ppm likopin); illetve  $\Sigma$  3 x 20 ppm (20 ppm lutein + 20 ppm  $\beta$ -karotin + 20 ppm likopin) karotinoid adagolást követően vizsgáltuk a karotinoidok felszívódását. A vízben oldódó karotinoid preparátumokat (DSM Nutritional Products) napraforgó olajjal kevertük össze. Az így nyert szuszpenziókat szondával jutattuk az állatok begyébe. Az adagolást követően az állatokat *ad libitum* takarmányoztuk és itattuk.

Az egyszeri önálló, illetve kombinált karotinoid kiegészítést követően sorozatos egyedi vérvételre került sor, kezdve a kiegészítést megelőző időponttal (azaz az adagolásakor), majd ezután 6 óránként a 48. óráig. A szérumból reverz fázisú HPLC technikát alkalmazva karotinoid (lutein+zeaxantin, kriptoxantin, likopin,  $\beta$ -karotin) és retinoid (retinol, retinil-palmitát) profil meghatározást végeztünk (Kerti és Bárdos, 2006).

## Eredmények és értékelés

Mindhárom általunk vizsgált karotinoid (lutein,  $\beta$ -karotin, likopin) esetében, mind a kétféle adagolást követően az adott karotinoid koncentrációjának szignifikáns mértékű megemelkedését tapasztaltuk a kezdeti időponthoz viszonyítva. Az alkalmazott karotinoidok vízben oldódó granulátumok voltak. A napraforgó olajban történő bejuttatást azért választottuk, hogy a természetes felszívódási körülményekhez közelítsük az elrendezésünket. Az adott karotinoid koncentráció emelkedésének változó mértéke valószínűleg a molekulák eltérő szerkezetéből (polaritásából, azaz oldékonyságából) a portomikronba történő beépülés arányával függ össze. A mintavételi időpontokból következően vizsgálatainkban minden tanulmányozott karotinoid plazmában történő megjelenése egyfázisú volt. Az adagolt karotinoid koncentráció vérbeli csúcspontja a kiegészítést követő 6. ( $\beta$ -karotin és likopin), illetve a 12. (lutein) órában jelentkezett, majd maximális értéket elérve karotinoid adagolás hiányában fokozatosan visszatért az alapértékre.



Humán vizsgálatokban a  $\beta$ -karotin megjelenése a plazmában egyszeri szájon át adagolt dózist követően kétfázisú volt, egy kisebb maximummal 5 óra elteltével, amit egy ismételt csúcsérték követett 24-48 óra múlva. A plazma koncentrációk korai csúcspontja az adagolást követő 5-6 óra elteltével a  $\beta$ -karotin kilomikronokban és VLDL-ben való gyors akkumulálódásával van összhangban. A nagyobb csúcs a kiegészítést követő 24-48 óra elteltével az LDL frakcióval kapcsolatos és jellegzetes a máj általi VLDL szekrécióval és az ezt követő lipoprotein lipáz általi LDL-lé történő átalakulással kapcsolatban (Paetau és mtsai, 1997).

Kurilich és mtsai (2003) azt találták, hogy míg a plazma  $\beta$ -karotin csúcs az adagolást követő 8. órában jelentkezett, majd 24 óra múlva ismételten, a lutein a plazmában csak egyszer és későbbi időpontban (11 óra múlva) ért el csúcsértéket. A kettős csúcs karakterisztikus a  $\beta$ -karotin esetében és a  $\beta$ -karotinnak a lipoprotein frakciók közötti mozgásából következik (Burri és Clifford, 2004).

Egyéb fajokban közölt adatokhoz hasonlóan a többi vizsgált karotinoiddel azonos koncentrációban (20 ppm) adagolt likopin bejuttatásakor sokkal kisebb mértékű abszorpciót tapasztaltunk, mint a lutein, illetve a  $\beta$ -karotin esetében. A likopin plazmabeli megjelenésének nagyságrendje sokkal kisebb volt, az alapvonal körül ingadozott.

Nem mindegyik általunk vizsgált karotinoidnak van provitamin aktivitása. Amit az eredményeink is igazoltak, csak a  $\beta$ -karotin kiegészítést követte a szignifikáns mértékű retinoid növekedés. A plazma retinil-palmitát koncentrációk mind  $\beta$ -karotin, mind kombinált adagolás esetében változtak. A metabolikus felhasználás és depozíció hatására a vizsgált időintervallumot követően a szintek visszaálltak a kiinduláskori értékre.

A karotinoidokat együttesen adagolva, a kisebb kombinált dózis ( $\Sigma$  20 ppm: 6,6 ppm egyedileg) mindhárom karotinoid esetében nagyobb koncentráció-emelkedést eredményezett. A nagyobb kombinált adagolás ( $\Sigma$  60 ppm: 20 ppm egyedileg) esetében interakciót tapasztaltuk a plazma karotinoid koncentrációkban. A karotinoidok között kialakuló kompetíció következtében feltehetően a kötőhelyek és/vagy a szállító lipoprotein komplexek pillanatnyi telítődése következhetett be, és az apoláros karotinoid (likopin) jelenléte rontotta az oxikarotinoidok (lutein és zeaxantin) hasznosulását.

Minél kisebb a táplálék karotinoid koncentrációja, annál nagyobb a felszívódás aránya (Na és mtsai, 2004).

Számos tényező következtében, beleértve a karotinoidok eltérő metabolizmusát és clearance-nek arányát minden karotinoid látszólag más sémát követ. A karotinoidok polaritása meghatározza a felszívódás hatékonyságát, a micellákban történő oldódást, a felhalmozódását és kiürülését a bélcsatornából. A polárosabb oxikarotinoidok (xantofilok) általában hatékonyabban szívódnak fel és valószínűleg oldékonyságuk is sokkal jobb, mint az a karotének (szénhidrogén karotinoidok) esetében tapasztalható. Ezt alátámasztva számoltak be arról, hogy egyszeri adagok hatására a luteinre adott plazma



válaszreakció kétszer olyan nagy volt, mint  $\beta$ -karotin esetében. Karotinoid keverék (algából kivont természetes keverék: Betatene, Corgis) fogyasztását követően a kilomikronokban a lutein és a zeaxantin mennyisége megnövekedett a  $\beta$ -karotinnal szemben. *In vivo* a likopin  $\beta$ -karotinhoz és luteinhez viszonyítva sokkal kevésbé hatékonyan szállítódik a duodenum micelláris fázisához. Egyéb *in vitro* vizsgálatok (Caco-2 cell monolayers) és *in vivo* kísérletek (humán, állat) (Bierer és mtsai, 1995; Clark és mtsai, 1998; During és Harrison, 2005; Johnson és mtsai, 1997; O'Neill és Thurnham, 1998) egybehangzóan mutatják, hogy a likopin a többi karotinoidhoz viszonyítva rosszabbul szívódik fel (During és Harrison, 2004, 2005; Furr és Clark, 1997).

Berg és Vliet (1998) kísérleteinek eredményei szignifikáns mértékű csökkenést mutattak a  $\beta$ -karotin válaszreakcióban, amikor kombinált dózist (15 mg pálma olajos  $\beta$ -karotint 15 mg likopinnal, vagy luteinnel kombinálva) adagoltak, különösen akkor, amikor luteinnel együtt alkalmazták. A lutein gátló hatása szignifikáns  $\beta$ -karotin felszívódás csökkenést eredményezett, ami a retinil-palmitát értékekben is megnyilvánult.

Karotinoidok ( $\beta$ -karotin, kantaxantin, lutein, likopin,  $\alpha$ -karotin) egymáshoz viszonyított felszívódását, megjelenését a vérszérumban és lipoproteinben való szállítását egyszeri 20 mg dózist követően tanulmányozták borjakban. Azonos dózisokat összehasonlítva a legnagyobb (és legkorábbi) maximális szérumban karotinoid koncentráció értéket a lutein, kissé kisebb koncentrációt az  $\alpha$ -karotin és a  $\beta$ -karotin mutatott. A likopin érte el a legkisebb szintet. A szerzők szerint a polárosabb karotinoidok (xantofilok) közvetlenül szállítódnak a kilomikronokból a HDL-ekhez, ezáltal érthetővé téve, hogy miért korábbi és nagyobb a lutein plazmabéli koncentrációja az apoláros karoténekhez viszonyítva, és hogy miért ürülnek ki gyorsabban a poláros karotinoidok (Bierer és mtsai, 1995).

A különböző karotinoidok (poláros és apoláros) elhelyeződése a lipoproteineken, kilomikronokon belül befolyásolhatja eltérő szállításukat és kiürülésüket (O'Neill és Thurnham, 1998). Az apoláros karotinoidok a kilomikron részecskék belsejében halmozódnak fel, míg a polárosak inkább a felszínen találhatóak. Ez utóbbiak kevésbé oszlanak el a kilomikron belsejében található zsírokban és emiatt sokkal hajlamosabbak egyéb lipoprotein frakciókkal történő kicserélődésre. A micellákba történő relatív egyszerűbb beépüléséből következően pl. a lutein a  $\beta$ -karotinhoz viszonyítva sokkal könnyebben szívódik fel a zsírcseppekből (Berg és Vliet, 1998; Chung és mtsai, 2004).



## Következtetések és javaslatok

A bélcsatornában lévő karotinoid kötőfehérjéket még nem azonosítottak humán vagy egyéb emlős szervezetekben, meglétük feltételezhető, és így feltehetőleg részt vehetnek a karotinoidok facilitált és telítődhető felszívódásában (Gustin és mtsai, 2004).

Az általunk vizsgált különböző karotinoidok felhalmozódásában és raktározásában tapasztalt változások alátámasztják egy polaritás függő szelektív felszívódási és szállítási mechanizmus jelenlétét madarakban is. Ráadásul közülük a legkevésbé poláros vegyületnek (likopin) feltehetően elkülönült szállító mechanizmusa van a vérben, aminek tulajdonítható a plazmában a lassúbb növekedése és eltűnése is.

A kombinált karotinoid dózisok esetében a különbségek a bélnyálkahártya kötőfehérjéiért folytatott versengés és/vagy a felszívódási mechanizmusok telítődései következtében léphettek fel.

## Irodalomjegyzék

- Berg H. and Vliet T. (1998): Effect of simultaneous, single oral doses of  $\beta$ -carotene with lutein or lycopene on the  $\beta$ -carotene and retinyl ester responses in the triacylglycerol-rich lipoprotein fraction of men. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 68: 82–89.
- Bierer T. L., Merchen N. R. and Erdman J. W. (1995): Comparative absorption and transport of five common carotenoids in preruminant calves. *The Journal of Nutrition*. 125(6): 1569-1577.
- Böhm V. and Bitsch R. (1999): Intestinal absorption of lycopene from different matrices and interactions to other carotenoids, the lipid status, and the antioxidant capacity of human plasma. *European Journal of Nutrition*. 38: 118–125.
- Brush A. H. (1990): Metabolism of carotenoid pigments in birds. *FASEB Journal*. 4: 2969–2977.
- Burri B. J. and Clifford A. J. (2004): Carotenoid and retinoid metabolism: insights from isotope studies. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 430(1):110-119.
- Chung H. Y., Rasmussen H. M. and Johnson E. J. (2004): Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men. *The Journal of Nutrition*. 134: 1887-1893.
- Clark R. M., Yao L., She L. and Furr H. C. (1998): A comparison of lycopene and canthaxanthin absorption: Using the rat to study the absorption of non-provitamin A carotenoids. *Lipids*. 33: 159–163.
- During A. and Harrison E. H. (2004): Intestinal absorption and metabolism of carotenoids: insights from cell culture. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 430: 77–88.





- During A. and Harrison E. H. (2005): An in vitro model to study the intestinal absorption of carotenoids. *Food Research International*. 38: 1001–1008.
- Faulks R. M. and Southon S. (2005): Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1740: 95-100.
- Fraser P. D. and Bramley P. M. (2004): The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*. 43: 228–265.
- Furr H. and Clark M. (1997): Intestinal absorption and tissue distribution of carotenoids. *Nutritional Biochemistry*. 8: 364-377.
- Goodwin T. W. (1986): Metabolism, nutrition, and function of carotenoids. *Annual Review of Nutrition*. 6: 273–297.
- Gustin D. M., Rodvold K. A., Sosman J. A., Diwadkar-Navsariwala V., Stacewicz-Sapuntzakis M., Viana M., Crowell J. A., Murray J., Tiller P. and Bowen P. E. (2004): Single-dose pharmacokinetic study of lycopene delivered in a well-defined food-based lycopene delivery system (tomato paste-oil mixture) in healthy adult male subjects. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*. 13: 850-860.
- Johnson J. E., Qin J., Krinsky N. I. and Russell R. M. (1997):  $\beta$ -Carotene isomers in human serum, breast milk and buccal mucosa after continuous oral doses of all-trans and 9-cis beta-carotene. *Journal of Nutrition*. 127: 1993–1999.
- Kerti A. és Bárdos L. (2006): Retinoidok (retinol, retinil-palmitát), karotinoidok (lutein, zeaxantin,  $\beta$ -kriptoxantin, likopin,  $\beta$ -karotin) és E-vitamin szimultán analízise rpHPLC-vel. MLDT 53. Nagygyűlése, Szeged, 2006. In: *Klinikai és Kísérletes Laboratóriumi Medicina*, 32S: 106.
- Kostic D., White W. S. and Olson J. A. (1995): Intestinal absorption, serum clearance, and interactions between lutein and  $\beta$ -carotene when administered to human adults in separate or combined oral doses. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 62: 604-610.
- Na J. C., Song J. Y., Lee B. D., Lee S. J., Lee C. Y. and An G. H. (2004): Effect of polarity on absorption and accumulation of carotenoids by laying hens. *Animal Feed Science and Technology*. 117: 305–315.
- O'Neill M. E. and Thurnham D. I. (1998): Intestinal absorption of  $\beta$ -carotene, lycopene and lutein in men and women following a standard meal: response curves in the triacylglycerol-rich lipoprotein fraction. *British Journal of Nutrition*. 79: 149-159.
- Paetau I., Chen H., Goh N. M. Y. and White W. S. (1997): Interactions in the postprandial appearance of  $\beta$ -carotene and canthaxanthin in plasma triacylglycerol-rich lipoproteins in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 66: 1133-1143.



- Raila J., Schuhmacher A., Gropp J. and Schweigert F. J. (2002): Selective absorption of carotenoids in the common green iguana (*Iguana iguana*). *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A.* 132:513–518.
- Stahl W. and Sies H. (1996): Perspectives in biochemistry and biophysics. Lycopene: A biologically important carotenoid for humans? *Archives of Biochemistry and Biophysics.* 336(1): 1–9.
- White W. S., Stacewicz-Sapuntzakis M., Erdman J. W. Jr. and Bowen P. E. (1994): Pharmacokinetics of  $\beta$ -carotene and canthaxanthin after ingestion of individual and combined doses by human subjects. *Journal of the American College of Nutrition.* 13: 665-671.