SZENT ISTVÁN EGYETEM

# A TERMÉSZETES EREDETŰ KAROTINOIDOK FELSZÍVÓDÁSA ÉS SZÖVETI MEGOSZLÁSA HÁZITYÚKBAN

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

**Gregosits Balázs**

Gödöllő

2010

A doktori iskola

megnevezése: **ÁLLATTENYÉSZTÉS-TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

tudományága: **MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNY**

vezetője: **Dr. Mézes Miklós**
**egyetemi tanár, MTA levelező tagja**
**Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar**
**Állattudományi Alapok Intézet, Takarmányozástani Tanszék**

Témavezető: **Dr. Bárdos László**
**egyetemi tanár, az állatorvos-tudomány kandidátusa**
**Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar**
**Állattudományi Alapok Intézet**
**Állatélettani és Állat-egészségtani Tanszék**

..... .....

Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

# TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK ..... 3
1. JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE ..... 5
2. BEVEZETÉS ..... 7
2.1. A téma aktualitása, jelentősége ..... 7
2.2. Célkitűzések ..... 9
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS ..... 11
3.1. A karotinoidok ..... 11
3.1.1. A karotinoidmetabolizmus jellemzői ..... 14
3.2. A kísérletekben szereplő karotinoidok ..... 18
3.2.1. A likopin ..... 18
3.2.1.1. Előfordulása, kémiai szerkezete és nomenklatúrája ..... 18
3.2.2. A ß-karotin ..... 20
3.2.2.1. Előfordulása, kémiai szerkezete és nomenklatúrája ..... 20
3.2.3. A lutein és a zeaxantin ..... 23
3.2.3.1. Előfordulása, kémiai szerkezete és nomenklatúrája ..... 23
3.3. A baromfi karotinoid anyagcseréjének sajátosságai ..... 25
3.3.1. .A baromfi lipoprotein metabolizmusa ..... 25
3.3.2. A baromfi karotinoid metabolizmusa ..... 26
3.3.3. A baromfi karotinoid felszívódására és szöveti megoszlására irányuló kísérletek ..... 29
4. ANYAG ÉS MÓDSZER ..... 33
4.1. Kísérleti állatok ..... 33
4.2. Kísérleti elrendezések ..... 33
4.2.1. A likopin, lutein, β-kriptoxantin felszívódásának vizsgálata naposcsibében, a kelést követő 72 órában (I. kísérlet) ..... 33
4.2.2. A likopin, β-karotin és a lutein felszívódása tojótyúkokban (II. kísérlet) ..... 35
4.2.3. A likopinkiegészítés hatása a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére (III. kísérlet) ..... 36
4.3. Keltetési technológia ..... 37
4.4. Biológiai mintavétel ..... 37
4.5. Analitikai módszerek ..... 39
4.5.1. Nagynyomású kromatográfia HPLC ..... 39
4.5.1.1. Izokratikus normál fázisú nagynyomású kromatográfia (NP-HPLC) ..... 39
4.5.1.2. Izokratikus fordított fázisú nagynyomású kromatográfia (RP-HPLC) ..... 40
4.5.2. Triglicerid meghatározás ..... 40
4.5.3. Koleszterin/HDL koleszterin meghatározás ..... 41
4.5.5. TBARS mérés ..... 42

4.5.6. A tojássárgája színének mérése ..... 42
4.5.6.1 Objektív színmérés ..... 42
4.5.6.2. YCF ..... 43
4.6. Statisztikai értékelés ..... 43
5. EREDMÉNYEK ..... 45
5.1. A likopin, lutein, β-kriptoxantin felszívódásának vizsgálata naposcsibében, a kelést követő 72 órában (I. kísérlet) ..... 45
5.2. A likopin, β-karotin és a lutein felszívódása tojótyúkokban (II. kísérlet) ..... 48
5.3. A likopin kiegészítés hatása a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére (III. kísérlet) ..... 52
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ..... 55
6. KÖVETKEZTETÉSEK ..... 57
6.1. A likopin, lutein, β-kriptoxantin felszívódásának vizsgálata naposcsibében, a kelést követő 72 órában (I. kísérlet) ..... 57
6.2. A likopin, β-karotin és a lutein felszívódása tojótyúkokban (II. kísérlet) ..... 60
6.3. A likopinkiegészítés hatása a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére (III. kísérlet) ..... 63
7. ÖSSZEFOGLALÁS ..... 69
MELLÉKLETEK ..... 73
M1. Irodalomjegyzék ..... 73
M2. Statisztikai elemzések ..... 88
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ..... 113

# 1. JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

| RÖVIDÍTÉS | MEGNEVEZÉS |
|---|---|
| AMD | age-related macular degeneration (időskori makula degeneráció) |
| BC | β-karotin |
| BCDO | β-karotin-15,15'-dioxigenáz |
| BCX | β-kriptoxantin |
| CH | koleszterin |
| CM | kilomikron |
| CRABP | cellular retinoic acid-binding protein (celluláris retinsav-kötőfehérje) |
| CRBP | cellular retinol binding protein (celluláris retinol-kötőfehérje) |
| EDTA | ethylene diamine-tetraacetic acid (etilén-diamino-tetra-acetát) |
| FRAP | ferric reducing ability of plasma (plazma vasredukciós képessége) |
| HDL | high density lipoprotein (nagy sűrűségű lipoprotein) |
| HMG-CoA | hidroximetil-glutaril koenzim-A |
| LDL | low density lipoprotein (kis sűrűségű lipoprotein) |
| LU | lutein |
| LY | likopin |
| PM | portomikron |
| RAL | retinal |
| RAR | retinoid acid receptor (magreceptor) |
| RBP | retinol binding protein (retinol-kötőfehérje) |
| RIL | retinil-észter |
| $T_4$ | tiroxin |
| $T_3R$ | tiroid-receptor |
| TBARS | thiobarbituric acid reactive substances (tiobarbitursav-reaktív anyag) |
| TTR | transthyretin (tiroxin-kötőfehérje) |
| VLDL | very low density lipoprotein (nagyon kis sűrűségű lipoprotein) |
| ZX | zeaxantin |

# 2. BEVEZETÉS

## 2.1. A téma aktualitása, jelentősége

Gazdasági haszonállataink lehetőség szerint természetes körülmények közötti tartása, tenyésztése és takarmányozása mindinkább alapvető elvárás lesz az állati termék előállítása során. Ez jelentheti a betegségekkel szembeni prevenciót, az antibiotikum mentességet vagy akár a szintetikus készítmények visszaszorítását is. Ilyen tekintetben nem elhanyagolható a különböző természetes takarmánykiegészítők szerepe sem.

Az ún. dúsított élelmiszerek alkalmazásának területén a különböző karotinoidok állati termékbe történő beépülése további kedvező biológiai hasznosulást eredményezhet a humán élelmezés területén. Ennek kapcsán fontos azok egyedi, illetve kölcsönhatásban jelentkező tulajdonságainak feltérképezése.

A fogyasztói igények mind a bio- és ökotartásban, mind a nagyüzemben azt követelik, hogy az állati termék (hús, tej, tojás) tetszetős, kiváló minőségű legyen. Ezért használatosak különböző színező hatású adalékanyagok. A takarmányban alkalmazott természetes adalékanyagok eredete, fajtája nem lehet közömbös a természetes tartási mód megvalósításában, főleg a természetes anyagok antioxidáns tulajdonságainak ismeretében. Prognosztizálható a mesterséges takarmányadalékok, így a színezékek alkalmazásának korlátozása. Ugyanakkor még az emberi táplálékban is alkalmazhatóak maradnak a természetes eredetű színanyagok (CFR, 2002). Emiatt várható olyan karotinoid tartalmú melléktermékek takarmányozási célra való felhasználása, amelyek a paradicsom, paprika, sütőtök konzervipari feldolgozása során keletkeznek (HEIDLAS és mtsai., 1996; LAI és mtsai., 1996; MLODKOWSKI és KUCHTA, 1998; STRAND és mtsai., 1998)

Az elmúlt évtizedekben egyre távolabb kerültünk a természetes állattartási szokásoktól, eleget téve az iparszerű állattartás technológiai előírásainak. Napjainkban azonban a természetes tartási módok ismét létjogosultságot kapnak. Ezek főleg kis állatlétszámú gazdaságokban terjednek, de hatásuk egyre inkább érezhető az iparszerű állattartás területén is. A szinte már feledésbe merült gazdasági állatok (pl.: mangalica, őshonos tyúkfajták) újra tenyésztésbe vonásában, valamint az e fajokból származó termékek élelmiszer-alapanyagként történő felhasználásában kedvező lehetőségek rejlenek. A természetes tartás és a genetikai háttér miatt is ezek testösszetétele több vonatkozásban kedvezőbb, mint az intenzív fajták esetében (KISS és mtsai., 2003b).

A baromfi tartásában és takarmányozásában az elmúlt években változás következett be, ugyanis a fogyasztói igények is jelentősen változtak. A vágottáru és a tojás minőségét nagymértékben befolyásolja a takarmány összetétele, adalékanyag tartalma. Közismert tény, hogy a szintetikus karotinoidok takarmányba keverésével a tojássárgája színe tetszőleges sárga színűvé

alakítható (BLANCH, 1999). A sárga színt adó karotinoidok a természetben több mint 600 vegyületet számláló család tagjai (ISLER, 1971), és mint természetes eredetű karotinoidok kiválóan alkalmasak a színező szerep betöltésére, nevezetesen a tojássárgájának és a vágott baromfi bőrének sárgítására (RÉTHY és mtsai., 2005). Ezek a tulajdonságok, melyek esztétikailag sem elhanyagolhatóak, bizonyítottan jótékony élettani hatásuk mellett előrevetítik a gazdaságosabb, nagyobb hozzáadott értékű állati termékek térhódítását.

A keltetést követően gyakran a szállításig/értékesítésig az állatok nem részesülnek takarmányban, emiatt a szikből hasznosuló anyagok jelentősége megnő, főleg hogy ebben az időszakban fokozott oxidatív stressznek vannak kitéve. A keltetés utolsó napján a szikzacskó számottevően csökkent tartalommal a magzat testébe záródik, és átmeneti táplálóanyagul szolgál a posztembrionális életben. Ez a kelés pillanatában még meglevő szikkészlet adja azt a tartalékot, aminek birtokában a naposállatok a kelést követő 24 órán belül veszély nélkül szállíthatók. A szikkészlet a kibújás utáni 5-6. napon végleg eltűnik (BOGENFÜRST, 1998).

Az ember/állat karotinoid-ellátottságának megítélése világszerte javul: epidemiológiai tanulmányok azt mutatják, hogy a karotinoid tartalmú gyümölcsök és zöldségek kellő mennyiségben történő fogyasztása számos rákos jellegű megbetegedés kockázatának csökkenésével áll összefüggésben (BLOCK és mtsai., 1992; MAYNE, 1996; STEINMETZ és POTTER, 1996). Továbbá csökkentik a kardiovaszkuláris megbetegedések esélyét, a végzetes látásromlást eredményező macula degeneráció előfordulását (AMD) (SNODDERLY, 1995), valamint a szemkiszáradás (xeropthalmia) előfordulását kis A-vitamin felvétel esetén (FAWZI és mtsai., 1993). Az ilyen gyümölcsök, és zöldségek fogyasztása ugyancsak összefüggésben van a prosztatarák rizikójának csökkenésével (GIOVANNUCCI és mtsai., 1995). Az előbbi, főleg saját karotinoid hatás (antioxidáns, sejtvédő, immunstimulatív) mellett egyes karotinoidok provitaminok is, így a retinoid hatás kedvező alakulása is várható az ilyen karotinoidok fogyasztása esetén.

A növényi festőanyagok közül kiemelkedő jelentőségűek a karotinok: α- karotin, ß-karotin (BC), γ-karotin, a likopin (LY), valamint az oxikarotinoidok, más néven xantofillok: a kriptoxantin, a lutein (LU) és a zeaxantin (ZX) (KERTI és mtsai., 2008). A tojásminőségre nemcsak szubjektív, de funkcionális értelemben is előnyösen ható karotinoidok közé alapvetően a xantofillok sorolhatók, de a tojómadár karotinoid metabolizmusának ismeretében a likopin is számba vehető. A madarakkal etetett karotinoidok beépülnek a tojássárgájába, tehát ún. dúsított élelmiszerként is alkalmazhatóak.

## 2.2. Célkitűzések

Az Európai Unióhoz történő csatlakozásunkat követően hangsúlyossá vált az állati termék előállítása során az állatok magas szintű védelme. Ennek megfelelően mindinkább az állatfajokra specializált állatbarát takarmányozási rendszerek kidolgozása történik úgynevezett öko-takarmány program keretében. Ilyen szempontból az okszerű takarmányozás mellett elsődleges az állatok természetesebb takarmányozása, tehát a minimális antibiotikum használat, és a természetes eredetű alapanyagok előtérbe helyezése a szintetikus takarmánykiegészítő anyagokkal szemben.

A karotin felvétel és egyes betegségek rizikója közötti összefüggés számos kérdést vet fel. Tisztázandó, hogy a karotinoidok önmagukban is védőfaktorok, vagy csak más tényezőkkel kölcsönhatásban hatékonyak, illetve a táplálékban és/vagy a szövetekben kimutatható szintjük csak jelzője-e bizonyos folyamatoknak. A felszívódás és szöveti eloszlás kérdése különösen fontos, hiszen a karotinoidok többségének van saját aktivitása, és csak kevesebb fejt ki provitamin hatást. A karotinoid metabolizmus akár egyénenként is változó tényezője közül az egyes karotinoidoknak a táplálékban való fiziko-kémiai sajátosságai, a részben ebből fakadó felszívódásbeli eltérések és a bélhámsejtben történő esetleges átalakulás és/vagy a transzport-molekulakomplexbe csomagolás az, ami később a szöveti felvételt is meghatározza.

Vizsgálataim során célom volt a természetes eredetű karotinoidok egyes metabolikus történéseit (felszívódás, transzport, tárolás) tyúkfélékben vizsgálni. Ennek megfelelően a házityúk zsíranyagcserével kapcsolatos speciális területén, a karotinoid metabolizmussal összefüggésben célul tűztem ki a következők vizsgálatát:

1. A likopinkiegészítés hatását a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére.
2. A likopin, lutein és a β-kriptoxantin felszívódását naposcsibében, a kelést követő 72 órában.
3. A likopin, β-karotin és a lutein felszívódását tojótyúkokban.
4. A természetes karotinoidok raktározódásának, szöveti megoszlásának jellegzetességeit.

# 3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

## 3.1. A karotinoidok

Napjainkra az iparszerű állattenyésztési-termelési technológiák előtérbe kerülése miatt, a minőségi élelmiszer előállítására egyre nagyobb hangsúly helyeződik. A különböző állati eredetű termékek (tej, tojás, hús) humánegészségügyi összefüggései kiemelt jelentőségűek, mint például az antibiotikumok szerepének háttérbe szorítása, kiküszöbölése a prevencióból, illetve természetes eredetű anyagok élelmiszer minőségjavítás érdekében történő kiterjedt takarmányozási célú felhasználása. Jelen kutatás ezt a témát járja körül, fókuszálva a madarak, adott esetben a házityúk eltérő korcsoportjaiban a természetes eredetű karotinoidok felszívódására, szöveti megoszlására.

A karotinoidok a természetben nagyon elterjedt vegyületek, növények (virág és gyümölcs), gerinctelen és gerinces állatok sárga, narancsvörös, és vörös színéért felelősek. Növényekben és egyes mikroorganizmusokban (baktérium, algák, gombák) szintetizálódnak. Az állatok a karotinoidok *de novo* szintézisére nem képesek, ezért azt a táplálékból veszik fel (BENDICH, 1992). E sokféle forrásból több mint 600 karotinoidot izoláltak. Az emberi táplálékban kb. 60 található meg, de közülük csak 20 mutatható ki a vér- és szövetmintákban (DURING és HARRISON, 2004).

A karotinoidok az anyagcsere folyamán egyenletesen feloldódnak mind a transzport (lipoprotein) részecskékben, mind a szöveti tárolásuk helyén, a lipoidokban, ezért a helyes nevezéktan az állatvilágban nem pigment, hanem festék. A baromfitermék előállításban, főleg a tojástermelési időszak alatt a színezékeknek ezt a tulajdonságát használják ki takarmányba történő adagolásukkal. A bőr sárgás árnyalatát is a takarmány karotinoidjai eredményezik (KERTI és mtsai., 2008). Már a hatvanas évek elején beszámoltak arról, hogy a tojótyúkok által felvett karotinoidok 48 órán belül a tojássárgájába jutnak és a kiegészítés 8-10. napján maximális színező hatást érnek el (WILLIAMS és mtsai., 1963). HATZIPANAGIOTOU és HARTFIELD (1984) azt közölte, hogy a sárgája színét már egy nap elteltével befolyásolta az etetett karotinoid, és a stabil szín kialakulásához 4-5 napos kiegészítésre volt szükség, ugyanakkor további utánpótlás hiányában a felszívódott karotinoidok 10 nap múlva eltűnnek az állat szervezetéből, amit NA és munkatársai (2004) is igazoltak.

A több száz természetben azonosított karotinoid közül mintegy 50 retinollá (ROL) alakulhat. Ezek közös vonása az izoprén egységekből álló szénlánc, aminek két végén 6 szénatomos jonongyűrű van. A gyűrű és/vagy a lánc kettőskötései, szubsztituensei, illetve az oxigéntartalomtól függően a karotinoidok színe a halványsárgától a sötétvörösig terjed (BÁRDOS, 2000; CHEW, 1996). Wackenroder a sárgarépa (*Daucus carota*) színéért felelős festékét 1831-ben kristályos formában izolálta, majd hat évvel később Berzelius az ilyen színezékeknek a „xantophyll” nevet adta az őszi levelek után (IARC, 1998). A természetben lezajló karotinoid szintézis roppant intenzív folyamat

(megközelítőleg 100 millió tonna/év), a keletkezett vegyületek elsődlegesen a levelekben, algákban és a planktonokban deponálódnak.

A kukorica, mint karotinoidokban gazdag növény, kiemelkedően nagy lutein, zeaxantin, kriptoxantin és γ-karotin tartalmú (BLANCH, 1999), ezért annak etetésével baromfi esetében (bőr, tojássárgája) intenzív sárga szín érhető el. E hatás miatt, ha nincs kukorica a tápban, a baromfi szöveteiben és termékekben jelentős színintenzitásbeli visszaesés, illetve teljes kifakulás várható (SÓS és SZELÉNYI, 1974).

A színezés mellett egyéb hatásokért felelős specifikus étrendi karotinoidokra egyre nagyobb figyelmet fordítanak. Számos vizsgálat folyik annak tisztázása érdekében, hogy ezek a táplálék összetevők milyen előnyöket jelentenek. Számos epidemiológiai tanulmány szerint a karotinoid tartalmú élelem (zöldség, gyümölcs, tojás) megfelelő mennyiségben történő fogyasztása bizonyos rákos és kardiológiai jellegű megbetegedések kockázatát csökkenti (AGARWAL és RAO, 1998). A karotinoid gazdag takarmányfelvétel és bizonyos rákos megbetegedések előfordulási gyakorisága között inverz kapcsolat áll fenn (BRUSH, 1990).

Az oxikarotinoidok (lutein, zeaxantin) a retina sárgafoltjának épen tartásában fontosak (KRINSKY és mtsai., 2003). A karotinoid hatások többségének alapja az izoprén vázukból eredő antioxidáns tulajdonságuk, ami sejtvédő és immunmoduláns hatásokban nyilvánul meg. A karotinoidokat a fent említettek és általában a szénhidrogénlánc kettős kötései miatt gyakran nevezik telítetlen poliizopréneknek is, mely a kémiai szerkezet és az élettani hatás, illetve megjelenés összefüggésére enged következtetni.

Egyes, úgynevezett ß-jonon gyűrűt tartalmazó karotinoidok (α-, β-, γ-karotin és kriptoxantin) különböző mértékben A-provitamin aktivitásúak, és mint ilyenek retinoid hatásúak, melyeknek régóta ismert a különböző hámszövetekre kifejtett hatásuk. Emiatt nevezik az A-vitamint "hámvédő" vitaminnak. Hiánya esetén az egysejtű mirigyeket (kehelysejteket) tartalmazó hámon (pl.: bél, kötőhártya) hurut-, míg a kehelysejteket nem tartalmazó hámon (pl.: bőr, kérődzők előgyomrai) kóros-, illetve fokozott elszarusodás (para-, ill. hyperkeratosis) figyelhető meg. Így A-vitaminban gazdag étrendet javasolnak a torok-, tüdő-, ill. fekélyes vastagbélgyulladásban, valamint bárányhimlőben szenvedő betegeknek (légúti nyálkahártyákra, bélhámra, bőrfelület gyógyítására kifejtett hatás) (BÁRDOS, 1994). Az A-vitamin fontos szerepet játszik a látás biokémiájában is (WALD, 1968). Hiányakor számos heliális membrán protein, így a szaruhártya, a kötőhártya megváltozik (AYDELOTTE, 1963; DE LUCA és mtsai., 1971).

Emberben az étrendi karotinoid kémiai értelemben sértetlenül felszívódik, de át is alakul, így hozzájárul az egyén A-vitamin ellátottságához (DE PEE és mtsai., 1998). A karotinoidok részt

vesznek a sejt-sejt közötti kommunikációban (STAHL és mtsai., 1998), az immunválasz kialakításában (BENDICH, 1989) és a reprodukciós folyamatokban is.

Humán táplálkozásban karotinoid források megítélésekor fontos a sárgarépa (α- karotin, β-karotin), a citrusfélék (β-kriptoxantin), a paradicsom (likopin), a spenót (lutein), valamint a kukorica (zeaxantin) megemlítése. A természetben fellelhető néhány ismertebb karotinoid (LATSCHA, 1990):

- α-karotin (zöld növények, kukorica, sárga gyümölcsök),
- β-karotin (lucerna, sárgarépa, sütőtök, algák, tojássárgája, sárgatest),
- kriptoxantin (kukorica, paprika, gyümölcsök, tojássárgája, citrusfélék),
- lutein (kukorica, sárgarépa, gyümölcsök, tojás),
- zeaxantin (kukorica, paraj, paprika, algák, tojás, bogyósok),
- asztaxantin (halak, rákok, algák),
- kapszantin (pirospaprika)
- rubixantin (csipkebogyó) és
- krocetin (sáfrány).

A tulajdonképpeni karotinoidok és xantofillok 40 szénatomot tartalmaznak. Ez 8 izoprénegységnek felel meg. Ismert, hogy az egyik fontos prekurzoruk a mevalonsav, ami fontos szerepet játszik a hidroximetil-glutaril koenzim-A (HMG-CoA) reduktáz megjelenésében, és így a koleszterin mennyiségével áll szoros kapcsolatban, továbbá az erre specializálódott, növényi enzimrendszerek segítségével alakul át karotinoidokká.

A karotinoidok biológiailag nagyon sokoldalúan működnek szervezetünkben, előnyös hatásuk ezért több betegség megelőzésében is fontos lehet. Daganatos betegségek széles körében végeztek tanulmányokat az egyes karotinoidok preventív hatásának kimutatására. Valószínűsíthető, hogy a karotinoidoknak hatásuk van a sejtek differenciálódására és burjánzására. Mivel a daganatképződés alapvetően a sejtek életműködésének osztódási zavara, ezért a sejtek retinoidtartalma befolyásolhatja a daganatképződésre való hajlamát, azaz a karotinoidok gátolhatják a daganatsejtek burjánzását, de az egyes daganattípusoknál más-más vegyület bizonyult hatásosnak (BOLLA, 2001).

Számos eredmény azt igazolja, hogy a karotinoidok antioxidáns és prooxidáns hatása az oxigéntenzió függvénye, ezért azok megítélése nem egységes (PALOZZA és mtsai., 1997, CIACCIO és mtsai., 1993), mindemellett viszont a karotinoidokra vonatkozóan régóta ismert a különböző mértékű antioxidáns aktivitás, mely a szabadgyökökkel szembeni védekezésben nyilvánul meg. Alapvetően a szabadgyökök páratlan elektronnal rendelkező, erősen instabil vegyületek, melyek ebből adódóan esetenként párt keresnek az egészséges sejtek között, ami gyakran romboló

folyamattal jár, mindemellett a szabadgyök képződés természetes élettani folyamat is, mely során a sejtek a metabolizmus részeként a tápanyagokat felhasználják, azokat elégetik, oxidációs melléktermékként pedig szabadgyökök keletkeznek. A baktériumok és vírusok elleni küzdelemben, illetve az elöregedett sejtek felismerésében és elpusztításában is fontos szerepük van. A nem megfelelő környezeti és életmódbeli hatásokra a szükségesnél több szabadulhat fel belőlük. Szerencsére a szervezet erős, ún. szabadgyökfogó rendszerrel működik, melynek antioxidáns részei az enzimek és tápanyagok tudnak kötődni az instabil oxidánsokhoz, és ily módon semlegesítik azokat.

A karotinoidok a szabadgyök láncreakció megszakítását teszik lehetővé mind oldatban (PACKER és mtsai., 1981), mind a liposzómában és a lipoproteinben. A takarmánnyal felvett karotinoidok felszívódását, változásait, azok antioxidáns szerepét, a vérszérum karotintartalmának jellegzetességeit madárban a kutatók régóta vizsgálják (ÁGOTA és mtsai., 1998; KERTI, 1998; BÁRDOS, 1989).

A tojótyúkok takarmányozásához hasonlóan a humán plazmában detektálható karotinoidok többségének mennyisége a táplálék összetevőinek mérsékelt megváltoztatásával rövid időtartam alatt (<15 nap) növelhető, bár a plazmaszinteket ebben az esetben is az alap (kiindulási) karotinoid koncentráció jelentősen befolyásolhatja (YEUM és mtsai., 1996).

A karotinoidok biológiailag aktív festékek, döntő fontosságúak a madár embriók és fiókák szempontjából. Ennek következtében a szülők által nyújtott karotinoidban gazdag táplálás erősítheti az utód vitalitását (BIARD és mtsai., 2006).

A madártojás az étrendi karotinoidok könnyen emészthető forrása. A tojássárgája ugyanis egy emészthető lipidekből álló mátrix, amelyben a karotinoidok további zsírban oldódó tápanyagokkal együtt diszpergálva találhatók. A tojások karotinoid tartalma okszerű takarmányozás esetén a növényektől eltérően nem mutat évszakos ingadozást, ezáltal hatékony vivőanyag a biológiailag aktív molekulák (karotinoidok) akár helyspecifikus szervezetbe juttatására. A tojótyúkok takarmányának célzott összeállításával kedvező táplálkozásélettani, akár egészségmegóvó előnyökkel rendelkező, fokozott antioxidáns tartalmú tojások előállítása lehetséges (KERTI és mtsai., 2008).

### 3.1.1. A karotinoidmetabolizmus jellemzői

Ha a tápláléklánc elemeit, az élelmiszereket/takarmányokat természetes eredetű vegyületekkel egészítjük ki, akkor azok felszívódása és tárolása hatékonyabb, mint amikor ugyanazokat az anyagokat, de szintetikus formában adtuk (LENGYEL és mtsai., 2001).

Az állati szervezet retinoid metabolizmusának sajátossága, hogy a vitaminhatású vegyületeket nemcsak retinol, illetve retinil-észter (RIL), hanem növényi karotinoidok formájában is felvehetik. A β-jonon gyűrűt tartalmazó karotinoidok provitaminnak tekinthetőek, mert a retinoidok természetes előanyagai. A karotinoidok különböző szövetekben és szervekben raktározódnak, és a felszívódásuk is fajspecifikus. Az ember és néhány más faj (ló, szarvasmarha, *tyúkfélék*) vékonybél hámsejtjei a karotinoidokat metabolizálják, de 20-30%-ot változatlan formában, a keringésbe is juttatnak (BÁRDOS, 2000).

A karotinoidmetabolizmus tekintetében SHIEDT és munkatársai (1985) közlése nyomán alapvetően három reakciót szükséges megemlíteni. Ilyen az ún. polién láncok hasítása apokarotinoidokból és secokarotinoidokból, illetve más terpenoid metabolitokból oxidáció végbemenetele mellett. Továbbá a vegyületek láncvégi csoportjainak helyettesítése oxigén funkciós csoportokkal, mint például a xantofillok esetében, és a láncvégi csoportok átalakítása, ami a b-gyűrűk, vagy a g-gyűrűk jellemzője.

A táplálék karotinoidjai a bélben felszívódásuk során a bélhámban történő esetleges módosulásokat (lipoproteinbe csomagolás, retinoiddá alakulás) követően a keringésbe lépve jutnak el a célszerveikhez (ERDMAN és mtsai., 1993). Ez utóbbiak lehetnek raktározó szervek (máj, zsírszövet), ahol metabolizálódhatnak más karotinoidokká, a provitamin tulajdonságúak retinoidokká, illetve ahonnan még kevéssé ismert hatásokra újra mobilizálódnak és a test más szöveteibe a végső állomásukra (köztakaró, petefészek) juthatnak. A karotinoidok metabolizmusa zsíroldható tulajdonságaik miatt sok tekintetben kapcsolódik a lipidanyagcseréhez (SCHWEIGERT, 1998).

Az egyes állatfajok karotinoid tároló képessége eltérő: a szarvasmarhára leginkább a β-karotin jellemző, madarakra hidroxi-karotin, az emberre mindkettő (ZECHMEISTER, 1941).

A karotinoid metabolizmus modellként való általánosítására több kísérlet történt. Preruminánsborjakban vizsgálták a karotinoidok szöveti tárolását és szövet közötti megoszlását (POOR és mtsai., 1992), mely alapján a karotinoid felszívódás kinetikája nagyon hasonlít az emberben tapasztaltakhoz (POOR és mtsai., 1993), azaz a legjobb hatásfokkal abszorbeálódó β-karotin mellett más egyéb karotinoid is felszívódik (kanthaxanthin, lutein, likopin és α-karotin) (POOR és mtsai., 1987; BIERER és mtsai., 1995). A mongol ugróegér (*Meriones unguiculatus)* az emberhez hasonló hatásfokkal képez A-vitamint a β-karotinból (LEE és mtsai., 1999), tehát alkalmas kísérleti állat lehet a karotinoid felszívódás és metabolizmus tanulmányozására. A vadászgörényeket (*Mustella putorius furo*) a karotinoid kutatás számos területén használják, úgymint a felszívódás és hasznosulás, az izomer metabolizmus valamint az étrendi kölcsönhatások összefüggésénél (BOILEAU és mtsai., 1999). A patkányokat és egereket gyakran olyan rákos

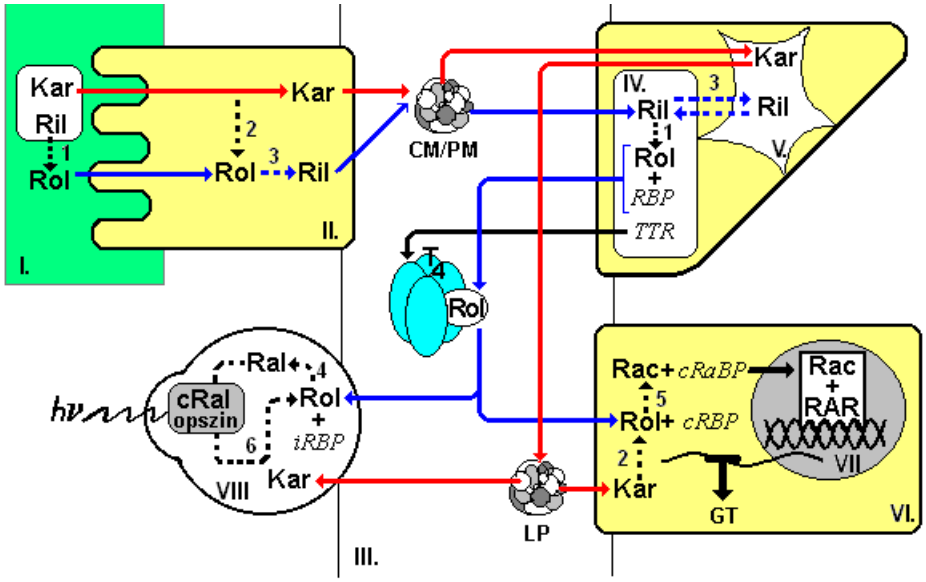
folyamatok kutatásában alkalmazzák, ahol a táplálékban adott karotinoidok hatását értékelik (MOON, 1989; NAGASAWA és mtsai., 1995; SANTOS és mtsai., 1996; YOUPING és mtsai., 1997), illetve az immunfunkciókat befolyásoló hatásokat kutatják (BENDICH, 1989). A főemlősök kiválóan használhatók számos szív és érrendszeri megbetegedés és a karotinoid ellátottság tanulmányozásához (BOND és mtsai., 1980), valamint a már említett AMD összefüggéseihez. Rákkutatásban hörcsögöket használtak a karotinoid hatás (SANTOS és mtsai., 1996), valamint toxikológiai tanulmányokhoz (BEEMS és mtsai., 1987). A nyulak is tipikus fehér zsírú állatok, azaz a bélhámsejtekben igen nagy a 15,15'-dioxigenáz aktivitás (LAKSHMANAN és mtsai., 1972). Ezért alkalmasak a karotinoid felszívódás és tárolás megítélésére, illetve a β-karotin és az ateroszklerotikus folyamatok kölcsönhatásának vizsgálatára (SUN és mtsai., 1997). Kutyákat a karotinoidok immunfunkciókban játszott szerepének tanulmányozására használnak (CHEW és mtsai., 1998; KIM és mtsai., 1998). Állatorvosi dietetikában fontos tényező az, hogy a macskákban szintén változatlan formában szívódik fel a β-karotin, és az nem alakul át A-vitaminná. Így ezeknek a társállatoknak az A-vitamin igénye nem elégíthető ki takarmány karotinoid forrással.

Madarak esetében házityúk fajt, a felszívódás és a hasznosulás értékeléséhez használtak modellnek (TYCZKOWSKI és mtsai., 1986; POOR és mtsai., 1987). A japánfürj számos biológiai (genetikai, endokrinológiai, toxikológiai) tulajdonsága, és a házi tyúkkal való közeli rokonsága miatt baromfitenyésztési vizsgálatban szolgál modellként. A tyúkfélék táplálékában levő természetes karotinoidforrásnak tekinthető zeaxantinnak és luteinnek a *macula lutea*-ban történő akkumulációja élettani folyamat. Mivel a fürj retinájában a *macula* igen hasonlít az emberi szem azonos képletéhez, így az oxikarotinoidoknak az AMD kifejlődésében betöltött szerepét jól lehet tanulmányozni ebben a madárban (THOMSON és mtsai., 2002). Ez a faj rövid életű, tehát gyorsan öregszik, így az életkor előrehaladtával előforduló degeneratív folyamatok is hamarabb jelentkeznek benne (KUNERT és mtsai., 1997).

A karotinoidok a duodenumból szívódnak fel más lipidekkel együtt, majd a mucosa sejtekben alakulnak át A-vitaminná (pl. β-karotin). A bélhámsejt intracelluláris terébe jutott β-karotint a β-karotin-15,15'-dioxigenáz (BCDO) két molekula retinallá (RAL) hasítja. A retinalt egy kevéssé szubsztrátspecifikus *aldehid-reduktáz* retinollá alakítja, ami észterifikálódva jut a kilomikron (CM) frakcióba. A centrális hasítást végző dioxigenázon kívül egy b-oxidációs enzimrendszer is működik a bélhámsejtek citoplazmájában, ami b-apo-karotinálokat és karotinsavakat is képez. A táplálék retinoidját (retinil-észter, ill. retinol), és a még át nem alakult karotinoidokat a vérkeringésből a máj felveszi és a lipoidok tárolására specializálódott sejtjeiben elraktározza. A perifériás szövetek igényének megfelelő mértékben a májszövet a raktározott retinil-észtert retinollá hidrolizálja, ami azután egy szintén a májban képződő specifikus

szállítófehérjével (retinol-kötőfehérje: RBP) kapcsolódik, és a vérkeringésbe jut. Ott a keringő tiroxin-kötőfehérje (TTR) is kapcsolódik, ez a vitamin+fehérje komplex. Ez a ROL-RBP-TTR-tiroxin ($T_4$) együttes teszi mintegy "vízoldhatóvá", azaz a vér vizes közegében szállíthatóvá a lipoid karakterű vitamint, egyben a méreténél fogva megakadályozza ezen fontos hatóanyagok (retinol és tiroxin) glomeruláris filtrátumba kerülését.

A működésükben retinoid-függő szövetek retinol-kötőfehérjét felismerő receptoruk révén veszik fel a keringésből a vitamint. A retinolt a szövetekben egy újabb kötőfehérje (CRBP: celluláris retinol-kötőfehérje) veszi át és a sejtmagba juttatja. A citoplazmában a retinol retinsavvá is oxidálódhat, amit szintén kötőfehérje (CRABP) juttat a magba. A sejtmagban magreceptorok (RAR) veszik át a kötőfunkciót. Ez a komplexum (aktív RAR) a megfelelő DNS-szakaszokat aktiválva fejti ki hatását. Egyes génszakaszok csak az aktív RAR és tiroid-receptor ($T_3R$) együttes kötődése esetén válnak transzkripcióra alkalmassá, ami a tiroid-retinoid kölcsönhatás génszintű magyarázatát adja (BÁRDOS, 2000) (1. ábra).




*1. ábra. Karotinoidok és retinoidok emésztése, felszívása, metabolizmusuk főbb lépései*
**(**BÁRDOS, 2000; GREGOSITS és mtsai., 2007)

I. béltartalom, II. bélhámsejt, III. keringés, IV. májparenchima sejt, V. Ito-féle zsírraktározósejt, VI. perifériás karotinoid/retinoid metabolizáló sejt, VII. sejtmag, VIII. szem;

Enzimek: 1. észterázok (lipáz, foszfolipáz A2), 2. karotináz (15,15'dioxigenáz), 3. ARAT (acil-CoA-retinol-transzferáz), 4.-5. nem specifikus alkohol (retinol) dehidrogenázok (ADH, Aldh1-3), 6. a látási ciklus enzimjei (ADH, izomeráz)

Rövidítések: Kar: karotin, ROL: retinol, RIL: retinil-észter, Rac: retinsav, RBP: retinol-kötőfehérje, TTR: tiroxin-kötőfehérje, CM/PM: kilomikron/portomikron, LP: lipoprotein, $T_4$: tiroxin, CRBP: celluláris retinol-kötőfehérje, CRABP: celluláris retinsav-kötőfehérje, RAR: magreceptor, GT: géntermék, iRBP: fotoreceptor retinoidkötő fehérjéje

## 3.2. A kísérletekben szereplő karotinoidok

### 3.2.1. A likopin

#### 3.2.1.1. Előfordulása, kémiai szerkezete és nomenklatúrája

A likopin az érett paradicsom (Lycopersicum esculentum) és sok más gyümölcs élénkpiros színű festékanyaga. Szerkezete a karotinok szerkezetével mutat rokonságot, hiszen a karotin izomerek (alfa- béta-, gamma-, és delta-karotin), valamint a likopin összegképlete ($C_{40}H_{56}$) és molekulasúlya (536,89) is megegyezik. Alapvető különbség azonban az, hogy a karotinok szénláncának egyik vagy mindkét vége gyűrűvé záródik, a likopin pedig csak egy konjugált kettős kötésekből álló szénlánc (ISLER, 1971) (2. ábra).

*2. ábra. A likopin szerkezeti képlete*
*(forrás: www.carotenoidsociety.org/carotenoids)*

A likopin a karotinoidok családjába tartozó, aciklikus szerkezetű élelmiszeralkotó bioaktív vegyület, melynek preventív szerepét számos daganatos megbetegedés kialakulásában epidemiológiai és experimentális adatok is alátámasztják. Kedvező élettani hatása nagyrészt erőteljes antioxidáns tulajdonságaival magyarázható (LUGASI és mtsai., 2004). Zsírokban és zsíroldó anyagokban jól oldódnak, viszont vízben oldhatatlanok, ezért lipokróm anyagnak is nevezik őket. A likopin nyitott gyűrűje könnyen zárul, ezáltal a láncvégi kettős kötés megszűnik, ha ez mindkét végén bekövetkezik, akkor α vagy β-karotint kapunk (SZALAI, 1974). Következésképpen a növényi sejtekben a β-karotin képződése a likopin molekulán keresztül történik.

#### 3.2.1.2. Biológiai hatásai

A paradicsom jellegzetes vörös színét a likopin adja. Ennek a karotinoidnak számos egészségmegőrző, -javító szerepét tisztázták. Ez részben az effektív antioxidáns hatásban, a sejtek közötti réskapcsolatokban (gap junction) és a sejtciklus szabályozásában, valamint a koleszterin szintézist csökkentő hatásban nyilvánul meg. Mindezek kölcsönhatására egyes daganatképződési folyamatok (különösen a prosztatarák) kockázata csökken.

A karotinoid csoportba tartozó lipokróm festékek egyik, vagy mindkét β-jonon gyűrűjének felépítésében különböznek a β-karotintól. A karotinoidokhoz tartoznak olyan lipokróm festékek is, amelyeknek nincs A-vitamin aktivitásuk. A karotinoidok szerkezeti felépítéséből adódik, hogy a különböző pro-oxidatív hatásokra keletkező, igen reaktív szabadgyököket képesek a karotinok

köztük a likopin is neutralizálni. Így a tokoferolok mellett a szervezet legjelentősebb lipofil antioxidánsainak tekinthetőek (LAWLOR és OBRIEN, 1995; AUST és mtsai., 2001). Ezen egészségmegőrző képessége miatt az elmúlt években világszerte széleskörű kutatások kezdődtek a likopinnak, mint természetes és a táplálékkal a szervezetbe juttatható antioxidáns molekulának a hatásával kapcsolatban. Megállapították, hogy a likopin csökkenti az LDL oxidációját, így az ateroszklerózis és a coronaria megbetegedések rizikóját is. Napi 40 mg likopin bevitel elegendő az LDL oxidáció megelőzésére (AGARWAL és RAO, 1998). Képes csökkenteni bizonyos rákos megbetegedések kockázatát, úgymint prosztata-, tüdő-, méhnyak-, és bőrrák előfordulását (GIOVANNUCCI és mtsai., 1995, 2002), a vér lipoid szintjét, valamint megfelelően használható a tojássárgája színezésére (KISS és mtsai., 2003b) és növeli a szervezet antioxidáns kapacitását (RÉTHY és mtsai., 2004).

Korábbi előkísérleteinkből kiderült, hogy likopint rendszeresen fogyasztó - megelőzően nyúlszérummal immunizált - tojótyúkok vérplazmájában következetesen nagyobb IgY szint mérhető, vagyis a szenzibilis limfociták 13-25%-kal több esetben mutattak immunrozetta képződést, mint a kontroll tojótyúkoké. Tehát az ilyen jellegű kiegészítés egyértelműen növeli a humorális immunválasz készségét (BÁRDOS és mtsai., 2005).

CORIDAN és munkatársai. (2001) azt valószínűsítik, hogy a likopin immunmoduláns hatása is közvetett módon érvényesül, azaz az immunkompetens sejteket az oxidatív károsodástól óvja. Ezt igazolja az, hogy a limfociták oxidatív stabilitását két hétig tartó napi 25 mg likopin (paradicsompürében) mintegy 50%-kal növelte (PORRINI és RISO, 2000).

A likopin bevitele növelhette a vérszérum és ugyanakkor a limfociták likopin koncentrációját is. A limfocitákban megemelkedett antioxidáns hatású likopin így csökkenthette a sejtek DNS-ének sérüléseit, ami az ellenanyagok előállításában fontos szerepet játszó limfociták aktivitáshoz vezetett (SZABÓ és mtsai., 2007b).

A likopin szervezetben történő felszívódásával kapcsolatban kiderült, hogy a transz forma kevésbé aktívan szívódik fel, mint a cisz-izomer, így a feldolgozott élelmiszerekből történő likopin hasznosulása is kedvezőbb, mivel megszűnik a sejtfalak integritása a feldolgozás közbeni fizikai és kémiai folyamatok miatt. Ilyen esetben az emésztőenzimek a likopint tartalmazó membránokat könnyebben megbontják, és az intenzívebben hasznosul (RAO és AGARWAL, 1998).

Számos kutatás alapján megállapítható, hogy a likopin antioxidáns hatása kétszerese a β-karotinénak és tízszerese az α-tokoferolénak (DI MASCIO és mtsai., 1989). Vízben rosszul oldódik, ezért leginkább zsíros, olajos oldatban, például paradicsomszószként hatékonyabban szívódik fel, mivel a sejtfalak így felnyílnak és könnyebben tárodik fel.

Akiknek az étrendjében többször szerepelnek zöldségek, főzelékfélék, paradicsom, jó esélyük van a megfelelő szintű napi likopin bevitelre. A főzés elősegíti a növényi sejtfalak feltáródását, valamint a likopin fehérjékből történő felszabadulását, ezáltal a tápcsatornából történő felszívódását (KHACHIK és mtsai., 1992; STAHL és SIES, 1992).

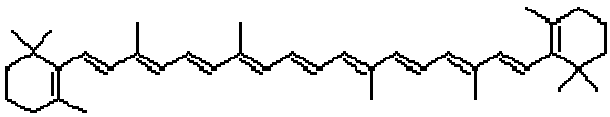
A likopin jelenleg nem tartozik a baromfitakarmányok megszokott karotinoidjai közé (BERTRAM, 2004), viszont mivel a paradicsom és/vagy a feldolgozás melléktermére gazdag természetes eredetű likopin forrás, a mesterséges színezékek kiváltására válhat alkalmassá. A fogyasztói szempontokat kielégítő színező hatása mellett nagy jelentőséget kell tulajdonítani a likopin antioxidáns tulajdonságának is.

A likopin jelentős védő szerepet játszhat különböző humán rákos megbetegedésekkel kapcsolatban. A likopin felszívódásának és szöveti megoszlásának mérésére állat modelleket szoktak alkalmazni (JAIN és mtsai., 1999).

### 3.2.2. A ß-karotin

#### 3.2.2.1. Előfordulása, kémiai szerkezete és nomenklatúrája

A β-karotin az A-vitamin provitaminja (más néven elővitaminja). Ez azt jelenti, hogy belőle A-vitamin (retinol) képződik, amit a szerkezeti hasonlóság is jól mutat. A β-karotin az A-vitamin legfontosabb forrása, felesleg esetén kis mértékben elraktározódik. A β-karotin adja a sárgarépa, a sütőtök és a sárgadinnye jellegzetes színét, de megtalálható a tojássárgájában is. A vegyület a karotinoidok közé sorolható, melyek izoprénvázas molekulák. Szerkezeti képlete a 3. ábrán látható.



*3. ábra. A ß-karotin szerkezeti képlete*
*(forrás: www.carotenoidsociety.org/carotenoids)*

A β-karotin nem csak az A-vitamin előanyagaként, hanem antioxidánsként is fontos a szervezet számára. Azt is megfigyelték, hogy a takarmányba kevert β-karotinnal megnövelhető a tojássárgájának β-karotin tartalma (ÁGOTA és mtsai., 1998).

A β-karotin [E160a] az élelmiszeriparban természetes színezőanyag (étkezési zsírok, pl. margarin színezése), illetve antioxidáns.

A β-karotin két β-jonon gyűrűt tartalmazó vegyület, felszívódása és raktározása kevésbé intenzív, így a szervezetnek állandó utánpótlásra van szüksége. A bevitt mennyiség kihasználhatóságát az ún. "SLAMENGHI" többtényezős faktorral szokás megadni, mely mozaikszó magába foglalja többek között a karotinoid típusát, elfogyasztott mennyiségét, a molekula kötését,

felszívódás és hasznosulás hatékonyságát, valamint a fogyasztóval kapcsolatos egyéb tényezőket is (WEST és CASTENMILLER, 1998).

3.2.2.2. Biológiai hatásai

A legalább egy β-jonon gyűrűt tartalmazó karotinoidok a retinoidok természetes előanyagai, tehát provitaminnak tekinthetőek (BÁRDOS, 2000).

Számos kutatás bizonyítja, hogy nagyon szoros a kapcsolat a rákbetegségek és a karotinoidok között (MATHEWS-ROTH, 1985; KRINSKY, 1989; ZIEGLER, 1991). Bebizonyosodott, hogy antikarcinogén szerepet töltenek be az antioxidáns folyamtokban, függetlenül A-vitamin átalakító képességüktől (PETO és mtsai., 1981).

A β-karotin szerkezetéből következik, hogy elektronbefogó és antioxidáns tulajdonságai miatt az oxidatív szövetkárosító hatások ellen, mint sejtvédő (citoprotektív) anyag terápiás felhasználásra is kerül (BÁRDOS, 2000). Amennyiben a szervezet (sejtszinten) nem rendelkezik megfelelő antioxidáns védekező mechanizmussal, a szervezet számára létfontosságú molekulák (*fehérjék, nukleinsavak, lipidek*) roncsolódnak és ez előbb lokális, majd szisztémás zavarokhoz is vezethet. A szabadgyökök a többszörösen telítetlen zsírsavak kettős kötéseinek peroxidációját idézik elő, ami az ún. lipidperoxidációs folyamatok névadója. Ezen kívül más olyan biológiailag aktív anyagok is károsodnak, amelyekben az említett kémiai kötés (C=C) gyakori. Így pl. az aminosavak, ezáltal a fehérjék, az enzimek; a purinbázisok, tehát az RNS és a DNS is károsodhatnak (BÁRDOS 2000). A β-karotin tehát egy fontos antioxidáns, a bélben A-vitaminná alakul. Bármely többlet β-karotinként szívódik fel (CONNOR és mtsai., 2006).

RIBAYA-MERCADO és munkatársai (1992) megállapították, hogy a β-karotin kiegészítés még idős emberekben is fokozza a killer sejtek aktivitását.

A β-karotin a leghatékonyabb provitamin, ami alkalmas a harmadik világ országaiban főként a gyermekeket sújtó vakséggal is járó A-vitamin hiány megelőzésére (HUMPHREY és mtsai., 1992). Ennek a világméretű egészségügyi problémának a megoldását biotechnológiai módszerrel a β-karotint szintetizáló gén rizsnövénybe történő bevitelével, az ún. „aranyrizs” kifejlesztésével is igyekeztek megoldani (POTRYKUS, 2001), aminek termelésével majd a táplálkozásban történő felhasználásával kapcsolatban megoszlanak a vélemények.

A β-karotin szaporodásbiológiai jelentősége régóta ismert. A takarmányozási gyakorlatban nagy hangsúlyt fektetnek a megfelelő ellátás meglétére. Legeltetés esetén ez nem jelent problémát, egyéb körülmények között viszont fontos a kiegészítés, főként az ellés körüli időszakban.

A β-karotin kiegészítéssel javítható a tenyésztojások biológiai értéke, ami a retinoiddá történő alakulás mellett a β-karotin közvetlen vitamin jellegű hatásával is összefüggésbe hozható (KERTI és BÁRDOS, 1997).

A karotin- és az A-vitamin ellátás következményei valamennyi állatfajban jelentkezik, de főleg a szarvasmarha, sertés és baromfiállományoknál gyakori. A β-karotin hasznosulásának két útja lehetséges: a vékonybélben történő felszívódás, ill. retinoiddá alakulás (retinal→retinol→ retinil-észter). A β-karotin-15,15'-dioxigenáz hasítja ketté a β-karotin molekulákat retinoiddá. A β-karotin lipoproteinek által szállítódik. Az LDL összes szállítási képességének kb. 80%-áig tartalmazhat β-karotint. A májban, a bőralatti zsírban és egyéb zsírraktárakban raktározódik. A fel nem szívódott β-karotin (50-98%) a bélsárral választódik ki (ÁGOTA, 2000).

A korábban csak provitaminként számon tartott β-karotin „saját" hatása több esetben bizonyítást nyert. Az A-vitaminnal egyébként jól ellátott, de karotin hiányos tehenek között megnő a csendes ivarzások száma. Ennek a hátterében a petefészek renyhe működése áll. Az ilyen állatokban elhúzódik az ovuláció, a kialakuló sárgatest kevesebb progeszteront termel. A vemhesség alatt gyakoribb az embrióelhalás és a vetélés. Az újszülött borjak hajlamosabbak az emésztő és légzőszervi megbetegedésekre, mivel anyjuk föcstejében kevesebb az immunglobulin. A karotinhiányos állományokban megnyúlik a két ellés közötti idő (BÁRDOS, 2000).

Szarvasmarha idősebb korban aránylag ritkábban betegszik meg, mivel elegendő zöldtakarmány áll rendelkezésre a legeltetési időszakban, viszont a tárolt szénák és szilázsok karotintartalma a tél végére jelentősen csökken. A bikáknál csökken a spermiumok száma, és romlik az ondó minősége is a megnövekedett számú rendellenes ondósejt miatt. A sertésállományban gyakoriak a fejlődési rendellenességek, így csökken az alomszám és az alomtömeg, valamint megszaporodnak a malacok emésztő- és légzőszervi megbetegedései. Baromfiban a klasszikus nyelőcső- és veseelváltozás (köszvény) mellett több lesz a véres tojás száma is, romlik a kelési százalék. A szükségletek optimális kielégítése történhet nagy karotintartalmú takarmány etetésével, az ipari abrakkeverékbe bekevert A-vitaminnal, vagy mesterséges β-karotin adagolásával (KAKUK, 1972).

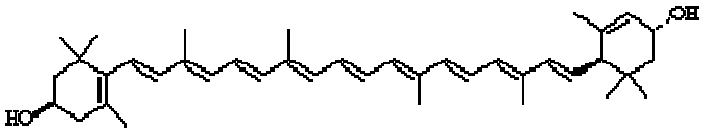
Toxikológiai tesztek–beleértve a teratogenitásra, mutagenitásra és karciogenitásra vonatkozó tanulmányokat–megállapították, hogy a β-karotin többletnek a szervezetre semmilyen káros hatása nincs (BENDICH, 1988). Az egyetlen dokumentált biológiai hatás az emelt dózis esetén a hiperkarotenémiával összhangban a bőr elszíneződésében jelentkezett, azonban ez csak az extrém magas kiegészítéskor tapasztalták (MATHEWS-ROTH, 1986).

A legtöbb tanulmány a β-karotin antioxidáns tulajdonságaira összpontosít, és széleskörűen kutatja a liposzómákban (KRINSKY és DENEKE, 1982), lipoproteinekben (JIALAL és mtsai., 1991) és izolált membránokban (PALOZZA és mtsai., 1992) történő viselkedését.

### 3.2.3. A lutein és a zeaxantin

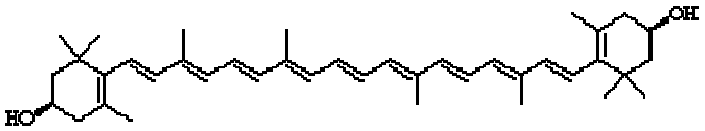
#### 3.2.3.1. Előfordulása, kémiai szerkezete és nomenklatúrája

Napjainkban egyre inkább a figyelem középpontjába kerülnek más karotinoidok is, mint például a lutein (4. ábra),




*4. ábra. A lutein szerkezeti képlete*
*(forrás: www.carotenoidsociety.org/carotenoids)*

és a zeaxantin (5. ábra).




*5. ábra. A zeaxantin szerkezeti képlete*
*(forrás: www.carotenoidsociety.org/carotenoids)*

Jelen alfejezeten belül a két molekula azért kerül egyidőben tárgyalásra, mivel mind normál, mind reverz fázisú HPLC technikával történő karotinoid detektálás során a karotinoid profilt mutató kromatogramon szinte ugyanabban a tartományban jelennek meg (11. ábra).

A xantofill csoportba tartozó pigmentek közül a legfontosabb a zöldnövényekben és sárga kukoricában megtalálható lutein (dioxi α-karotin) és a zeaxantin (dioxi β-karotin), valamint az algákban, halakban, madarakban található kantaxantin (diketo-β-karotin) (KAKUK, 1972). A levél-xantofill (lutein) az α-karotinból, a kukorica festékanyaga (zeaxantin) pedig β-karotinból vezethető le (KARLSON, 1972). Megközelítőleg 85-90%-ban tartalmaz luteint (3,3'-dihidroxi-alfa-karotin) a nagyvirágú bársonyvirág (*Tagetes erecta*) sziromlevél, amely a tyúk olcsó takarmány karotinoid forrása, mind a tojássárgája, mind pedig a bőr színezés tekintetében. Felszívódást követően a lutein a tyúk különböző szöveteiben megjelenik (GOMEZ és mtsai., 1978). A tyúkok vérplazmája a takarmányfelvételt követően xantofillokat (lutein, β-kriptoxantin) és egyéb karotinoidokat tartalmaz, függetlenül a takarmány szabad, illetve észterifikált karotinoid tartalmától (BREITHAUPT és mtsai., 2003).

A búza és kukorica alapú keveréktakarmányoknál a tojássárgája karotinoidjainak megközelítőleg 60-80%-át a lutein és a zeaxantin alkotja (SURAI és SPARKS, 2001).

3.2.3.2. Biológiai hatásai

A lutein, zeaxantin és β-karotin növényi élelemből származó karotinoid festékek. A lutein és zeaxantin különösen a retinában koncentrált. Az alacsony lutein és zeaxantin felvétel esetén korral összefüggő makula degenerációval, ateroszklerózissal és rákkal lehet számolni (CONNOR és mtsai., 2006).

A szem retináján sárgafoltnak nevezett terület nagy mennyiségben tartalmaz luteint és zeaxantint. Ezen karotinoidok segítségével szűrődik ki az a kék fény, amely nagy mennyiségben károsítja a retinát és a sárgafoltot (BOLLA, 2001). A szervezet nem tudja a látáshoz nélkülözhetetlen luteint előállítani, ezért azt a táplálkozás során kell felvenni. A lutein és zeaxantin hiánya felelős az egyik leggyakoribb látásromlást és akár vakságot is eredményező időskori sárgafolt elfajulásért (Age-related Macular Degeneration, AMD) (KRINSKY és mtsai., 2003).

Napjainkban újabb táplálkozástudományi kérdésre irányul a figyelem, miszerint összefüggés fedezhető fel az emberek elhízása és a szem elváltozásai között. Nevezetesen azok az emberek, akik túlsúlyosak sokkal nagyobb számban érintettek a retina sárga foltjának (macula lutea) degenerációjában, mint vele azonos korú, de normál testalkatú társaik. Számos irodalmi adat azzal magyarázza a jelenséget, hogy az elhízás során egyenetlenül eloszló zsírszövetben deponálódnak azok a molekulák, amelyek a degenerációt megakadályozhatnák. Ezek a vegyületek a **természetes eredetű karotinoidok**, amelyek közül egyesek A-provitaminok a szervezetben a macula luteában találhatók a legnagyobb mennyiségben (RAO és AGARWAL, 1999).

A lutein metabolizmusa különbözik a β-karotin metabolizmusától, vagyis később jelentkezik a felszívódás maximuma (humán adatok szerint 8 óra helyett, csak 11 óra elteltével) (BURRI és CLIFFORD, 2004).

Csibék emelt dózisú lutein, zeaxantin vagy β-karotin kiegészítésben részesültek, így tanulmányozták azok transzportját, megoszlását és a plazma, ill. szövetek közötti kölcsönhatását (CONNOR és mtsai., 2006). A lutein és zeaxantin nagymértékben növekedett minden szövetben, beleértve a retinát is. A magas lutein csoportban zeaxantin maradt emelt mennyiségben a retinában, de szignifikánsan csökkent más szövetekben. A magas zeaxantin csoportban a retinában a lutein szint állandó volt, de csökkent minden más szövetekben. A retinában nem fordult elő a β-karotin az emelt mennyiség esetében, noha a plazmában és szövetben egyenesen nagy mennyiségben volt jelen. A lutein és zeaxantin szint az emelt β-karotin mennyiséget követően a plazmában és a szövetben csökkent, de a retina szintjén változatlan maradt. Összességében a lutein és zeaxantin

mennyisége sokkal nagyobb volt a retinában, mint bármely más szövetben. Csak a lutein és zeaxantin maradt meg a retinában, de kiürült az egyéb szövetekből, amikor a táplálék az egyikben vagy másikban hiányos volt, tehát nem volt lutein-zeaxantin kölcsönhatás.

A lutein a baromfi takarmányok és szöveteik fő oxikarotinoidja. Lutein akkumuláció a májban három formában lehetséges: szabad alkohol, monoészter és diészter (BRUSH, 1990).

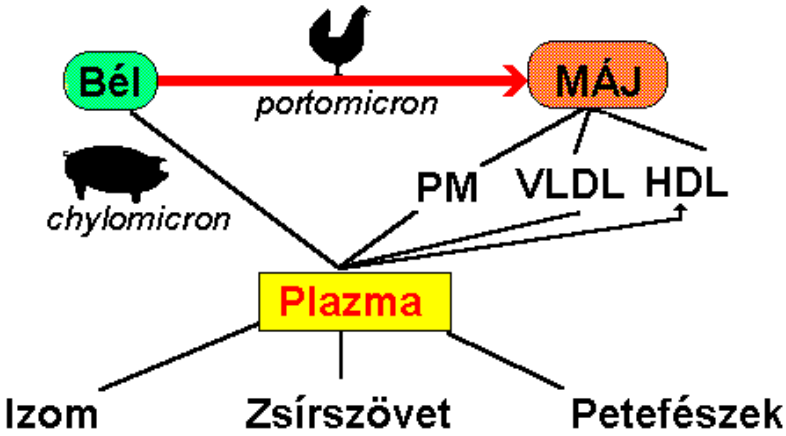
Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a lutein képes zeaxantinná alakulni a retinában, ezért a kellő mennyiségű lutein biztosítja a szem védelmét, emiatt is indokolt a megfelelő ellátottság.

## 3.3. A baromfi karotinoid anyagcseréjének sajátosságai

### 3.3.1. .A baromfi lipoprotein metabolizmusa

A madarak vérplazmájában található trigliceridek jelentős része a VLDL-ben van jelen. A tojásrakás idején igen élénk a madarak lipidanyagcseréje és így igénye is nagy, hiszen a tojás 10-12%-a zsír. A lipoproteinek arányát az életkor és az ivar is befolyásolja. Egynapos csirkékben a HDL aránya kicsi, az LDL-é nagy. Felnőtt kakasok és inaktív tojótyúkok VLDL, LDL és HDL frakciói azonosak, és jelentősen eltérnek a tojótyúkok magas VLDL koncentrációjától (ÁGOTA, 2000).

Jelen esetben a kilomikron megfelelője- az emlősökkel ellentétben- a portomikron (PM), mivel itt nincs intesztinális nyirokrendszer, így a lipoproteinek közvetlen portális keringésen keresztül szekretálódnak, lévén, hogy a madarak bélcsatornája ilyen tekintetben fejletlenebb az emlősökéhez viszonyítva (BENSADOUN és ROTHFIELD, 1972) (6. ábra).




*6. ábra. A lipidek útja a felszívódás után* (ÁGOTA, 2000)

Meglehetősen kevés az ismeretünk a kilomikron és portomikron biokémiai hátteréről, azonban ismert, hogy a lipoprotein forma nem utal a lipidek felszívódásának limitálására

(KROGDAHL, 1985). A felszívódó sejtekből a lipoproteinek a sejtközötti (intersticiális) folyadéktérbe szekretálódnak, áthaladva a nyálkahártya kötőszövetén (lamina propria) és a kapillárisok endoteliális sejtjein (NOYAN és mtsai., 1964; GRANEY, 1967; BENSADOUN és ROTHFIELD, 1972; HOLMAN, 1979).

A tojótyúkok lipidmetabolizmusa elsősorban ösztrogén hatáson keresztül valósul meg (KANPAI és mtsai., 2004), így az általános zsíranyagcseréhez szükséges VLDL molekula átmérője mintegy a felére (25-45 nm) csökken (WALZEM és mtsai., 1999). Ez az ún. VLDLy *(y: yolk)* ami képes a növekvő tüsző follikulus granulosa pórusain átjutni és specifikusan apoprotein receptorával ahhoz kapcsolódni. Jelentősége abban rejlik, hogy a lipidek szállítása mellett a karotinoidok transzportjait is megvalósítja.

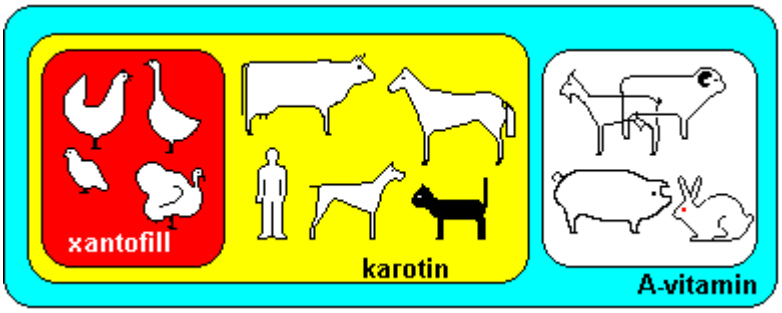
A tápanyagoknak a külső forrásból az embrionális vérkeringésen keresztül el kell jutniuk a fejlődő embrióba. Az ovipar fajokban a tápanyagok szállítását a szikzacskó membrán szabályozza. A csirkeembrió fejlődése során a szik lipidjei a kapcsolódó fehérjéikkel együtt (apo B, apo-VLDL-II és vitellogenin) a szikzacskó membrán endodermális sejtjei által endocitózissal felvételre kerülnek, ahol a lipidek és a fehérjék a lizoszómális aktivitás következtében hidrolizálódnak. A lipidekből szabad zsírsavak, glicerin és gliceridek, a fehérjékből aminosavak kerülnek a citoplazmába (SPEAKE és mtsai., 1998). Majd az endodermális sejtekben az igen magas aciltranszferáz aktivitás következtében az apoprotein szintézissel párhuzamosan lipoprotein részecskék szintetizálódnak. Ezek az endodermális sejtek bazális felületén szekretálódnak a szikzacskó membrán kapillárisaiba, ahonnan ezt követően bekerülnek az embrió vérkeringésébe (SPEAKE és mtsai., 1998; THOMPSON és SPEAKE, 2002).

A szikzacskó membrán a fejlődés során tápláló, metabolikus, immunológiai, szekréciós és hematopoetikus funkciókat ellátó szövet. Madarakban a szikzacskó membrán esszenciális jelentőségű az embrionális fejlődés alatt. Ez a szövet főként az embrió táplálásáért felelős. A szikzacskó membrán a lipideket reszorbeálja és az embriót a keringésen keresztül ellátja (GERHARTZ és mtsai., 1999).

### 3.3.2. A baromfi karotinoid metabolizmusa

A madarak, ahogy az összes állat, a táplálékból jutnak a karotinoidokhoz. Ezek a sárgás-vöröses festékek metabolizálódnak a szervezetükben, színezik a bőrt és a tollakat, beépülnek a fejlődő tüszőkbe, a tojássárgája jellegzetes színét eredményezik. A madarakban ezekért a hatásokért főleg az oxikarotinoidok, a xantofillok a felelősek.

A madarakban jelentősebb a karotinoid raktár (*bőr, toll, zsír, tojássárgája*) aminek nemcsak metabolikus, de jelző funkciója is van (*nászruhák, csőrök, torkok színe*) (7. ábra).




*7. ábra. A karotinoid transzformáció és tárolás függvényében kialakuló fajonkénti különbségek* (GREGOSITS és mtsai., 2007)

A madarak karotinoid abszorpciója jelentős hasonlóságot mutat a zsírok felszívódásával, azonban egyes fajlagos receptorok megléte magyarázhatja a faji különbségeket. Sem a karotinoidok, sem az A-vitamin nem találhatók a limfatikus rendszerben, igaz a bélcsőben lévő bélbolyhokból teljesen hiányoznak a centrális nyirokkapillárisok (GRANEY, 1967), így azok eltérően az egyéb lipoidoktól, a felszívódást követően nem a nyirokba, hanem a lipoprotein komplex részeiként a portális keringésbe jutnak (BRUSH, 1981). Ezért ezt a komplexet portomikronnak nevezzük.

A madarakban van a felvett karotinoidok hasznosítására alkalmas enzimrendszer, így pl. az elfogyasztott β-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) (GOODWIN, 1986; BRUSH, 1990; RAILA és mtsai., 2002).

Az oxigént nem tartalmazó karotinoidok (karotinok) majdnem kizárólag csak a madarak retinájában, májában és kis mennyiségben az adipocitákban találhatók, míg az oxikarotinoidok különböző helyeken halmozódnak fel: a bőrben, a tollazatban, a zsírszövetben és a tojássárgájában (ÁGOTA, 2000).

Mivel az állati termékek közül a tojás jelentős karotinoid és retinoid forrás ezért szükséges a tyúkok karotinoid metabolizmusának ismerete.

A karotinoidok metabolizmusában az emlősök és madarak között éppen a lipidmetabolizmusban meglevő jelentős különbségek miatt több, már eddig is ismert eltérés tapasztalható (KLASING, 1998).

A felsorolt számos jótékony fiziológiás hatás mellett a baromfitenyésztésben már régóta alkalmazzák a karotinoid származékokat az állati termék (vágott baromfi bőre, tojás) színezésére. Jelen gyakorlatban ezek többsége mesterségesen előállított oxikarotinoid és/vagy apokarotin-aldehid, -sav vagy -észter.

**A tojás karotinoidjainak és (pro)vitaminjainak szerepe a keltetésben**

A tojás karotinoid tartalma számunkra fontos mikronutriens forrás. Az embrió vitaminszükségletét a tojás vitamintartalmából fedezi, sőt a kelés után bizonyos ideig még a tojásban levő készletből kell a szervezetnek tartalékként vitaminokat raktározni. A tojásfehérje viszonylag szegény vitaminban, a B-vitamin csoport tagjain kívül mást nem tartalmaz. A sárgájában levő gazdag vitaminkészlet az embrió ellátásának biztosításán kívül kihat még egyéb élettani folyamatokra is (KISS, 1973). A karotinoidok közreműködnek többek között az oxido-redukcióban, a szénhidrátok és zsírok anyagcseréjében, a Ca-szállításban is. A tojás vitamintartalma a tojó táplálkozásával szorosan összefügg. A tojás alkalmas arra, hogy akár vitaminokat akár mikroelemeket halmozzunk fel benne. A tyúkok táplálékához intenzív tojóházi tartásban a vitaminokat a szükségletnek megfelelő mértékben hozzá kell keverni.

Az antioxidáns vegyületek fő funkciója az oxidatív anyagcsere során keletkező szabadgyökök eltávolítása, illetve mennyiségük élettani szinten tartása, ami az immunrendszer támogatásában is megnyilvánul (CHEW és PARK, 1976; BRITTON, 1995; KISS és mtsai., 2003a). A különböző baromfifajok inkubációja során az embrionális fejlődéshez, a kardiovaszkuláris rendszer kialakulásához elengedhetetlen az „antioxidáns háttér” (EL-SALAHY és mtsai., 2001; STEPHANY és mtsai., 2003). A madárembrió egy félig zárt rendszerben fejlődik, ahol keltetés alatt csak a víz és a gázok cserélődnek a környezettel (SINKOVITSNÉ, 1968). A fő tápláló és biológiailag aktív anyagok (makro- és mikronutriensek, beleértve az antioxidáns komponenseket is) a tojásba a tojásképződés során épülnek be és raktározódnak, elsősorban a tojássárgájában. Az embrionális fejlődés e raktározott anyagok mennyiségétől, minőségétől és metabolizmusától függ. Az embrió a keltetés során a készleteiből is szintetizál néhány szükséges anyagot az antioxidáns rendszer működéséhez (ETCHES, 1996; KLASING, 1998; IPEK és mtsai., 2004). Az embrió antioxidáns védelme tehát a takarmány beltartalmától, illetve a tojó anyagcseréjétől is függ (WHITEHEAD és PORTSMOUTH, 1989; LEESON és WALSH, 2004), és a takarmányok antioxidáns kiegészítésével fokozható (LENGYEL és mtsai., 2002).

Madarak esetében az embrionális és a kelést követő időszak között az oxigénellátás lényegesen eltérő. Ekkor ugyanis a korábbi intrauterin környezethez viszonyítva jóval nagyobb oxigénszint az uralkodó, ami a még fejletlen antioxidáns enzimrendszer miatt oxidatív stresszt jelent a fiatal állatnak (VAN GOLDE és mtsai., 1998). Bizonyított, hogy a légköri oxigén belégzésekor keletkező oxidatív stresszt az állat antioxidáns rendszere kezeli (MULLER, 1987; GAÁL és mtsai., 1996), azaz közvetlen a kelést követő életszakaszban ez a védelem képes az újszülöttkor relatív hiperoxiás körülményeit semlegesíteni (MULLER, 1987). A β-karotin kiegészítésben részesült japánfürj családoktól gyűjtött tojások termékenységi és keltethetőségi (életképesség, kelési százalék)

paraméterei javultak. Az embrióhalandóság mértékének csökkenése következtében az inkubált tojásokból több, egészséges csibe kelt ki (KERTI és BÁRDOS, 1997).

### 3.3.3. A baromfi karotinoid felszívódására és szöveti megoszlására irányuló kísérletek

A retinoidokkal összehasonlítva viszonylag keveset tudunk az állati szervezetben lejátszódó karotinoid felszívódási és metabolikus folyamatokról. Különösen madarakban hiányosak az ismereteink (GREGOSITS és mtsai., 2007). A kísérletek túlnyomó többségét provitamin hatásának köszönhetően főleg β-karotinnal végezték.

A karotinoidok szérumban, májban, a testzsírban és retinában történő akkumuláció és elosztás tekintetében a japánfürjben tapasztalt jelenségek (TOYODA és THOMSON, 2002) a macula degenerációval kapcsolatban modell értékűen alátámasztják az emberben leírtakat. Természetesen minden ilyen összehasonlítás, csak kellő körültekintéssel vehető figyelembe, mivel számos fajspecifitás létezik (LEE és mtsai., 1999).

Azt is igazolták, hogy a természetes mátrixba bejuttatott karotinoidok, antioxidánsok sokkal hatékonyabban szívódnak fel és raktározódnak a májban (WEST és CASTENMILLER, 1998). A tojásban az előbb említett vegyületeken túl a specifikus ellenanyagok mennyisége is növelhető különösen az antioxidáns karotinoidokkal történő emelt dózis esetén (KISS és mtsai., 2003a).

Kísérletek bizonyítják, hogy a karotinoidok részt vesznek a sejt-sejt közötti kommunikáció kialakításában (BERTRAM és VINE, 2004), az immunválaszban szereplő szövetek épségének megőrzésében és a reprodukciós folyamatokban is, habár a bonyolult mechanizmusok élettani magyarázata még sok esetben tisztázatlan (OLSON, 1999).

Japánfürjeknek szárított paradicsompüré formájában adagolt likopin hatékonyan felszívódik, azaz megjelenik a vérben, amivel azután eljut, majd beépül a tojásba (BÁRDOS és mtsai., 2004; BÁRDOS és mtsai., 2005).

Táplálkozásélettani jelentőségűek azok a megfigyelések, amelyekben brojler csirkéknek adott likopin a T-2-toxin tartalmú táp etetésekor bekövetkező citotoxikus hatást csökkentette és a sejtvédő hatást *in vitro* is sikerült bizonyítani (LEAL és mtsai., 1998).

A kutatóhelyen végzett korábbi vizsgálatok már bebizonyították, hogy a tojóták retinoid, de az azzal ekvivalens β-karotin kiegészítése is növeli a tenyésztojások keltetési paraméterekkel jellemezhető biológiai értékét (KERTI, 1998).

Ha tojók takarmányába a fiziológiás mennyiségnél nagyobb mennyiségű E-vitamint, szelént, β-karotint adagolunk, ezek a vegyületek a tojássárgájában feldúsulnak és mind keltetési, mind táplálkozásélettani vonatkozásban hasznosulnak (LENGYEL és mtsai., 2001).

KARADAS és munkatársai (2005) a tyúkok, illetve az utódok takarmányának karotinoiddal történő kiegészítésének hatékonyságát hasonlították össze a naposcsibék karotinoid státuszára vonatkozóan a kelést követő 4 hétben. A kiegészítésben részesült tyúkok tojásaiból fejlődő csibék májának karotinoid koncentrációja kezdetben 29x nagyobb volt, mint a kontroll csibékben, és kontroll takarmányon tartott állatokban a kelést követő 7. napig megőrizte kedvezőbb összetételét. Az anyai hatás, amely az utódnemzedék életképessége szempontjából fontos, legalább a kelést követő első héten érvényesült. Az embrionális máj szik eredetű karotinoid tartalma jelentős potenciális készletként szolgálhat az egyedi élet kezdetekor az oxidatív stresszel szembeni védekezésben (SURAI és mtsai., 1996).

A keltetés 15-21. napjai között a csirkében a sziktartalom karotinoid koncentrációjának fokozatos csökkenését figyelték meg, amivel párhuzamosan a szikzacskó membrán rétegében ezen anyagok szintjének növekedését tapasztalták. A szikzacskó membrán rétegében az embrionális fejlődés 17. napján a karotinoid koncentráció maximális értéket ért el, majd ezt követően kikelésig a felére csökkent. A lipidoldható antioxidánsok koncentrációja az embriók májában ugyancsak jelentősen megnövekedett (18 napos embrió, illetve kikelést követő első napok között mintegy tízszeresére nőtt). A madár embrionális fejlődése alatt a lipidek a szikzacskóból a szikzacskó membránon keresztül a vérkeringéssel szállítódnak a fejlődő szövetekhez. A tapasztalatok szerint a szik, a szikzacskó membrán és az embrionális máj karotinoid tartalmának több mint 93%-át a lutein alkotta. Ezért a HPLC helyett fotometrálással következtettek a karotinoid tartalomra. Feltételezés szerint a szik karotinoidjai a szikzacskó membránon történő átjutásukat követően a plazma lipoproteinekbe épülnek be, ezt követően a szik eredetű karotinoidok jelentős hányada a májban raktározódik a lipoprotein remnant alkotórészeként. Így az embrionális máj karotinoid tartalma jelentős potenciális készletként szolgálhat a korai élet során az oxidatív stresszel szembeni védekezésben (SURAI és mtsai., 1996).

A karotinoidok fontos szerepet játszanak az embrió antioxidáns védelmében. Az inkubáció végén (17. nap) és a posztnatális időszak első napjai között jelentős növekedés (39-45%) tapasztalható az embrionális máj lutein és zeaxantin koncentrációjában japánfürjekben. A lutein és a zeaxantin a tojássárgája és a szövetek fő összetevője (DVORSKA és mtsai., 2002).

Azonos nagyságú β-karotin és lutein egyszeri dózis esetén a plazma lutein koncentrációja a β-karotin koncentráció kétszerese volt. Betatene (Cognis GmbH) karotinoid komplex adagolását követően a kilomikronokban elsősorban a lutein és a zeaxantin tartalom növekedett meg a β-karotinnal szemben.

A nagyvirágú bársonyvirág sziromlevél (*Tagetes erecta*) magas lutein tartalommal rendelkezik: hosszú szénláncú zsírsav diészterként van jelen ≈ 2000 ppm karotinoid tartalommal.

Broiler csirkékben a jejunumban és a vastagbél-tartalomban a lutein három formában fordul elő. A plazmában elsősorban szabad lutein (90%) és monoészter (10%), valamint nyomokban diészter található. A májban a szérumban megfigyelt arányoknak megfelelően mutathatók ki a lutein vegyületek. Ezzel szemben a végtagok bőrszövetében ellenkező a vegyületek előfordulási gyakorisága (diészter>monoészter>szabad lutein). A táplálék diészter lutein vegyülete a bélcsatornában monoészterré és szabad luteinné hidrolizálódott, utóbbi a bél falán keresztül felszívódott és vérárammal eljutott a raktározás helyére, a májba. A kötőszövetbe már ismét a diészter formaként észterifikálódva került tárolásra, mint fő depó forma (BREITHAUPT és mtsai., 2003).

A lutein két úton metabolizálódik. 1: acilálódás lutein monoészterré, amely monoészter kétféle lehet aszerint, hogy a lutein molekula melyik vége észterifikálódott (3-, illetve 3'-hidroxil csoport a β-, illetve az ε-termináns gyűrűn). Majd további acilálódás lutein diészterré (mindkét hidroxil csoport észterifikálódik). 2: lutein oxidációja 3'-oxoluteinné (SCHAEFFER és mtsai., 1988).

A kikelést megelőzően (16., 18., 20., 21. nap) csibékben a duodénumban alig detektálható β-karotin-15,15'-dioxigenáz aktivitás, azt követően az első 24 órában nagyon gyorsan növekszik, majd a továbbiakban (1-5 napon) szintén igen gyors (ötszörös) növekedés jelentkezik. Ugyanakkor az embrionális májban jelentős β-karotin-15,15'-dioxigenáz enzimaktivitás mérhető (16. nap), ami a kelést megelőző szakaszban fokozatosan tovább növekedett, egészen a nevelés 7. napjáig, amikor az embrionális érték négyszeresét érte el. Az enzim a duodénumban kisebb aktivitású, mint a májban. A csibe bélcsatornájában és májában a kelés környékén a provitamin karotinoid tartalom múlandó megemelkedését írták le. Néhány nappal a kikelés előtt a szikzacskó tartalma (β-karotin és retinol) elkezdett behatolni a vékonybél üregébe. A perinatális szakaszban a vékonybél β-karotin-15,15'-dioxigenáz aktivitás hiányában nem képes a β-karotin retinallá történő konverziójára. A β-karotin retinallá történő alakulás nélkül szívódik fel az embrió bélcsatornájából, beépül a portomikronba, elszállítódik a májba, ahol az ott mérhető β-karotin-15,15'-dioxigenáz enzimaktivitás következtében a β-karotin kisebb hányada át tud alakulni retinollá (TAJIMA és mtsai., 2001).

20 napos csirkeembrió vékonybél lumene kis mennyiségben tartalmazott β-karotint, ezt követően a β-karotin tartalom jelentősen megnövekedett, kelést követő 3. napon elérve egy maximális értéket. Ez a perinatális vékonybél β-karotin tartalom változás megegyezik a szérum β-karotin koncentráció értékeivel a kikelés időszakában. A szérum β-karotin koncentrációjának átmeneti megemelkedését a lumen β-karotin tartalmának növekedése okozta, ami a szik karotinoid tartalmából származott, annak hasüregbe történő bejutásával. Ezt azonban a csibék a β-karotin-15,15'-dioxigenáz hiányában képtelenek voltak retinollá átalakítani, ugyanis a napos csibéknek a

kelést követő első 24 órában nem volt lehetőségük takarmányfelvételre. A vékonybél szikből származó β-karotin tartalma a bélcső üregében maradhat és a kelés idején hatékonyan felszívódhat (TAKASE és mtsai., 1995).

Az optimális karotinoid ellátás a tojómadár szaporodásbiológiai teljesítményét fokozza, és a keltetésbiológiai eredményeket is javítja (KERTI és mtsai., 2008).

# 4. ANYAG ÉS MÓDSZER

## 4.1. Kísérleti állatok

A karotinoid metabolizmus szövetspecifikus szabályozásának és a funkciók megismerésének igen jó modellje a házi tyúk, mivel az embrionális fejlődés alatt a sziktömlő membránjának és a májszövetnek, kikelést követően a vékonybélhám sejtjeinek van jelentős karotinoid metabolizáló képessége (POOR és mtsai., 1987). Vizsgálataimhoz ezért a tojótyúk különböző korcsoportjait választottam.

Az Állatélettani és Állategészségtani Tanszék (ÁÉET) kísérleti állatházában 103/2002 (V. 10.) Kormány Rendelet előírásainak megfelelően, az állatkísérletek elvégezhetőek voltak, ehhez a kutatóhely engedéllyel rendelkezett.

## 4.2. Kísérleti elrendezések

Kísérleteimet a következők szerint végeztem el:

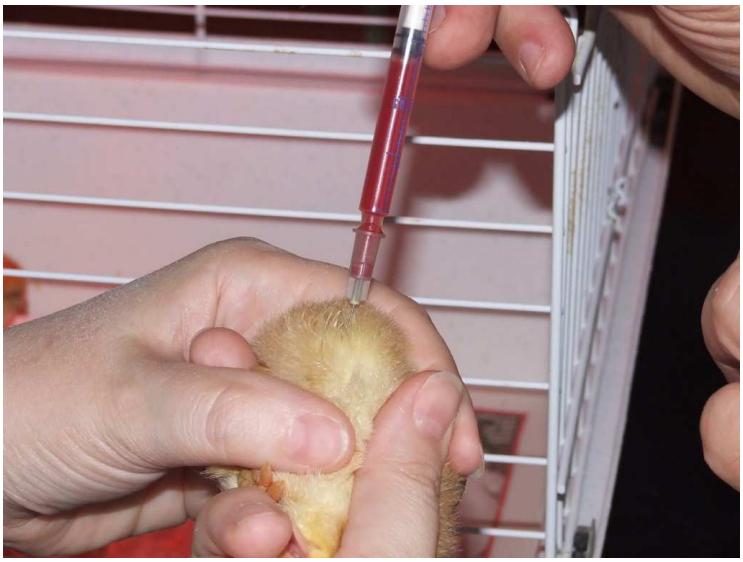
### 4.2.1. A likopin, lutein, β-kriptoxantin felszívódásának vizsgálata naposcsibében, a kelést követő 72 órában (I. kísérlet)

A kísérletet 63 db naposcsibével végeztük a kelést követő 72 órában. A karotinoid felszívódás tanulmányozására *per os* adagoltuk a kísérleti állatoknak a természetes eredetű karotinoidokat.

A kezelt állatok (63 db - csoportonként 7 állat) a következő kiegészítésben részesültek: 5 ppm lutein [0,152 g Capsantal EBS 40 NT: nagyvirágú bársonyvirág (*Tagetes erecta*) kivonata, melynek hatóanyagtartalma: 40 g/kg sárga xantofill: 0,8% ß-karotin (BC), 1,5% kriptoxantin (BCX), 82,0% transz-lutein (LU), 4,0% transz-zeaxantin (ZX), 11,7% egyéb karotinoidok], és 5 ppm likopin (0,012 g sűrített paradicsom). Minden esetben 125 µl napraforgóolajjal elegyítettük a hatóanyagot, majd 500 µl-re vízzel egészítettük ki. Az így készült emulziót a csibéknek csőrükön keresztül pipettával adagoltuk. Az ivóvízzel történő ellátás folyamatos volt, ugyanakkor a kiegészítésen kívül az állatok nem juthattak egyéb tápanyagokhoz.

A kezelést követően az állatokat a 0., 2., 4., 6., 8., 24., 36., 48., illetve 72. órában *lege artis* elvéreztettük (minden jelzett órában 7 állatot), a felfogott vér alvadását követően centrifugálással szérumot nyertünk, a szikzacskót és a májat kipreparáltuk. A mintákból HPLC technikával direkt extrakciót követően Rocket Platinum-CN oszlopon (Alltech Inc.) normál fázison izokratikus elúcióval meghatároztuk a karotinoid profilt.

A továbbiakban az előző kísérlet kiegészítéseként újabb 42 naposcsibének 3,846 mg mennyiségű Redivivo™ Lycopene 5,2% TG/P (DSM Nutritional Products) likopint 0,5 ml vízzel keverve készítettünk elő, majd fecskendővel (8. ábra) közvetlenül a szikzacskóba juttattunk.



*8. ábra. Naposcsibénél a likopin közvetlenül szikbe történő injektálása*

Az ily módon kezelt állatokat ismételten elvéreztettük a 0., 24., 48. és 72. órában (a jelzett órákban átlagban 10 állat), majd a vér, szik (9. ábra) és máj (10. ábra) mintákat gyűjtöttük és a mintákból HPLC technikával, direkt extrakciót követően normál fázison izokratikus elúcióval meghatároztuk a karotinoid profilt.

*9. ábra. A szikzacskó és az azt tartalmazó szikfolyadék preparálása*

*10. ábra. A máj preparálása*

### 4.2.2. A likopin, β-karotin és a lutein felszívódása tojótyúkokban (II. kísérlet)

Tojótyúkokkal (közel egyéves, már termelő *bovans nera* tojóhibridek; *8* állat/kezelés) végzett kísérleteinkben egyszeri, 20ppm karotinoid *p.os* adagolását követően a vérplazma HPLC analízisével vizsgáltuk az onnan kimutatható karotinoidok kinetikáját (0-48 óra). A kísérletben felhasznált *bovans nera* tojótyúkokat tenyésztőtől (Kamarás Kft., Mogyoród) vásároltuk.

A kiegészítést a tyúkok által átlagosan ismert napi takarmányfogyasztás és irodalmi adatok alapján számítottuk: 20 ppm karotinoid/állat (357 mg lutein CWS/S-TG 5,6%; 192,3 mg β-karotin 10,4%; 384,6 mg Redivivo likopin 5,2%; DSM Nutritional Products). Ennek kétféle kombinációja a következő volt: a 20 ppm karotinoid/állat karotinoidonként 1/3-ad részből (6,6 ppm lutein + 6,6 ppm β-karotin + 6,6 ppm likopin) tevődik össze, illetve 3 x 20 ppm karotinoid/állat (20 ppm lutein + 20 ppm β-karotin + 20 ppm likopin) volt a dózis.

Az alkalmazott vízben oldódó karotinoid készítményekből kimért mennyiségeket napraforgóolajjal 1:1 arányban összekevertük. A szuszpenziót szondán át az állatok begyébe juttattuk. Az egyszeri karotinoid kiegészítést követően az állatok *ad libitum* fogyaszthatták a kereskedelmi forgalomban kapható általános árutojó alaptakarmányt (beltartalma: 1. táblázat) és az ivóvizet.

*1. táblázat. A II. kísérletben használt árutojó táp garantált beltartalmi paraméterei/kg*

| | |
|---|---|
| Szárazanyag, % | 89,30 |
| Nyersfehérje, % | 16,28 |
| ME, MJ | 12,10 |
| Nyersrost, % | 4,20 |
| Nyerszsír, % | 2,80 |
| Kalcium, % | 3,30 |
| Foszfor, % | 0,72 |
| Nátrium, % | 0,15 |
| A vitamin, NE | 9600,00 |
| D vitamin, NE | 2400,00 |
| E vitamin, mg | 44,00 |
| Lizin, % | 0,74 |
| Metionin, % | 0,39 |
| Met.+Cisz, % | 0,68 |

A kísérlet kezdetekor nátrium EDTA-ra 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 és 48 óra elteltével egyedi vérvételre került sor (kb. 3 ml), a tojásokat folyamatosan gyűjtöttük. A mintákból HPLC technikával karotinoid (lutein+zeaxantin, β-kriptoxantin, likopin, β-karotin) és retinoid (retinol, retinil-palmitát) profil meghatározást végeztünk.

A karotinoidok antioxidáns hatásának jellemzésére a plazmából vasredukciós tesztet (FRAP) végeztünk, ill. meghatároztuk a vörösvérsejt hemolizátum tiobarbitursav-reaktív anyag (TBARS) szintjét.

### 4.2.3. A likopinkiegészítés hatása a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére (III. kísérlet)

*Kísérleti elrendezés*

A kísérletet egy 14 000 férőhelyes, battériákkal berendezett tojóistállóban végeztük. Az istállóban *hy-line brown* árutojást termelő tojóhibridek voltak elhelyezve az állatvédelmi szabályoknak megfelelően. Egy rekeszbe 6 db tojótyúk került elhelyezésre. A tyúkok etetése szalagos takarmánytovábbítóval ellátott külső vályúból, az itatás szelepes önitatóból történt. A kísérleti állatok előtti etetőszalagra 4-4 ketrecet ellátó vályú volt helyezve, amibe naponta kétszeri feltöltéssel a kísérleti takarmány adagolása történt, ami így gyakorlatilag *ad libitum* állt a tyúkok rendelkezésére. A külön takarmányozott állatok tojásait egy, a tojásgyűjtő szalagra merőlegesen elhelyezett terelőlap segítségével külön lehetett gyűjteni. A három kezelt csoport kontrolljának az istállóban termelő állományból véletlenszerűen vett minták szolgáltak.

*Kísérleti takarmány*

A telepen alkalmazott tojótáp összetételét figyelembe véve készült a kísérleti takarmány, ami sárgító adalékot (kantaxantin tartalmú Carophyll® Red – DSM Nutritional Products) nem tartalmazott. Az egyik tojócsoport ezt a takarmányt fogyasztotta ($LY_0$ csoport). Két másik kísérleti csoport takarmányának alapját ugyanez a kantaxantin mentes keverék képezte, de az $LY_5$ csoport esetében 5g, az $LY_{10}$ csoport esetében 10g Redivivo™ Lycopene 5% TG/P (DSM Nutritional Products) is volt kilogrammonként a takarmányba keverve. Ezáltal 250 mg, ill. 500 mg likopint tartalmaztak a tápok takarmány-kilogrammonként.

*Mintavételezés*

A kísérlet kezdetekor két hétig mindhárom csoport (összesen 72 állat) a Carophyll nélküli takarmányt fogyasztotta. Két hét elteltével csoportonként 10-10 tojást gyűjtöttünk, és 10-10 vérmintát (5 ml/állat) vettünk a kezelt és kontroll állatokból is. Ezt követően a csoportok a kísérleti takarmányt fogyasztották ($LY_0$, $LY_5$ és $LY_{10}$). Minden kezelési hét végén 10-10 tojást gyűjtöttünk csoportonként négy héten át. A negyedik hét végén ismét vért vettünk minden csoport 10-10 állatából.

Vizsgáltuk a vér karotinoid és retinol koncentrációját, a tojássárgája színintenzitását, valamint a szérum és a tojássárgája lipid koncentrációit. A karotinoidok antioxidáns hatásának jellemzésére meghatároztuk a tojássárgája tiobarbitursav-reaktív anyag (TBARS) szintjét.

## 4.3. Keltetési technológia

Az I. kísérletben szereplő naposcsibéket az Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézet Gödöllői Kutatótelepétől vásárolt, egy állományból származó tenyésztojásokból (szülői háttér: sárga magyar fajta) keltettük az Állatélettani és Állategészségtani Tanszék laboratóriumában lévő ME3M (MainoEnrico-Ariano Di Maino Roberto C.S.N.C.) típusú keltetőgépben.

## 4.4. Biológiai mintavétel

Attól függően, hogy a karotinoid és retinoid analíziseket milyen nagynyomású/érzékenységű kromatográfiás rendszeren [normál fázisú: a.) NP-HPLC, ill. fordított fázisú: b.) RP-HPLC] végeztük a minta előkészítések eltérőek voltak.

*Plazma/szérum előkészítése –karotinoid és retinoid analízishez*

A mintákat -20°C-on tároltuk. A lefagyasztott mintákból felolvasztás és örvénykevertetés után 250 µl-t mértünk 4 ml-es centrifugacsőbe, majd ehhez 250 µl 10%-os aszkorbinsavat és 500 µl

etanolt adtunk, 30 másodperces örvénykeverés után 1000 µl hexánt mértünk hozzá, majd ismét 30 másodpercig örvénykevertettük. 10 perces centrifugálást követően a tiszta felülúszóból:

a.) NP-HPLC analízishez közvetlenül felhasználtuk a szeparátumot.

b.) RP-HPLC analízishez 400µl-t Eppendorf-csőbe pipettáztunk, és $N_2$ áramoltatással bepároltunk (kb. 4-5 percig). A maradékot közvetlenül a HPLC-oszlopra történő injektálás előtt 100 µl etanol-dioxán 1:1 arányú keverékben felvettük, és rövid ideig tartó örvénykeverés után 150 µl acetonitrilt adtunk hozzá.

*Máj előkészítése –karotinoid és retinoid analízishez*

Az elvéreztetett csirkék boncolása során kiemeltük a májat, lemértük a tömegét, majd feldolgozásig -20°C-on tároltuk. A lefagyasztott mintákból felolvasztás után 0,3 grammot kimértünk, ehhez 1,5 ml 10%-os aszkorbinsavat adtunk. Örvénykeverés közben üvegbottal homogenizáltuk, és 3 ml extraháló keveréket (10:6:6:7: hexán: aceton: absz. etanol: toluol) adtunk hozzá. 10 perces centrifugálást követően a tiszta felülúszóból:

a.) NP-HPLC analízishez közvetlenül felhasználtuk a szeparátumot.

b.) RP-HPLC analízishez 400µl-t Eppendorf-csőbe pipettáztunk, és $N_2$ áramoltatással bepároltunk (kb. 4-5 percig). A maradékot közvetlenül a HPLC-oszlopra történő injektálás előtt 100 µl etanol-dioxán 1:1 arányú keverékben felvettük, és rövid ideig tartó örvénykeverés után 150 µl acetonitrilt adtunk hozzá.

*Szik előkészítése –karotinoid és retinoid analízishez*

Az elvéreztetett csirkék boncolása során kiemeltük a szikzacskót, lemértük a tömegét, majd a feldolgozásig a szikzacskót -20°C-on tároltuk. A lefagyasztott mintákból felolvasztás után 0,3 grammot kimértünk, ehhez 1,5 ml 10%-os aszkorbinsavat adtunk. Örvénykeverés közben üvegbottal homogenizáltuk, és 3 ml extraháló keveréket (10:6:6:7: hexán: aceton: absz. etanol: toluol) adtunk hozzá. 10 perces centrifugálást követően a tiszta felülúszóból:

a.) NP-HPLC analízishez közvetlenül felhasználtuk a szeparátumot.

b.) RP-HPLC analízishez 400µl-t Eppendorf-csőbe pipettáztunk, és $N_2$ áramoltatással bepároltunk (kb. 4-5 percig). A maradékot közvetlenül a HPLC-oszlopra történő injektálás előtt 100 µl etanol-dioxán 1:1 arányú keverékben felvettük, és rövid ideig tartó örvénykeverés után 150 µl acetonitrilt adtunk hozzá.

## 4.5. Analitikai módszerek

### 4.5.1. Nagynyomású kromatográfia HPLC

#### 4.5.1.1. Izokratikus normál fázisú nagynyomású kromatográfia (NP-HPLC)

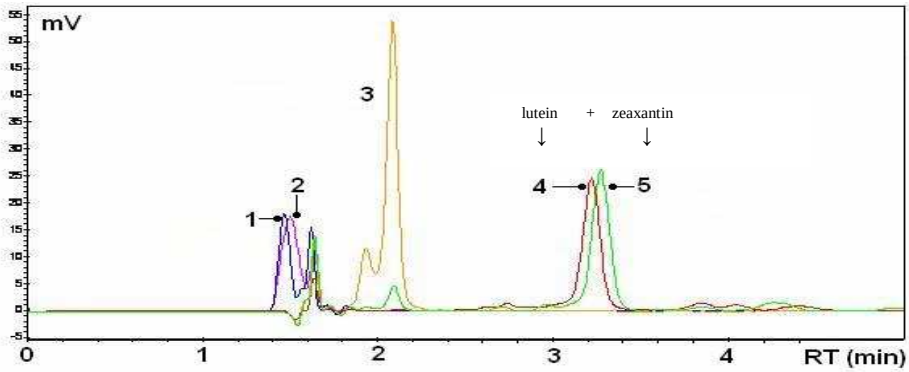
A tojássárgája, szik, máj és a szérum minták karotinoid és retinoid összetételét az I. kísérletben normál fázisú izokratikus HPLC módszerrel mértük (BIESALSKI és mtsai., 1986; BÁRDOS, 1988; MATUS és mtsai., 1994), meghatározva a jellemző karotinoid profilokat (11. ábra).

A HPLC készülék a következő egységekből állt:

- nagynyomású pumpa (Jasco PU-980 Intelligent HPLC Pump, Japan)
- átfolyós küvettával ellátott UV-Vis fotométer (ISCO V4 - Akron, USA)
- előtétoszloppal szerelt Rocket Platinum-CN analitikai oszlop (100A 3µ 53 mm x 7 mm) (Alltech, USA)
- Barspec Data Software Package System Version No. 1.26 (Barspec Systems, Inc. Izrael)

A szeparációs paraméterek a következők voltak:

- az iniciált minta mennyisége 20 ml,
- az eluáló folyadék: n-hexán/metanol (98:2). Mindkét oldószer HPLC minőségű (Reanal, Budapest)
- az elúciós áramlási sebesség és nyomás 1,51 ml/min, 50 bar,
- detektálási hullámhossz retinoidok esetében 325, karotinoidok estében 450 nm, likopin esetében 505 nm volt.

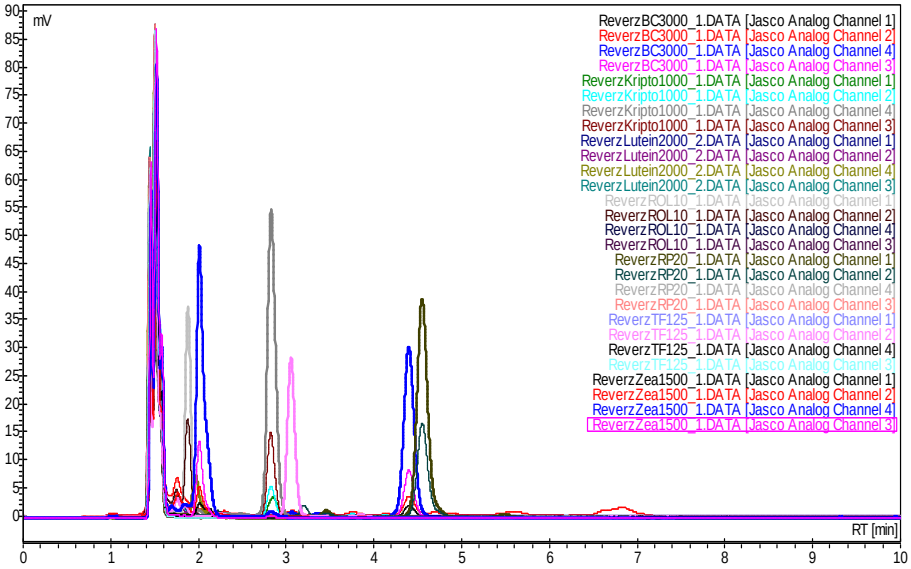



*11. ábra. nHPLC standard kromatogramok (1: ß-karotin, 2: likopin, 3: ß-kriptoxantin, 4: lutein, 5: zeaxantin)*

#### 4.5.1.2. Izokratikus fordított fázisú nagynyomású kromatográfia (RP-HPLC)

A tojássárgája, szik, máj és a szérum minták karotinoid és retinoid összetételét a II. és III. kísérletben fordított fázisú izokratikus HPLC módszerrel mértük (KERTI ÉS BÁRDOS, 2006).

A minta előkészítés részben leírt preparáció végén nyert tiszta kivonatot (20 µl) C18 Rocket Platinum oszlopra injektáltuk (100A 3µ 53 mm x 7 mm) (Alltech, USA), amely a HPLC rendszerhez kapcsolva PU-980-as pumpát és UV-2077 4λ-ás 4 csatornás detektort (Jasco, Japan) tartalmazott. A mozgó fázis acetonitril:tetrahidrofurán:metanol:ammónium-acetát 1%-os (684:220:68:28) keverékével lett előkészítve. Az áramlás mértéke 1 ml/perc volt, valamint a kromatogramok tokoferolra 290 nm-en, retinoidra 325 nm-en, karotinoidokra 450 nm-en és likopinra 505 nm-en lettek azonosítva. Az analízisek azonosítása a standardok (12. ábra) és a koncentrációk alapján a Chrompass programmal történt.




*12. ábra. rpHPLC standard kromatogramok*

### 4.5.2. Triglicerid meghatározás

A szérum triglicerid tartalmát szintén enzimatikus (GPO-POD) kolorimetriás módszerrel mértük (Reanal, Budapest). A trigliceridet a lipoprotein-lipáz (LPL) hidrolizálja. A keletkező glicerint a glicerokináz (GK), ATP jelenlétében, glicerin-3-foszfáttá alakítja. A glicerin-3-foszfát oxigén és glicerin-3-foszfát-oxidáz (GPO) közötti reakcióban hidrogén-peroxid képződik, amely peroxidáz enzim (POD) és színképző jelenlétében színes oxidációs terméket képez, melynek mennyisége a minta triglicerid tartalmával arányos és fotometriásan mérhető.

### 4.5.3. Koleszterin/HDL koleszterin meghatározás

Meghatároztuk a tojássárgája és szérum minták egyes lipoidjait is, így enzimatikus (CHOD-POD) kolorimetriás teszttel (Reanal, Budapest) a koleszterin (CH) koncentrációt, és a könnyű lipoproteid frakciók kicsapását követően a HDL koleszterin frakció értékét is.

A koleszterin zsírsavakkal történő észteresítését követően a hasítás koleszterin-észterázzal történt. A koleszterin-oxidázon (CHOD) keresztül katalitikus reakció során hidrogén-peroxid jött létre. Ez a hidrogén-peroxid a peroxidáz enzim (POD), valamint színképző segítségével színes oxidációs terméket képezett, ami már fotométerrel meghatározható volt, mivel annak összkoleszterin tartalmával arányos.

A VLDL, LDL, kilomikron (portomikron) frakciókat a plazmából foszforvolfrámsav-magnézium-reagenssel kicsaptuk. A HDL-frakciót a felülúszó tartalmazta. Ennek a koleszterin koncentrációját határoztuk meg Reanal koleszterin (CHOD-POD) diagnosztikai reagens készlettel.

### 4.5.4. Vasredukciós képesség (FRAP) mérése

Alacsony pH értéken a ferri-tripiridil-triazin ($Fe^{III}$ TPTZ) komplex a közegben jelenlévő oxidáns anyagok mennyiségének mértékében ferro ($Fe^{II}$ TPTZ) formájúvá redukálódik. Az utóbbi 593 nm-en mérhető intenzív kék elszíneződést ad (BENZIE és STRAIN, 1996).

Törzsoldatok

A: 300 mmol/l acetát puffer (3,1 g Na-acetát $^{*}3H_2O$+16 ml ecetsav ad 1l)
B: 10 mmol/l TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazin) 40 mmol/l HCl-ben oldva
C: 20 mmol/l ferri-klorid ($FeCl_3{}^{*}6H_2O$)
D: 1000 µmol/l ferro-szulfát ($FeSO_4{}^{*}7H_2O$)

Reagens oldat

A+B+C (10:1:1) naponta frissen készítve a mintaszám függvényében

Standard oldat

A D-törzsoldat hígításából készül

| Koncentráció (µmol/l) | D-törzsoldat hígítás |
|---|---|
| 1000 | eredeti D-törzsoldat |
| 750 | 1,5 ml ad 2,0 ml |
| 500 | 1,0 ml ad 2,0 ml |
| 250 | 0,5 ml ad 2,0 ml |
| 100 | 0,2 ml ad 2,0 ml |

Kivitelezés

20 µl minta (EDTA plazma) + 600 µl reagens ▲$OD_{593nm}$ 20 sec.

### 4.5.5. TBARS mérés

A tojássárgája oxidatív stabilitását jellemző TBARS értékek (kifejezve nmol MDA/g tojássárgája) meghatározását DORMAN és munkatársai (1995) által ismertetett módszer alapján végeztük. A tojássárgája mintából 0,1 g-ot 0,9 ml 1,15%-os KCl oldatban homogenizáltunk. A homogenizátum 0,5 milliliteréhez 1,5 ml 20%-os ecetsavat (pH 3,5), 1,5 ml 0,8%-os tiobarbitursav oldatot (1,1% Na-dodecyl-szulfátban oldva) és 0,5 ml desztillált vizet adtunk. Homogenizálás után 100 °C-os vízfürdőben 30 percig inkubáltuk. Az elegyhez lehűtés után mintánként 5ml n-butanolt adtunk, majd újbóli homogenizálás után 1500 fordulat/perc fordulatszámon 10 percig centrifugáltuk. A butanolos fázist butanol vak oldattal szemben 532 nm-en fotometráltuk. A mért értékek MDA (malondialdehid) koncentrációban történő kifejezése érdekében tetraetoxipropán (malonaldehid-bis-dimetil-acetát) etanolos oldatából előállított standard sor mérési eredményeit használtuk fel.

### 4.5.6. A tojássárgája színének mérése

#### 4.5.6.1 Objektív színmérés

A felületi színek objektív mérésének elve az, hogy a fehér fénnyel történő pillanatszerű megvilágítást követően az érzékelőbe visszajutó jeleket a felület fényességét (L*) vörös-zöld (a*) és sárga-kék (b*) színátmeneti értékét kifejező koordináta rendszer a CIELab pontjaihoz viszonyítja (Special Chem). Az általunk használt kézi mérőműszer (Micromatch™; Sheen Ltd) is ezzel a CIELab spektrummal veti össze a vizsgált felület színét. A készüléket az iparban a felületek, de élelmiszer alapanyagok színének azonosítására és bemérésére is használják. A műszerrel történő mérés gyors és objektív. Az adatok tárolhatóak és számítógépre is átvihetőek. A műszer mérőablakának a feltört tojás sárgájához illesztését egy megfelelő, a tojássárgáját befogadó edényzet (pl.: portölcsér) használatával végeztük el. A mérőablak enyhe nyomással teljes felületével a sárgája felszínére illett, a hibafaktorokat (sárgája felrepedés, oldalfény bejutás a mérőablakba) sikerült kiküszöbölni és a mérés objektív színminősítést tett lehetővé (SZABÓ és mtsai., 2007a).

A tojássárgája színét kolorimetriás módszerrel a CIELab skálához viszonyító kézi reflexiós célfotométerrel határoztuk meg (Micromatch™; Sheen Ltd.) a kutatóhelyen adaptált módszer segítségével (SZABÓ és mtsai., 2007a).

#### 4.5.6.2. YCF

A Yolk Colour Fan színskálához történő viszonyítás szemikvantitaív módszer. A színskála 15 – az emberi szem által könnyen megkülönböztethető – árnyalatot foglal magába, halvány sárgától a narancsvörösig. Használata a tojássárgájához történő közvetlen viszonyításon alapul, az értékelés pedig a színskála leginkább hasonlatos számának jelölésével történik (13. ábra).

*13. ábra. A Yolk Clour Fan színskála*
*(forrás:* http://www.dsm.com*)*

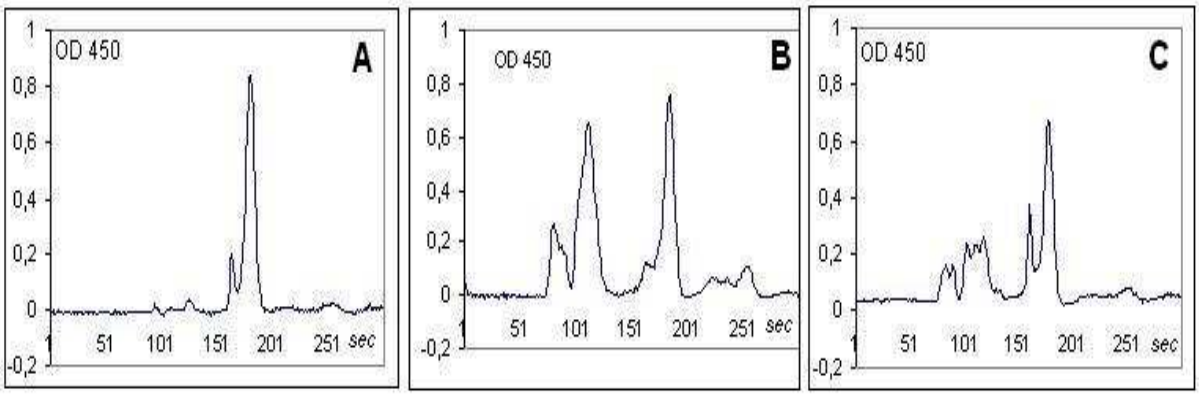
### 4.6. Statisztikai értékelés

Az egyes kísérletek eredményeit ANOVA teszttel (Tukey) Prism 5 for Windows programmal $p<0,05$ szinten minősítettük (GRAPHPAD SOFTWARE). A vizsgálatok értékelésekor továbbá az átlagszámítást (x), a szórásbecslést (±s) és a szignifikancia szint számítását alkalmaztuk. Utóbbit az ún. Student-féle kétmintás *t*-próbával. Az grafikonok *Microsoft Excel 6.0* programmal készültek.

# 5. EREDMÉNYEK

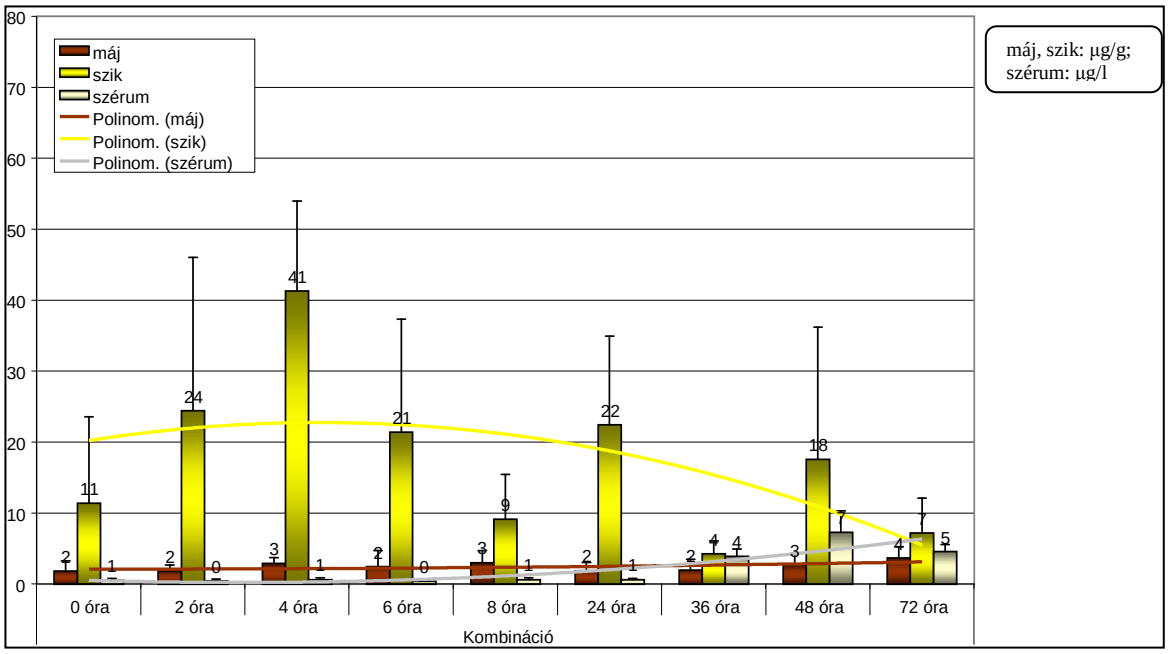
## 5.1. A likopin, lutein, β-kriptoxantin felszívódásának vizsgálata naposcsibében, a kelést követő 72 órában (I. kísérlet)

Az ábrákon (14.-17. ábra) a szérumból, szikből, illetve májból kimutatható karotinoidokat követhetjük nyomon a hozzájuk tartozó szignifikancia összefüggésekkel (2.-3. táblázat). A csúcsok az idő függvényében a különböző karotinoidok megjelenését ábrázolják. A detektálást a látható fény tartományában 450 nm-en végeztük.




*14. ábra. Szérum (A), szik (B) és májminták (C) jellemző karotinoid profilja*

A mintákból HPLC technikával direkt extrakciót követően Rocket Platinum-CN oszlopon (Alltech Inc.) normál fázison izokratikus elúcióval meghatároztuk a karotinoid profilokat, melyek standardjai a 11. számú ábra kromatogramjain láthatók, ami ez esetben a polaritás függvényében a leoldás sorrendiségét mutatja.

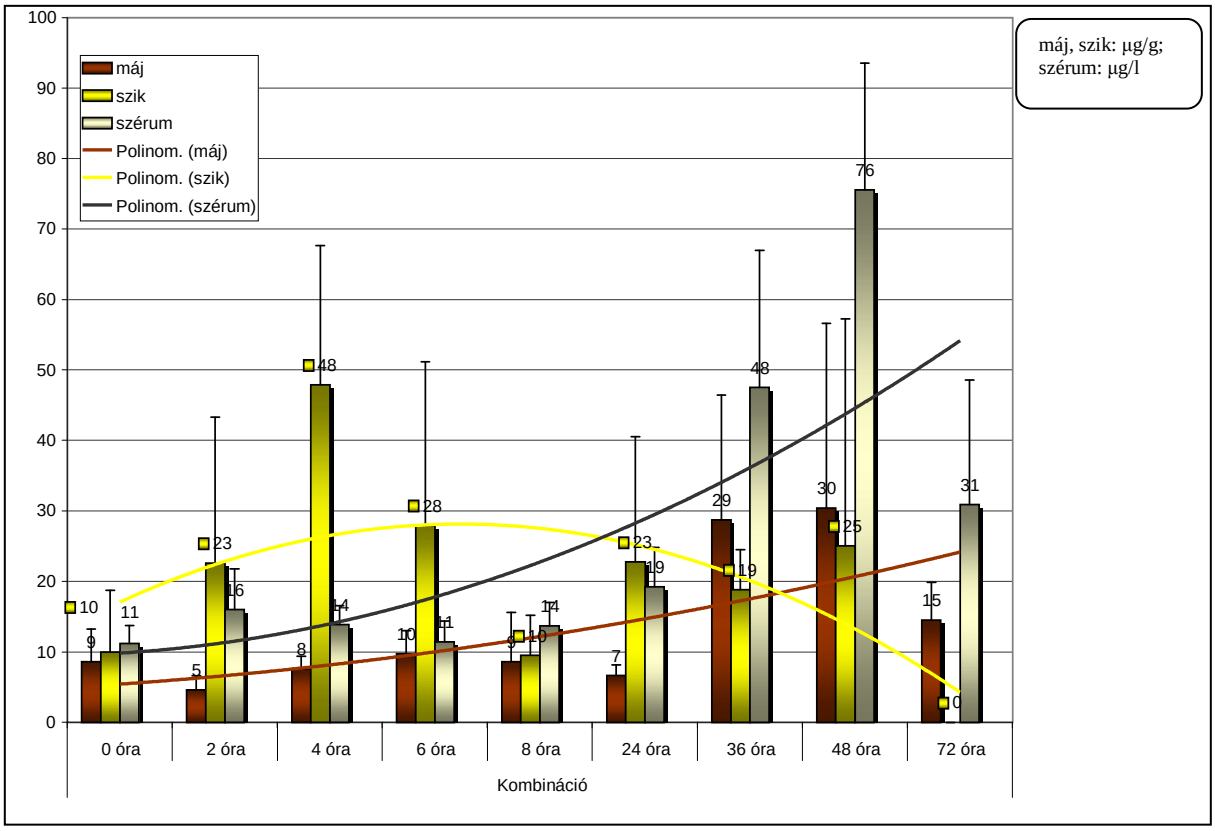



*15. ábra. β-kriptoxantin felszívódása (0-72ó), máj, szik és szérum koncentráció*

*2. táblázat. β-kriptoxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szérum; szik)*

| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia |
|---|---|---|
| *SZÉRUM* | | |
| 0ó vs 36ó | -3.313 | ** |
| 0ó vs 48ó | -6.747 | *** |
| 0ó vs 72ó | -4.047 | *** |
| 2ó vs 36ó | -3.387 | *** |
| 2ó vs 48ó | -6.820 | *** |
| 2ó vs 72ó | -4.120 | *** |
| 4ó vs 36ó | -3.221 | *** |
| 4ó vs 48ó | -6.655 | *** |
| 4ó vs 72ó | -3.955 | *** |
| 6ó vs 36ó | -3.471 | *** |
| 6ó vs 48ó | -6.904 | *** |
| 6ó vs 72ó | -4.204 | *** |
| 8ó vs 36ó | -3.237 | *** |
| 8ó vs 48ó | -6.670 | *** |
| 8ó vs 72ó | -3.970 | *** |
| 24ó vs 36ó | -3.230 | ** |
| 24ó vs 48ó | -6.664 | *** |
| 24ó vs 72ó | -3.964 | *** |
| 36ó vs 48ó | -3.433 | *** |
| 48ó vs 72ó | 2.700 | ** |
| *SZIK* | | |
| 0ó vs 4ó | -29.90 | * |
| 4ó vs 8ó | 31.86 | * |
| 4ó vs 36ó | 32.74 | * |

*= P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001



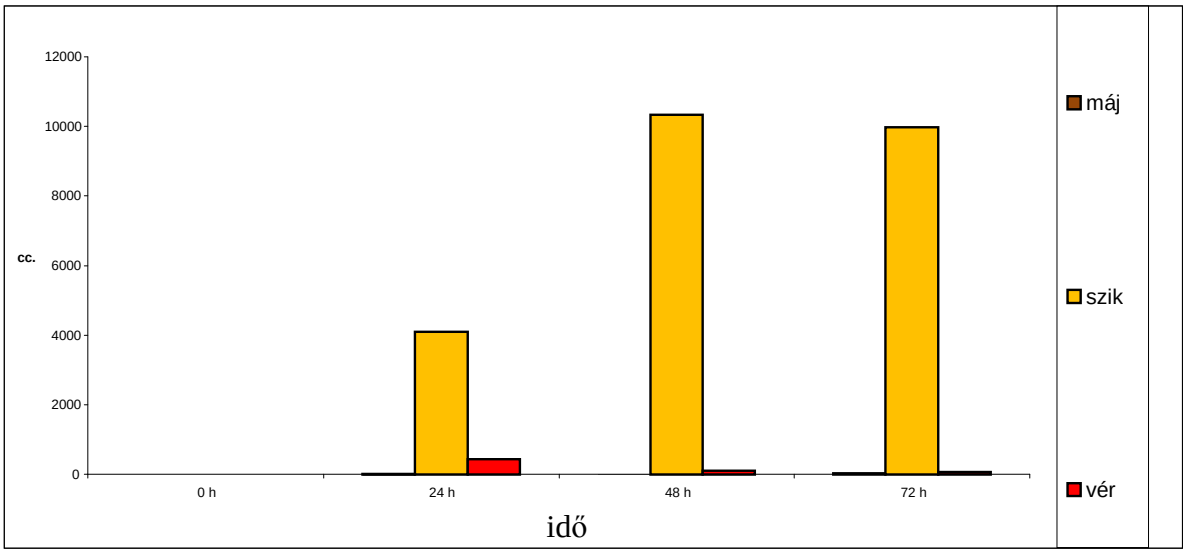

*16. ábra. Lutein és zeaxantin felszívódása (0-72ó), máj, szik és szérum koncentráció*

*3. táblázat. Lutein és zeaxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szérum; szik; máj)*

| *Tukey többtényezős összehasonlító teszt* | *Különbség* | *Szignifikancia* |
|---|---|---|
| *SZÉRUM* | | |
| *0ó vs 36ó* | *-34.77* | *** |
| *0ó vs 48ó* | *-66.27* | *** |
| *2ó vs 36ó* | *-29.96* | *** |
| *2ó vs 48ó* | *-61.46* | *** |
| *4ó vs 36ó* | *-32.11* | *** |
| *4ó vs 48ó* | *-63.61* | *** |
| *6ó vs 36ó* | *-34.55* | *** |
| *6ó vs 48ó* | *-66.05* | *** |
| *8ó vs 36ó* | *-32.29* | *** |
| *8ó vs 48ó* | *-63.79* | *** |
| *24ó vs 36ó* | *-26.75* | ** |
| *24ó vs 48ó* | *-58.25* | *** |
| *36ó vs 48ó* | *-31.50* | * |
| *48ó vs 72ó* | *47.30* | *** |
| *SZIK* | | |
| *0ó vs 4ó* | *-36.99* | ** |
| *4ó vs 8ó* | *36.37* | ** |
| *4ó vs 72ó* | *47.92* | *** |
| *6ó vs 72ó* | *33.57* | * |
| *MÁJ* | | |
| *2ó vs 36ó* | *-22.58* | * |
| *2ó vs 48ó* | *-25.38* | * |
| *4ó vs 48ó* | *-22.41* | * |
| *8ó vs 48ó* | *-21.37* | * |
| *24ó vs 48ó* | *-23.35* | * |

* = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001

A likopin nem jelent meg sem a szérum, sem a máj karotinoidjai között. A szikben a 24. órára már csökkenő, a májban és a szérumban még emelkedő lutein értékeket regisztráltunk. A kontroll állatokban a kezelt állatokhoz hasonló jellegű volt a karotinoid profil alakulása. A kelést követő 24 órában a karotinoid felszívódásban aktív szerepet játszó bélszakasz az intenzív transzport eredményeképpen mintegy tamponálódott a karotinoidokban bővelkedő saját szikanyaggal, ami így nem tette lehetővé a *per os* adagolt karotinoidok hatékony felszívódását.



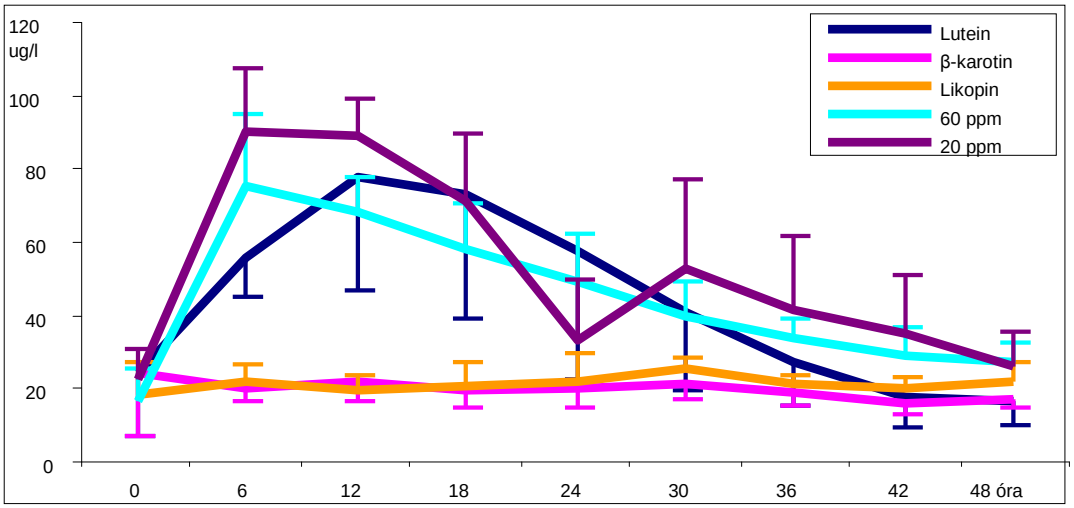

*17. ábra. A likopin felszívódása a szikbe injektálást követően (0-72 ó)*

A szikbe injektált likopin esetében ott tendenciaszerű emelkedés tapasztalható, míg a vérben és májban jelentős emelkedés nem történt (17. ábra).

A vizsgált paraméterek és időpontok nagy száma miatt a részletes szignifikancia elemzések a mellékletben grafikusan, illetve táblázatban foglalva találhatók (11.-16. táblázat; 29.-34. ábra).

## 5.2. A likopin, β-karotin és a lutein felszívódása tojótyúkokban (II. kísérlet)

Mindhárom általunk vizsgált karotinoid (lutein, β-karotin, likopin) esetében, mind a kétféle adagolást követően az adott karotinoid koncentrációjának szignifikáns mértékű megemelkedését tapasztaltuk a kezdeti időponthoz viszonyítva. A mintavételi időpontokból következően vizsgálatainkban minden tanulmányozott karotinoid plazmában történő megjelenése egyfázisú volt. Az adagolt karotinoid koncentráció vérbeli csúcspontja a kiegészítést követő 6. (β-karotin és likopin), illetve a 12. (lutein) órában jelentkezett, majd maximális értéket elérve karotinoid adagolás hiányában fokozatosan visszatért az alapértékre (18.-21. ábra; 4.-7. táblázat).

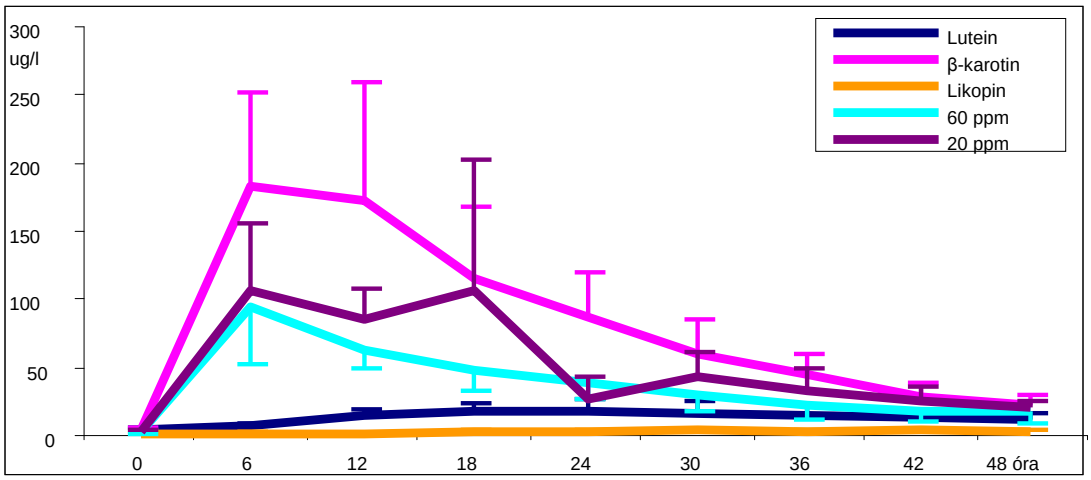



*18. ábra. Az egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált (20, illetve 60 ppm) karotinoid adagolást követő karotinoid vér LUTEIN profil alakulása (0-48 ó)*

*4. táblázat. Lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált adagoláskor (20ppm, 60ppm; (plazma)*

| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia |
|---|---|---|
| *LUTEIN* | | |
| 0ó vs 12ó | -40.00 | ** |
| 0ó vs 18ó | -37.00 | * |
| 6ó vs 42ó | 36.00 | * |
| 6ó vs 48ó | 38.00 | * |
| 12ó vs 36ó | 36.00 | * |
| 12ó vs 42ó | 50.00 | *** |
| 12ó vs 48ó | 52.00 | *** |
| 18ó vs 42ó | 47.00 | *** |
| 18ó vs 48ó | 49.00 | *** |
| 24ó vs 42ó | 36.00 | * |
| 24ó vs 48ó | 38.00 | * |
| *β-KAROTIN* | | |
| 12ó vs 24ó | 15.00 | * |
| *LIKOPIN* | | |
| 0ó vs 30ó | -37.50 | * |
| *20ppm* | | |
| 0ó vs 12ó | -25.00 | * |
| 6ó vs 48ó | 25.00 | * |
| 12ó vs 48ó | 27.00 | * |
| *60ppm* | | |
| 0ó vs 6ó | 25.00 | * |
| 0ó vs 12ó | -26.00 | * |
| 12ó vs 48ó | 25.00 | * |

* = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001

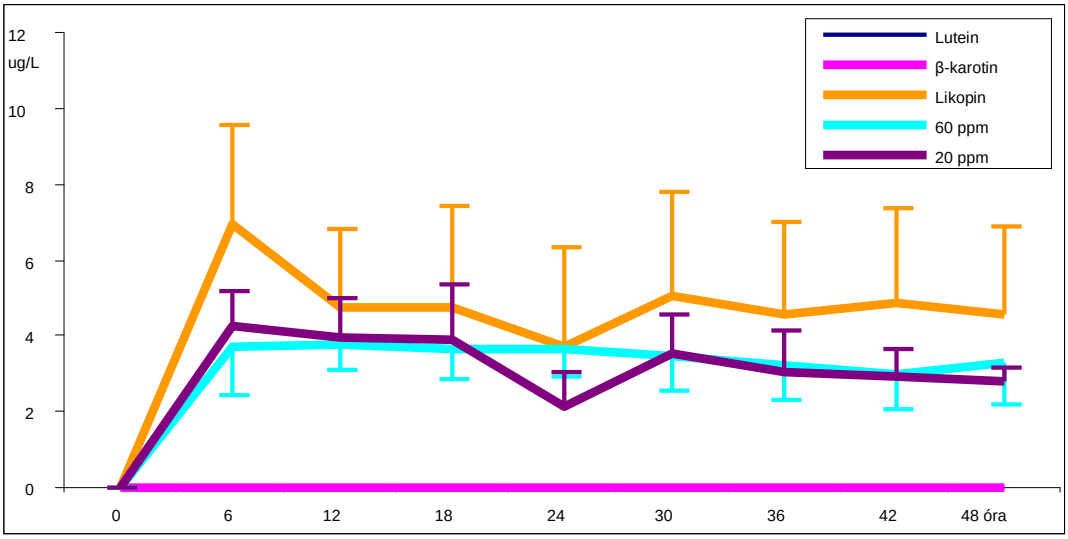



*19. ábra. Az egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált (20, illetve 60 ppm) karotinoid adagolást követő karotinoid vér ß-KAROTIN profil alakulása (0-48 ó)*

*5. táblázat. β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált (20ppm, 60ppm) adagoláskor (plazma)*

| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia |
|---|---|---|
| *LUTEIN* | | |
| 0ó vs 12ó | -37.00 | * |
| 0ó vs 18ó | -53.00 | *** |
| 0ó vs 24ó | -50.50 | *** |
| 0ó vs 30ó | -44.00 | ** |
| 0ó vs 36ó | -36.00 | * |
| 6ó vs 18ó | -39.50 | * |
| 6ó vs 24ó | -37.00 | * |
| *β-KAROTIN* | | |
| 0ó vs 6ó | -179.5 | *** |
| 0ó vs 12ó | -168.7 | *** |
| 0ó vs 18ó | -111.2 | *** |
| 0ó vs 24ó | -82.46 | * |
| 6ó vs 24ó | 97.02 | ** |
| 6ó vs 30ó | 122.8 | *** |
| 6ó vs 36ó | 138.9 | *** |
| 6ó vs 42ó | 155.9 | *** |
| 6ó vs 48ó | 160.5 | *** |
| 12ó vs 24ó | 86.26 | * |
| 12ó vs 30ó | 112.1 | *** |
| 12ó vs 36ó | 128.2 | *** |
| 12ó vs 42ó | 145.1 | *** |
| 12ó vs 48ó | 149.7 | *** |
| 18ó vs 42ó | 87.66 | * |
| 18ó vs 48ó | 92.24 | ** |
| *LIKOPIN* | | |
| 0ó vs 30ó | -42.50 | ** |
| 6ó vs 30ó | -41.50 | ** |
| 12ó vs 24ó | -39.00 | * |
| 12ó vs 30ó | -55.50 | *** |
| 12ó vs 36ó | -38.00 | * |
| 12ó vs 42ó | -46.50 | *** |
| 12ó vs 48ó | -46.00 | *** |
| *20ppm* | | |
| 0ó vs 6ó | -103.0 | *** |
| 0ó vs 12ó | -82.32 | *** |
| 0ó vs 36ó | -30.11 | ** |
| 0ó vs 42ó | -22.03 | *** |
| 0ó vs 48ó | -17.48 | *** |
| 6ó vs 24ó | 78.62 | *** |
| 6ó vs 30ó | 61.78 | * |
| 6ó vs 36ó | 72.93 | ** |
| 6ó vs 42ó | 81.01 | *** |
| 6ó vs 48ó | 85.57 | ** |
| 12ó vs 24ó | 57.90 | * |
| 12ó vs 42ó | 60.29 | * |
| 12ó vs 48ó | 64.84 | ** |
| 60ppm | | |
| 0ó vs 6ó | -91.35 | *** |
| 0ó vs 12ó | -60.52 | ** |
| 0ó vs 18ó | -44.88 | * |
| 6ó vs 18ó | 46.48 | * |
| 6ó vs 24ó | 54.84 | ** |
| 6ó vs 30ó | 64.05 | *** |
| 6ó vs 36ó | 72.60 | *** |
| 6ó vs 42ó | 76.19 | *** |
| 6ó vs 48ó | 75.89 | *** |
| 12ó vs 36ó | 41.77 | * |
| 12ó vs 42ó | 45.35 | * |
| 12ó vs 48ó | 45.05 | * |

* = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001

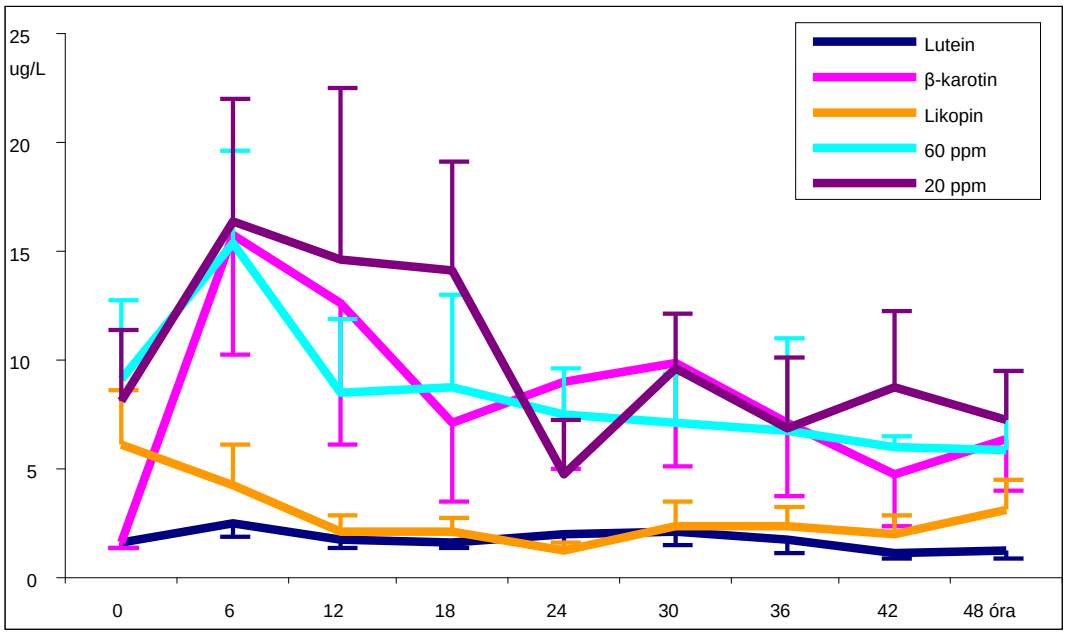



*20. ábra. Az egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált (20, illetve 60 ppm) karotinoid adagolást követő karotinoid vér LIKOPIN profil alakulása (0-48 ó)*

*6. táblázat. Likopin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi (likopin, lutein, β-karotin) és kombinált (20ppm, 60ppm) adagoláskor (plazma)*

| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia |
|---|---|---|
| *LIKOPIN* | | |
| 0ó vs 6ó | -42.50 | ** |
| 0ó vs 30ó | -36.00 | * |
| 20 ppm | | |
| 0ó vs 6ó | -27.00 | * |
| 0ó vs 12ó | -25.00 | * |
| 60ppm | | |
| 0ó vs 12ó | -25.00 | * |

*= P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001

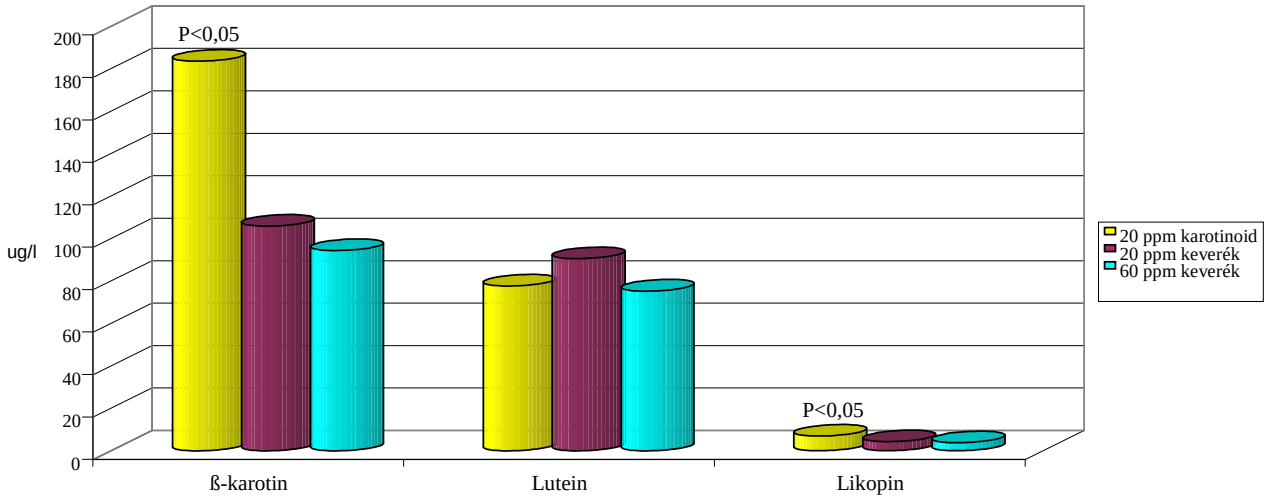



*21. ábra. Az egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált (20, illetve 60 ppm) karotinoid adagolást követő karotinoid vér RETINIL-PALMITÁT profil alakulása (0-48 ó)*

*7. táblázat. Retinil-palmitát felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált (20ppm, 60ppm) adagoláskor (plazma)*

| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia |
|---|---|---|
| *LUTEIN* | | |
| 0ó vs 6ó | -0.8685 | * |
| 6ó vs 18ó | 0.8845 | * |
| 6ó vs 42ó | 1.390 | *** |
| 6ó vs 48ó | 1.299 | *** |
| 24ó vs 42ó | 0.9069 | * |
| 24ó vs 48ó | 0.8160 | * |
| 30ó vs 42ó | 0.9610 | ** |
| 30ó vs 48ó | 0.8701 | * |
| *β-KAROTIN* | | |
| 0ó vs 6ó | -14.07 | *** |
| 0ó vs 12ó | -10.98 | *** |
| 0ó vs 24ó | -7.301 | * |
| 0ó vs 30ó | -8.178 | * |
| 6ó vs 18ó | 8.634 | ** |
| 6ó vs 36ó | 8.641 | ** |
| 6ó vs 42ó | 11.05 | *** |
| 6ó vs 48ó | 9.355 | ** |
| 12ó vs 42ó | 7.965 | * |
| *LIKOPIN* | | |
| 0ó vs 12ó | 4.002 | *** |
| 0ó vs 18ó | 4.079 | *** |
| 0ó vs 24ó | 4.882 | *** |
| 0ó vs 30ó | 3.892 | *** |
| 0ó vs 36ó | 3.787 | *** |
| 0ó vs 42ó | 4.193 | *** |
| 0ó vs 48ó | 3.012 | *** |
| 6ó vs 12ó | 2.124 | * |
| 6ó vs 18ó | 2.201 | * |
| 6ó vs 24ó | 3.004 | *** |
| 6ó vs 30ó | 2.013 | * |
| 6ó vs 42ó | 2.315 | ** |
| *20ppm* | | |
| 6ó vs 24ó | 11.59 | * |
| *60ppm* | | |
| 6ó vs 24ó | 7.804 | * |
| 6ó vs 30ó | 8.164 | * |
| 6ó vs 36ó | 8.633 | * |
| 6ó vs 42ó | 9.362 | * |
| 6ó vs 48ó | 9.406 | * |

* = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001




*22. ábra. A különböző karotinoid kiegészítések maximuma a tojótyúkok vérében*

A 22. ábra összefoglalva szemlélteti a tojótyúkokban az egyedi (lutein, β-karotin, likopin) és kombinált (20, illetve 60 ppm) karotinoid adagolást követő karotinoid profilok maximumát a vérben. Látható, hogy az egyedi karotinoid kiegészítések közül a β-karotin és a likopin esetében tapasztalható szignifikáns (p<0,05) eltérés a többi kombinált alkalmazáshoz képest. Továbbá a karotinoidokat együttesen adagolva, a kisebb kombinált dózis (∑ 20 ppm: 6,6 ppm egyedileg)

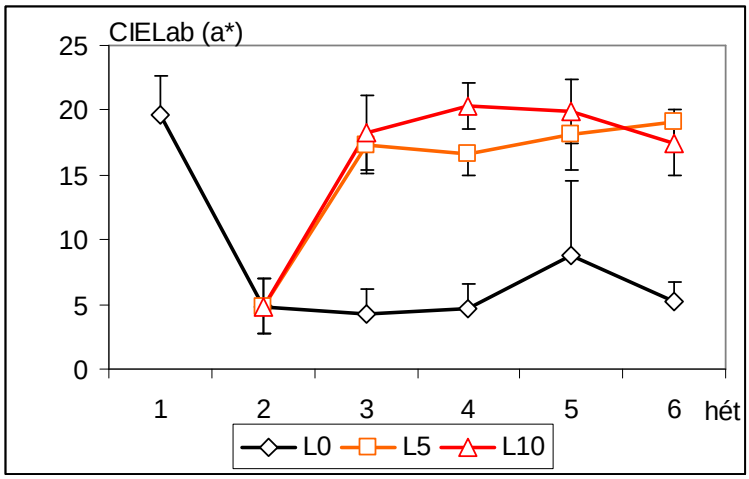
mindhárom karotinoid esetében nagyobb koncentráció emelkedést eredményezett. A nagyobb kombinált adagolás (∑ 60 ppm: 20 ppm egyedileg) esetében interakciót tapasztaltunk a plazma karotinoid koncentrációkban.

Az eredményekből kitűnik, hogy az apoláros karotinoid (likopin) jelenléte rontotta az oxikarotinoidok (lutein és zeaxantin) hasznosulását, továbbá annak antioxidáns hatása vasredukciós képesség mérésével nem, TBARS módszerrel viszont igazolható volt, tehát a vörösvérsejt hemolizátum TBARS szintjei mindhárom karotinoid esetében csökkentek.

A részletes szignifikancia elemzések a vizsgált paraméterek és időpontok sokfélesége miatt a mellékletben részletesen (grafikusan, illetve táblázatban foglalva) jelölve vannak (23.-34. táblázat; 35.-52. ábra).

### 5.3. A likopin kiegészítés hatása a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére (III. kísérlet)

A két hétig tartó előetetés alatt a vér összkarotinoid tartalma szignifikáns mértékben lecsökkent. Ebben a kiürülési szakaszban a tojássárgája CIELab a* átlagértékei a negyedére (19,59→4,82) estek ($p<0,01$). A kísérlet további egy hónapja alatt kisebb ingadozás mellett, gyakorlatilag ezt az értéket lehetett mérni az $LY_0$ csoportban. Mind a két likopinos takarmányt fogyasztó tojótyúk csoportban ($LY_5$ és $LY_{10}$) a kiürülési szakaszt követő hétre (3. hét) a kiindulási szintig közeledett a színintenzitás értéke. A kiindulási értéket az $LY_{10}$ csoport már a negyedik, az $LY_5$ csoport a 6. hétre érte el (23. ábra).




*23. ábra. A tojássárgája színintenzitásának jellemzése CIELab módszerrel*

A tojótyúkok vérében csak a Redivivo™ tartalmú takarmányt fogyasztó csoportokban volt mérhető a likopin. De a két csoport vérmintáinak likopin koncentrációja nem tükrözte a két dózis közötti kétszeres különbséget. A vérplazma retinol koncentrációi gyakorlatilag azonos szinten voltak a kísérlet alatt (8. táblázat).

*8. táblázat. A vér karotinoid és retinol koncentrációi (x±s)*

| | | Összkarotinoid (µg/l) | Likopin (µg/l) | Retinol (µg/l) |
|---|---|---|---|---|
| Kiürülési[1] szakasz | eleje | 47,56 ± 13,81 | - | 10,66 ± 1,13 |
| | vége | 12,99 ± 4,49*** | - | 9,63 ± 1,15 |
| Kezelési[2] szakasz | $LY_0$ csoport | 11,76 ± 3,13 | - | 8,08 ± 0,92 |
| | $LY_5$ csoport | 40,37 ± 14,27** | 11,75 ± 4,08 | 8,30 ± 0,70 |
| | $LY_{10}$ csoport | 19,62 ± 5,59** | 14,70 ± 6,72 | 7,51 ± 1,63 |

1. P< * 0,05, ** 0,01, ***0,001
2. P< az $LY_0$ csoporthoz viszonyítva * 0,05; ** 0,01; *** 0,001

Az $LY_5$ és $LY_{10}$ csoportok a* értékei között nem volt szignifikáns különbség. A 3-6. hét közötti időszakban a likopin mentes tápot fogyasztó $LY_0$ és a két likopinnal kiegészített csoport ($LY_5$ és $LY_{10}$) értékei között egyaránt szignifikáns volt a különbség az objektív színmérés (CIELab) és kémiai analízis összkarotinoid értékei esetében (10. táblázat).

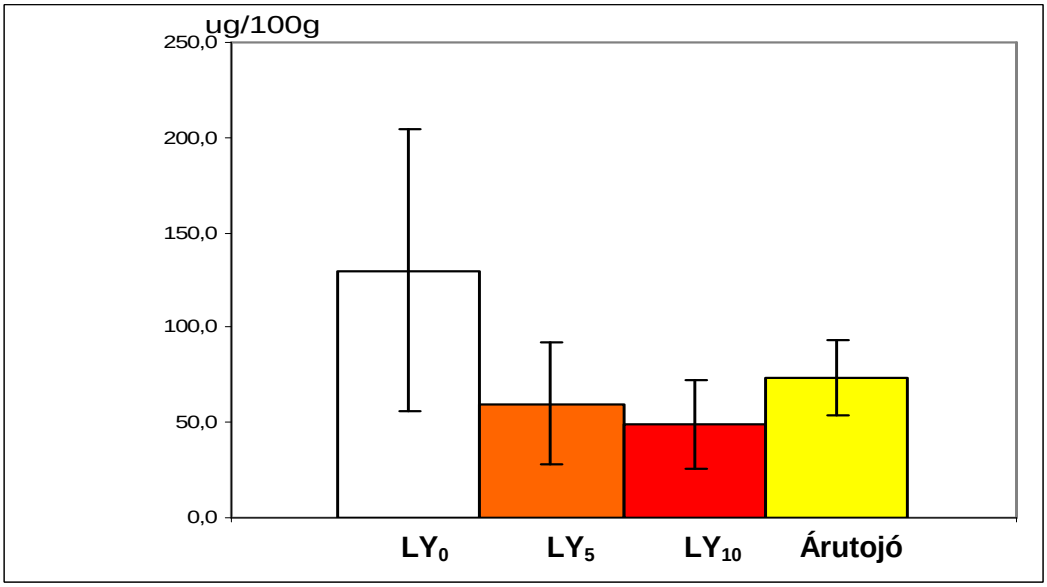
A kísérlet zárásakor a szérum összkoleszterin koncentrációi az árutojó állomány értékeihez viszonyítva az $L_{10}$ csoport esetében szignifikánsan ($p<0,05$) kisebbek voltak. A tojássárgájából mért összkoleszterin, valamint a szérumból meghatározott HDL-koleszterin és triglicerid koncentrációk kezelésekként nem különböztek egymástól (9. táblázat).

*9. táblázat. A szérum és a tojássárgája lipid koncentrációi (x±s)*

| | Szérum | | | Tojássárgája |
|---|---|---|---|---|
| Csoport | összkoleszterin (mmol/l) | HDL koleszterin (mmol/l) | triglicerid (g/l) | koleszterin (mg/g) |
| Árutojó | 4,25 ± 1,64 | 1,48 ± 0,82 | 9,50 ± 3,79 | 12,23 ± 1,45 |
| $LY_0$ | 4,14 ± 1,53 | 1,07 ± 0,17 | 9,01 ± 2,50 | 11,65 ± 0,87 |
| $LY_5$ | 3,37 ± 0,69 | 1,42 ± 0,89 | 8,63 ± 2,92 | 11,69 ± 0,82 |
| $LY_{10}$ | 3.03 ± 1,25* | 1,46 ± 0,29 | 7,95 ± 3,58 | 11,37 ± 0,49 |

P< az Árutojó csoporthoz viszonyítva * 0,05

A tojássárgájának antioxidáns szintje fordítottan arányos a TBRAS szinttel, ezzel szoros összefüggésben áll, hogy a lipidperoxidációs folyamatok jelenléte a karotinoidok hiányában emelkedő tendenciát mutat (24. ábra).




*24. ábra. A tojássárgájának antioxidáns szintje eltérő likopin adagolás hatására*

# ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A korai posztembrionális korban (napos korban, a kikeléstől számított megközelítőleg 3 napig, illetve 72 óráig) a karotinoid felszívódás szinte kizárólag a szikzacskóból történik, amit az bizonyít, hogy a szik karotinoidjai közül értelemszerűen hiányzó likopin *per os* adása esetén sem jelent meg a vér karotinoid frakciójában.

2. Tojótyúkok esetében három vizsgált karotinoid (likopin, β-karotin, lutein) esetében, mind az egyedi, mind a keverékként történő adagolásukat követően az adott karotinoid szignifikáns mértékű megemelkedése jelezte a felszívódás tényét, de az azonos adagok (koncentrációk) ellenére tapasztalható eltérő vérszintek a karotinoidok közötti kölcsönhatásra utalnak.

3. Az adott karotinoid koncentráció vérben történő emelkedésének mértéke valószínűsíthetően összefüggésben van a molekula szerkezetével (polaritás, azaz oldékonyság), a bélbeni történéseivel, majd portomikronba történő beépülés arányával.

4. Tojótyúkokban a felszívódást követően a *per os* adott két apoláros karotinoid (likopin, β-karotin) a 6. órában, míg az oxikarotinoid (lutein) a 12. órában érte el a legnagyobb vérszintet. Kismértékű, de elnyújtottabb emelkedés ellenére a likopin rontja az oxikarotinoidok hasznosulást.

5. A likopin tojást színező hatása mind objektív színméréssel, mind analitikai eljárással (HPLC) igazolható volt. Az antioxidáns hatás a TBARS módszerrel kimutatható volt.

# 6. KÖVETKEZTETÉSEK

## 6.1. A likopin, lutein, β-kriptoxantin felszívódásának vizsgálata naposcsibében, a kelést követő 72 órában (I. kísérlet)

Keveset tudunk csirkékben a karotinoidok felszívódásának és raktározásának mechanizmusáról. A lutein a bélcsatorna felső szakaszában (duodenum és jejunum), a zeakarotin (A-vitamin prekurzor) viszont a középső szakaszban (ileum) szívódik fel, így fizikailag elkülönülnek egymástól, ami a fenti karotinoidokat a kriptoxantin gyenge felszívódási intenzitásával összehasonlítva csirkékben karotinoid szabályozó mechanizmus meglétét feltételezi (TYCZKOWSKI és HAMILTON, 1986). A kikelést közvetlenül követő időszakban rendkívül fontos folyamatok játszódnak le, amelyek jelentős hatással vannak a későbbi életre. A kikeléskor a testüregbe záródott szik biztosítja a fiatal madarak tápanyagellátását életük első 48-72 órájára. Az itt raktározott anyagoknak azonban más funkciójuk is van, hiszen a természetben sem a túlélésre szolgálnak, lévén, hogy a kotlós az utódokat a kikelés után azonnal vezeti, így azok gyorsan megtanulják a táplálék és a víz felvételét (BOGENFÜRST, 2004).

A természetes eredetű karotinoidok (likopin, lutein, β-kriptoxantin) felszívódását tanulmányoztuk naposcsibékben (0-72. óra), a felszívódás helyére és mértékére vonatkozóan.

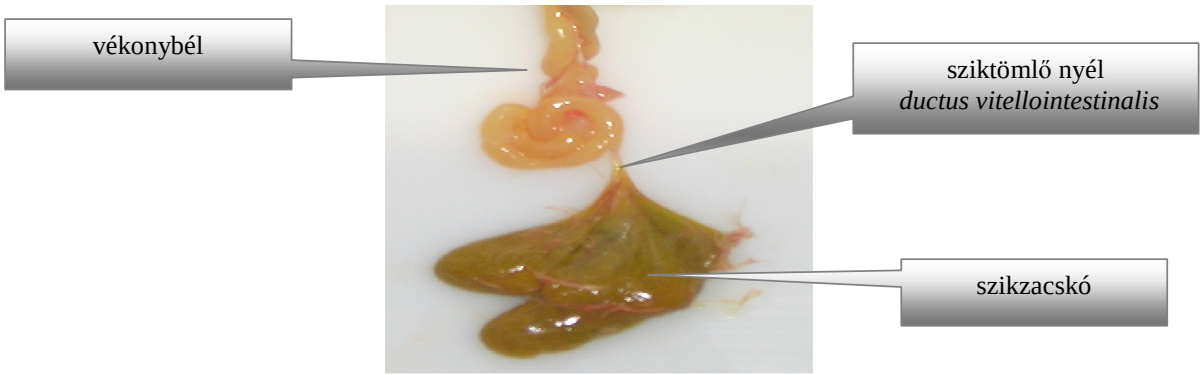
Az általunk alkalmazott karotinoid dózis a már kifejezett színező hatást eredményező mennyiség (LEESON és CASTON, 2004) alapján került kiszámításra úgy, hogy az egy napi adagnak megfelelő legyen. A standard karotinoidokat vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a likopin 80, a β-karotin 90, a β-kriptoxantin 102-108 és a lutein+zeaxantin 180 sec. retenciós idővel volt regisztrálható a kromatogramokon. Az általunk adagolt karotinoidok közül a likopin rendesen nem található a szikben. Ennek ellenére egy közel azonos retenciós idejű frakció volt a szikmintákban, ami a β-karotinnál is apolárosabb karotinoid frakciót jelez. Hasonló retenciós idővel sem a szérumból, sem a májmintákból nem eluálódott karotinoid. Amennyiben a likopint–mintegy „külső standardként”–a napos állatok véréből, májából ki lehetne mutatni, az mindenképpen a felszívódásnak lenne a jele. A likopin felszívódása tyúkokban (SUAREZ, 1969) és fürjekben (BÁRDOS és mtsai., 2005; RÉTHY és mtsai., 2006) is jó hatásfokú, hiszen mindkét fajban sikeresen színezi a tojássárgáját.

Eredményeink szerint a likopin napos csibében nem jelent meg a szérum és a máj karotinoidjai között sem. Sőt véleményünk szerint a napos csibékben a *p. os* adagolt, egyébként az élettani körülmények között jellemzőnek tekinthető fő oxikarotinoidok (lutein és zeaxantin) mennyisége sem emelkedett meg a szérumban és májban a dózisnak megfelelő mértékben.

Mint az korábban említésre került a lutein változtatás nélkül raktározódik a madarak szervezetében, így annak esetleges metabolizációjával nem kell számolni (BRUSH, 1990).

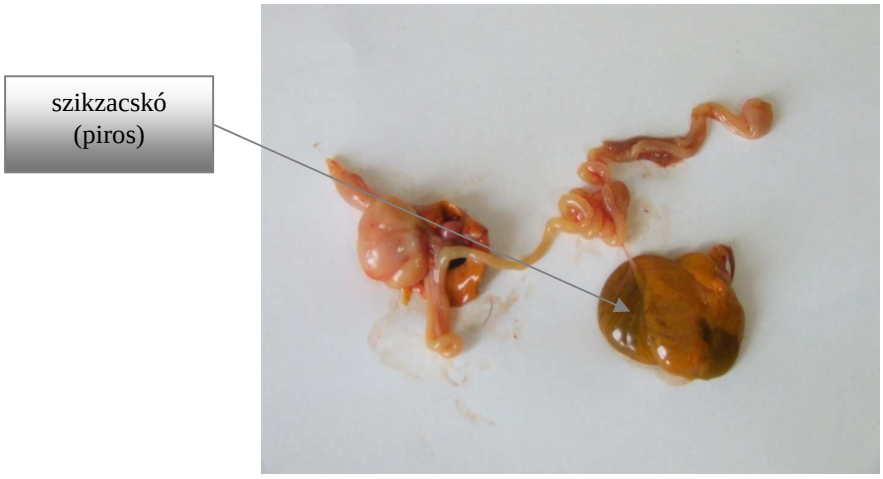
Napos korban a jelenség a szikzacskó tartalmának felszívódásával is bonyolódik. Az általunk tapasztalt jelenséget az magyarázhatja, hogy a kikelést követően a szikzacskóból az anyagok felszívódásának két útja lehetséges. Egyrészt a szikzacskóból a sziktömlő nyélen keresztül történik a tartalom kiürítése a bélcsatornába (25. ábra). Ez kb. 72 óráig tart, ezt követően a felgyülemlő limfatikus sejtek részben elzárják a passzázs lehetőségét. Koplaltatott naposcsibe sziktömlőjébe iniciált vitális festék két órán belül a béltartalmat a zúzógyomortól a kloákáig megfestette. Azaz a sziktömlő nyélen keresztül a szik bejutott a középbélbe ahonnan antiperisztaltika oralis, a perisztaltika pedig aboralis irányba továbbította a festett tartalmat (FEHÉR és GYŰRŰ, 1971). A szik hasznosítása az etetett naposcsibékben gyorsabb, mint éheztetett állatokban, mivel az etetéssel előidézett nagyobb bélcsatorna aktivitás fokozza az ürülést (NOY és mtsai., 1996). Baromfiban (nem csirke) a szikből a vérbe történő transzportot a kelést megelőzően és az azt követő első 72 órában figyelték meg. A szikzacskóból a sziktömlőnyélen keresztül a bélcsatornába irányuló szállítást a kikelést követő 120 órában (csirkékben csak 72 óráig) tapasztalták. A szekréció elsősorban az ileum proximális szakaszában történt, ahol reflux jelentkezett, ami által a tartalom a vékonybél kezdeti szakaszáig, valamint a zúzógyomorig eljutott. Kikelést követően az antiperisztaltikus mozgás fokozódott, és a szekréció a csirkéknél megfigyelt időpontnál tovább tartott. A disztális vékonybél szakaszban a szik kelés környékén nem hasznosult (NOY és SKLAN, 1998).

A maradék szik hasznosulására a szikzacskó membránján keresztül történő, közvetlenül a vérkeringésbe jutás ad lehetőséget (THOMPSON és SPEAKE, 2002). Esetünkben az első 24 órában tehát az intenzív szik→jejunum→duodenum→gyomor irányú transzport eredményeképpen a napos csibék azon bélszakasza, ami épp a karotinoid felszívódásban aktív szerepet játszik mintegy tamponálódott a karotinoidokban bővelkedő saját szikanyaggal. Ez nem tette lehetővé a *p. os* adagolt karotinoidok hatékony felszívódását.




*25. ábra. A szikzacskó tartalma a sziktömlőnyélen keresztül a vékonybélbe ürülhet*

A napos állat szikzacskójába közvetlenül injektált likopin kinetikája igazolja, hogy az rendszerint nincs a takarmányban, viszont abban az esetben, amikor direkt módon a szikzacskóba juttatjuk, megjelenik, míg *per os* történő kiegészítéskor nem. Következésképpen a likopin egyfajta indikátor, akár karotinoid felszívódás modell lehet, amit a napos csibénél vizsgálataink során ki is tudtunk mutatni: szikbe injektálva (26. ábra). Tehát a tojón keresztül átkerül a tojásba és ilyen módon biológiai aktivitása van, azaz potenciálisan dúsított élelmiszer. Mivel a likopin ezek szerint hasznosul, deponálódik a tojásban, így jelentősége megsokszorozódik a különböző takarmánykiegészítők, melléktermékek (paradicsomtörköly, paradicsomzúzalék) tekintetében, ezért humán fogyasztásra beviteli lehetősége lenne a tojással, a korábban említett számos jótékony hatása miatt.




*26. ábra. A naposcsibe szikzacskója az injektálást követő időszakban*

A tojássárgájába beépült karotinoidok az embrió májában és egyes szöveteiben is megjelennek, ahol provitamin, valamint antioxidáns funkciót töltenek be. A tojó takarmányába adagolt karotinoidok a sziken keresztül 76%-ban beépülnek a naposcsibébe (PLACK, 1963). A madárembriók különbséget tesznek az egyes karotinoidok között a szikből a szövetekbe történő szétosztásuk során (SURAI és mtsai., 2001).

A karotinoidok az eredeti sziktartalomban ún. előrecsomagolt formában vannak jelen (*prepackaged in the initial yolk*), majd az embrionális fejlődés alatt a szövetspecifikus szétosztás az embrió szervezetén belül a szállítási és felvételi mechanizmusok függvényében történik.

## 6.2. A likopin, β-karotin és a lutein felszívódása tojótyúkokban (II. kísérlet)

Mindhárom általunk vizsgált karotinoid (lutein, β-karotin, likopin) esetében, mind a kétféle adagolást követően a vérben az adott karotinoid koncentrációjának szignifikáns mértékű megemelkedését tapasztaltuk a kezdeti időponthoz viszonyítva.

A mintavételi időpontokból következően vizsgálatainkban minden tanulmányozott karotinoid plazmában történő megjelenése egyfázisú volt. Az adagolt karotinoid koncentráció vérbeli csúcspontja a kiegészítést követő 6. (β-karotin és likopin), illetve a 12. (lutein) órában jelentkezett, majd maximális értéket elérve karotinoid adagolás hiányában fokozatosan visszatért az alapértékre. A karotinoidok akkumulálódásában és tárolásában tapasztalt különbségek a különböző karotinoidok esetében a polaritás függő szelektív felszívódási és szállítási folyamatok meglétét támasztják alá.

Egyéb fajokban közölt adatokhoz hasonlóan a többi vizsgált karotinoiddal azonos koncentrációban (20 ppm) adagolt likopin bejuttatásakor sokkal kisebb mértékű abszorpciót tapasztaltunk, mint a lutein, illetve a β-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 β-karotin kiegészítést követte a szignifikáns mértékű retinoid koncentráció növekedése a vérben. A plazma retinil-palmitát koncentrációk mind β-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 (∑ 20 ppm: 6,6 ppm egyedileg) mindhárom karotinoid esetében nagyobb koncentráció-emelkedést eredményezett. A nagyobb kombinált adagolás (∑ 60 ppm: 20 ppm egyedileg) esetében interakciót tapasztaltunk 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.

A vizsgálatot annak érdekében terveztük, hogy részletes információt nyerjünk 48 órás mintavételi időtartamot és eltérő nagyságú adagokat alkalmazva különböző karotinoidok egyszeri dózisait követően tojótyúkokban (18.-22. ábra).

Az alkalmazott karotinoidok vízben oldódó granulátumok voltak. A napraforgó olajban történő bejuttatást azért választottuk, hogy a természetes felszívódási körülményekhez hasonló elrendezést alakítsunk ki. Az adott karotinoid koncentráció emelkedésének változó mértéke

valószínűleg a molekulák eltérő szerkezetéből (polaritásából, azaz oldékonyságából) a portomikronba történő beépülés arányával függ össze (KERTI és mtsai., 2009).

Feltehető, hogy az egyes karotinoidok között a felszívódás során, pl. a micellákba történő bekerülés érdekében zajló versengésben, a kötőhelyekért folytatott versenyben, a felszívódást követő lipoproteinek közötti karotinoid kicserélődésben, valamint a provitamin karotinoidok hasadásának gátlásában változatos kölcsönhatások alakulhatnak ki. A karotinoidok közötti interakciók kialakulása elsősorban az apoláros jellegűek (ún. karotének) és az oxikarotinoidok között jellemző, pl. a kantaxantin gátolja a likopin felvételt, a β-karotin antagonizál a luteinnel és a kantaxantinnal, míg a likopin fokozza a β-karotin felszívódásának arányát (WHITE és mtsai., 1994; KOSTIC és mtsai., 1995; BÖHM és BITSCH, 1999).

A plazma és a szövetek karotinoid koncentrációit gyakran a felszívódás indexeként alkalmazzák. A vérszérum karotinoid koncentrációi a bélben történő felszívódástól függnek, 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 (KERTI és mtsai., 2009). 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 más jellegű történést mutat. A karotinoidok polaritása meghatározza a felszívódás hatékonyságát, a micellákban történő oldódást, a felhalmozódását és kiürülését a bélcsatornából. A polárosabb oxikarotinoidok (xantofillok) 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 β-karotin esetében. Karotinoid keverék (algából kivont természetes keverék: Betatene, Cognis GmbH) fogyasztását követően a kilomikronokban a lutein és a zeaxantin mennyisége megnövekedett a β-karotinnal szemben. *In vivo* a likopin β-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; JOHNSON és mtsai., 1997; CLARK és mtsai., 1998; O'NEILL és THURNHAM, 1998; DURING és HARRISON, 2005) egybehangzóan mutatják, hogy a likopin a többi karotinoidhoz viszonyítva rosszabbul szívódik fel (FURR és CLARK, 1997; DURING és HARRISON, 2004, 2005).

BERG és VLIET (1998) kísérleteinek eredményei szignifikáns mértékű csökkenést mutattak a β-karotin válaszreakcióban, amikor kombinált dózist (15 mg pálma olajos β-karotint 15 mg

likopinnal, vagy luteinnel kombinálva) adagoltak, különösen akkor, amikor luteinnel együtt alkalmazták. A lutein gátló hatása szignifikáns β-karotin felszívódás csökkenést eredményezett, ami a retinil-palmitát értékekben is megnyilvánult.

Karotinoidok (β-karotin, kantaxantin, lutein, likopin, α-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 szérum karotinoid koncentráció értéket a lutein, kissé kisebb koncentrációt az α-karotin és a β-karotin mutatott. A likopin érte el a legkisebb szintet. A szerzők szerint a polárosabb karotinoidok (xantofillok) 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 találhatók. 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 β-karotinhoz viszonyítva sokkal könnyebben szívódik fel a zsírcseppekből (BERG és VLIET, 1998; CHUNG és mtsai., 2004).

KURILICH és munkatársai (2003) azt találták, hogy míg a plazma β-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 β-karotin esetében és a β-karotinnak a lipoprotein frakciók közötti mozgásából következik (BURRI és CLIFFORD, 2004).

Az egyes karotinoidok anyagforgalma eltérő, ami leginkább a lipoproteinek között történő megoszlásukban figyelhető meg. Az intakt karotinoidok a kilomikronba, a madarakban a portomikronba 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 találhatók, mivel az apoláros karakterűek (α-karotin, β-karotin és likopin) fő szállítója az LDL és a VLDL, a xantofillok (a sokkal polárosabb lutein, zeaxantin és ß-kriptoxantin) körülbelül azonos arányban oszlanak meg a HDL és az LDL

között (STAHL és SIES, 1996; FURR és CLARK, 1997; PAETAU és mtsai., 1997; FRASER és BRAMLEY, 2004; FAULKS és SOUTHON, 2005).

A bélcsatornában lévő karotinoid kötőfehérjéket még nem azonosítottak humán vagy egyéb emlős szervezetekben, meglétük feltételezhető, és így vélhetően 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.

Minél polárosabb a karotinoid, annál nagyobb a vérben a koncentrációja. Ez alapján a poláros karotinoidok (pl. xantofillok) felszívódása, akkumulációja, sokkal kedvezőbb, hatékonyabb az apoláros karotinoidokhoz (pl. karotének, szénhidrogén karotinoidok, β-karotin) viszonyítva. Azonban az apoláros karotinoidok transzlokációja, áthelyeződése (vér→bőr) sokkal hatékonyabb, mint a poláros karotinoidok esetében (NA és mtsai., 2004).

### 6.3. A likopinkiegészítés hatása a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére (III. kísérlet)

Vizsgálatainkban tojótyúkok takarmányát likopinnal egészítettük ki. Célunk az volt, hogy a tojássárgája színének alakulásából következtessünk a likopin hasznosulására, valamint felmérjük a lipidmetabolizmus esetleges változásait is.

A takarmányba adagolt likopin a vérárammal eljutott és beépült a tojásba. RÉTHY és munkatársai (2006) megfigyelték, hogy a természetes eredetű karotinoidok közül a likopin eredményesen színezi, biológiailag aktív anyaggal dúsítja a tojássárgáját, egyben csökkenti a vér és a tojássárgája koleszterin koncentrációját.

A likopin *in vivo* kevésbé hatékonyan szállítódik a vékonybél micelláris fázisához a β-karotinhoz és luteinhez viszonyítva [all-trans β-karotin (11%)≈β-karotin (10%)>lutein (7%)>likopin (2,5%)]. Ezen *in vitro* adatok és számos kísérlet (állat, humán) egybehangzóan alátámasztja, hogy a likopin más karotinoidokhoz viszonyítva gyengén abszorbeálódik. A négy vizsgált karotinoid (β-karotin, α-karotin, likopin, lutein) esetében a szekréció mértéke szélesebb (2.5-11%) intervallumban ingadozott, mint a celluláris felvétel értéke (15-18%), ami alátámasztotta, hogy a karotinoid

szerkezete határozza meg elsősorban a kilomikronba történő beépülést (DURING és HARRISON, 2004).

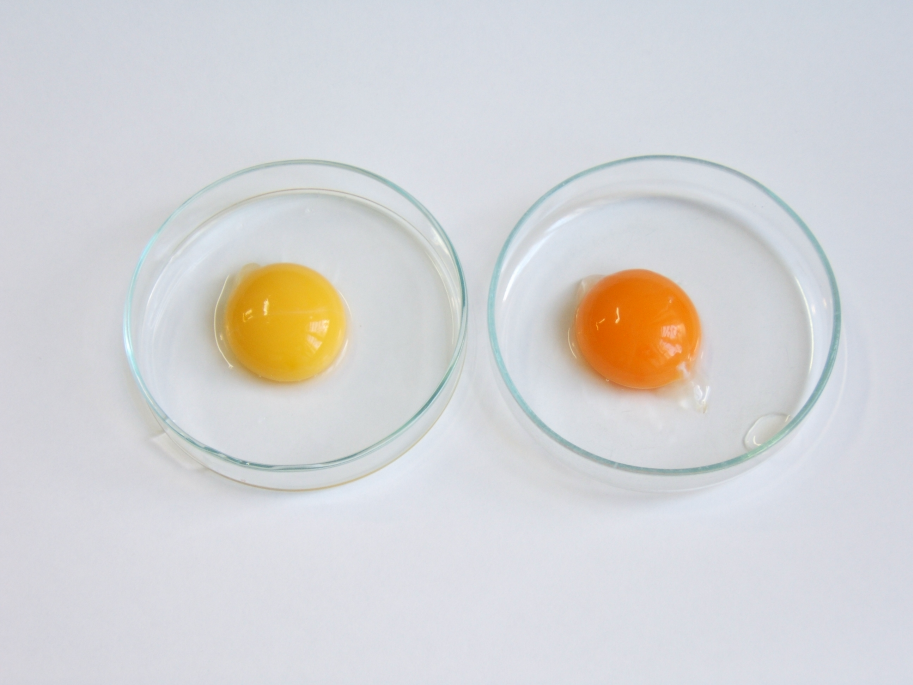
Korábbi japánfürjekben végzett modell vizsgálatainkban szárított paradicsompüré formájában adagoltunk likopint a takarmányba. Akkor is tapasztaltuk, amit most tojótyúkok esetében, hogy a takarmányba adagolt likopin hatékonyan felszívódik, azaz megjelenik a vérben, amivel azután eljut, majd beépül a tojásba (BÁRDOS és mtsai., 2004; BÁRDOS és mtsai., 2005).

Hasonló eredményre jutottak KARADAS és munkatársai (2006), akik japánfürjek tojásaiban szárított paradicsom adagolást követően ugyancsak kimutatták a likopint. Az általuk alkalmazott csekély karotinoid tartalmú búza és árpa alapú takarmányhoz 2%-ban kevert szárított paradicsomtól megemelkedett a színskálával (Yolk Colour Fan – DSM Nutritional Products) mért érték. Mi a vizsgálatunkban 5% likopintartalmú mikrokapszulázott gyári készítményt használtunk (Redivivo™ Lycopene 5% TG/P, DSM Nutritional Products). Ugyanezt a készítményt alkalmazva tojótyúkokban arról számoltak be, hogy csak előzetesen 60°C-on történő vizes hidrolízist követő takarmányba keverés után volt hatékony a felszívódás (OLSON és mtsai., 2008). Esetünkben ilyen előkezelés nélkül is hatékonynak minősíthetjük a felszívódási folyamatot, amit a kezelt csoportok vérében és tojássárgájában mért likopin koncentrációk és a tojássárgája intenzív sárga színe egyaránt bizonyít (8. és 10. táblázat, 27. ábra).

*10. táblázat. A tojássárgája színe, karotinoid és retinol koncentrációi (x±s)*

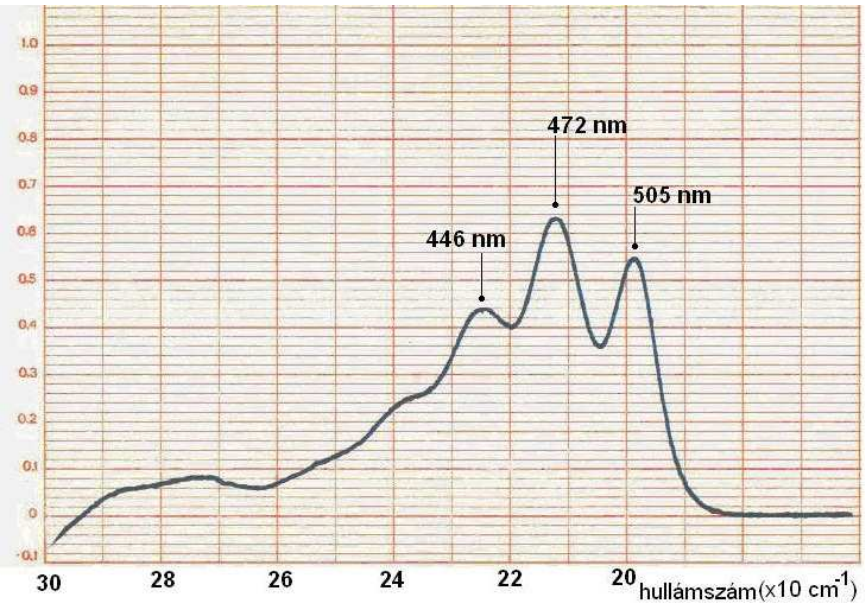
| | | CIELab (a*) | Összkarotinoid (µg/g) | Likopin (µg/g) | Retinol (µg/g) |
|---|---|---|---|---|---|
| Kiürülési[1] szakasz | eleje | 19,59 ± 2,95 | 18,78 ± 1,43 | - | 1,76 ± 0,41 |
| | vége | 4,82 ± 2,03*** | 2,95 ± 0,7*** | - | 1,52 ± 0,32 |
| Kezelési[2] szakasz | $LY_0$ csoport | 5,27 ± 1,46 | 3,22 ± 0,7 | - | 1,66 ± 0,40 |
| | $LY_5$ csoport | 19,04 ± 1,91*** | 13,78 ± 1,47*** | 4,35 ± 0,91 | 2,07 ± 0,18 |
| | $LY_{10}$ csoport | 17,5 ± 2,42*** | 10,83 ± 1,94** | 5,57 ± 1,38 | 1,61 ± 0,26 |

1. P< * 0,05, ** 0,01, ***0,001
2. P< az $LY_0$ csoporthoz viszonyítva * 0,05; ** 0,01; *** 0,001



*27. ábra. Árutojó (balra) és likopinnal kiegészített tápot ($LY_5$) (jobbra) fogyasztó tyúkok tojássárgái*

A tojássárgáját bemutató fotón az is megfigyelhető, hogy a takarmányban alkalmazott koncentráció esetén a sárgája lipidjeibe oldódva nem vörös, hanem intenzív sárga színt eredményezett annak ellenére, hogy a likopin abszorpciós spektruma a vörös színtartományban van (28. ábra).




*28. ábra. Paradicsompüré hexános kivonatának abszorpciós spektruma*

A CIELab szabvány alapján történő fotometriás színmérés a* értékei a korábbi vizsgálataink szerint igen szoros és szignifikáns korrelációban vannak mind a zsíroldószeres extrakciót követő fotometriás, mind az elterjedt, de a vizsgáló szubjektivitásától nagyban függő színskála (Yolk Colour Fan, DSM Nutritional Products) segítségével mért értékekkel (SZABÓ és mtsai., 2007a). A tojássárgája színintenzitási (23. ábra), és likopin koncentráció (10. táblázat) értékei csak kissé, de nem szignifikáns mértékben tükrözték a takarmánykiegészítő sokkal jelentősebb mértékű ($LY_5$ 250 ill. $LY_{10}$ 500 mg/tak.kg) különbségeit. Ez tojótyúkokban végzett karotinoid abszorpciós és raktározási vizsgálatokban már korábban leírtakkal összeegyeztethető eredmény, azaz minél kisebb a kiegészítésként adagolt karotinoid koncentráció, annál nagyobb a felszívódás, majd az értékesülés (takarmány → vér, vér → bőr) hatásfoka (NA és mtsai., 2004). Az $LY_5$ kezelés 4,35 ± 0,91, az $LY_{10}$ kezelés 5,57 ± 1,38 μg/g tojás likopin koncentrációkat eredményezett. Ez egy 17-19 g súlyú sárgája esetében ~80-100 μg mennyiségnek felel meg. Ezek ugyan elmaradnak a paradicsom, ill. paradicsom készítmények értékeitől (LUGASI és mtsai., 2004), de nem kizárt, hogy hatékonyabb biológiai értékesülést eredményez a tojássárgája biológiai közegében eloszló likopin, mint a növényi eredetű. Ezt a feltételezést támasztják alá azok a táplálkozásélettani vizsgálatok, amelyek azt bizonyították, hogy luteinnel dúsított tojásból a lutein hasznosulása közel 3-szor hatékonyabb, mint táplálékkiegészítő preparátumokból, vagy akár az eredeti növényi forrásokból, pl. kukoricából, ill. parajból (CHUNG és mtsai., 2004; RIBAYA-MERCADO és BLUMBERG, 2004). A likopinnak színező hatása mellett bizonyított egészségmegőrző és/vagy egészségjavító tulajdonsága az, hogy az egyik legerősebb antioxidánsnak tekinthető a karotinoidok közül (RAO és AGARWAL, 1998), valamint a sejt közötti egyik réskapcsolat (*gap junction*) típus (*Connexin 43*) kialakulásában van szerepe (BERTRAM, 2004). A likopin élettani koncentrációban toxikus tünetek és apoptotikus jelenségek nélkül is mérsékli a sejtciklus progresszióját (HEBER és LU, 2002). E tulajdonságok révén bizonyos tumorok, különösen a dülmirigy daganatok (*prostata carcinoma*) rizikójának csökkentő tényezőjeként tartják számon (GIOVANNUCCI és mtsai., 2002).

A likopin másik egészségvédő hatásának ítélhető az a koleszterin anyagcserében tapasztalható változás, ami szerint a koleszterin bioszintézist a hidroximetil-glutaril koenzim-A reduktáz gátlásával csökkenti (AGARWAL és RAO, 1998). Humán vizsgálatban tapasztalták ezt a statin hatást. Paradicsomból származó napi 60 mg likopin bevitellel 3 hónap alatt 14%-kal csökkent az LDL koleszterin szint (FUHRMAN és mtsai., 1997). Ennek megnyilvánulásaként értékelhetjük, hogy az $LY_{10}$ csoport tojótyúkjainak vérében csökkent az összkoleszterin koncentráció (9. táblázat). Mivel a HDL-koleszterin szint gyakorlatilag nem változott, így feltételezhető, hogy a májban lejátszódó *de novo* koleszterin szintézis mértéke csökkent. Csökkenés a tojások koleszterin tartalmában nem jelentkezett. Ennek az lehet a magyarázata, hogy az embrió anyagcseréjében is

fontos szerepet betöltő koleszterin transzportját a tojásképződés idején a májban szintetizálódó specifikus nagyon kis sűrűségű lipoproteinnel (VLDLy) (WALZEM és mtsai., 1999) optimalizálni képes a tojómadár. A hazai lakosság körében végzett felmérés szerint az átlagos napi likopin bevitel 3-4 mg, ami nemzetközi összehasonlításban közepes mértékűnek értékelhető. A likopin forrása főleg a paradicsom és a paradicsom készítmények, valamint szezonálisan a görögdinnye (LUGASI és mtsai., 2004). Ezt a likopintartalmú táplálékkínálatot lehetne bővíteni likopinnal dúsított tojások előállításával. A tojótápba kevert likopin a takarmány saját karotinoidjai mellett már kétheti etetés során a piaci kívánalmaknak megfelelő színintenzitást eredményez, de az előzőekben leírtak szerint ez a takarmánykiegészítés nemcsak szubjektív fogyasztó igényt elégít ki, hanem funkcionális hatást is eredményez. A fogyasztók elvárásai eltérőek a tojás színével kapcsolatban. A tojáshéj színe fajta/hibrid függő, és nem mutat összefüggést a tojás egyéb beltartalmi értékeivel, így a sárgája színével sem. Napjainkban az a legkedveltebb, ha a tojássárgája színe a nemzetközileg elfogadott és széles körben használt színskálán (Yolk Colour Fan) 11-12-es értékű. Ez a színhatás 250 mg likopin/tak.kg koncentrációval már elérhető, így a likopint nagyobb koncentrációban adagolni nem érdemes.

# 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A karotinoidok kutatása napjainkra mindinkább a figyelem központjába került, egyre jobban kurrens területté nőtte ki magát. Ennek létjogosultsága szoros összefüggésben áll az általuk kiváltott számos–mind humán élelmezési, mind takarmányozás-élettani szempontból–jótékony hatással: antioxidáns és citoprotektív hatás, LDL oxidáció csökkentése, ateroszklerózis kockázatának csökkentése, prosztata-, mell- és tüdőrák kialakulásának csökkent esélye, javuló immunválasz, sejt-sejt közötti kommunikáció stb. Az állati termékek előállítása és fogyasztása során érdemes ezekért a hatásokért felelős vegyületeket alaposabban megvizsgálni.

A kutatómunka során a természetes eredetű karotinoidok felszívódása és szöveti megoszlása került vizsgálatra a házityúk különböző korcsoportjaira vonatkoztatva.

A vizsgálatok célkitűzései a házityúk zsíranyagcserével kapcsolatos speciális területén, a karotinoid metabolizmussal összefüggésben a következők voltak:

- A likopinkiegészítés hatásának megismerése a tojótyúkok karotinoid- és lipidanyagcseréjére és a tojásba történő beépülésére.
- A naposcsibében történő likopin, lutein és β-kriptoxantin kiegészítést követő felszívódás tanulmányozása a kelést követő 72 órában.
- Tojótyúkok likopin, β-karotin és lutein felszívódásának megítélése.
- A természetes karotinoidok raktározódásának és szöveti megoszlásának kutatása.

A kísérleti állatok különböző természetes eredetű karotinoid kiegészítésben (likopin, lutein, β-kriptoxantin, β-karotin) részesültek a meghatározott életkorban. A vizsgálatokhoz keltetést is alkalmaztunk. A kapott eredmények analizálása a biológiai mintákból (szérum/plazma, máj, szik) kémiai (koleszterin/HDL koleszterin, triglicerid, FRAP, TBARS) és nagynyomású kromatográfia (HPLC) módszerrel, valamint optikai színméréssel és YCF próba alkalmazásával történtek. A statisztikai elemzés biometriai módszerekkel készült.

A lefolytatott és értékelt kísérleteket követően megállapítást nyert, hogy a különböző mértékű és kombinációjú karotinoid etetés (likopin, β-karotin, lutein) a tojókban egyértelmű felszívódással jár, melyek mértéke vélhetően összefüggésben áll a molekulák eltérő szerkezetéből (polaritásából, azaz oldékonyságából) következő portomikronba történő beépülés arányával. Így bizonyítható, hogy az apoláros likopin és β-karotin csúcsai már a 6., az oxikarotinoid (lutein) a 12. órában ad maximum értéket. Ezt követően a likopin kivételével, ami elnyújtott, de kisebb mértékű növekedést mutat, a karotinoidok fokozatosan visszatérnek a kiindulási szintre. A kombinált adagolások esetén a felszívódás tekintetében szintén szignifikáns emelkedés tapasztalható, azonban az apoláros likopin

rontja az oxikarotinoidok (lutein, zeaxantin) hasznosulását, továbbá antioxidáns hatása vasredukciós képesség mérésével nem, TBARS módszerrel viszont igazolható volt.

A korai posztembrionális korban (napos csibék; a kikeléstől számított megközelítőleg 3 napig, illetve 72 óráig) a karotinoid felszívódás szinte kizárólag a szikzacskóból történik, mivel annak tartalma a szikbéljáraton át ürülő tartalom és a bélszakasz retroperisztaltikája akár a duodénumig is tamponálja a bél lumenét, ezzel lehetetlenné teszi a *per os* felvett karotinoidok felszívódását. Ezt látszik alátámasztani az a tény, hogy a szik karotinoidjai közül értelemszerűen hiányzó likopin *p.os* adása esetén sem jelent meg a vér karotinoid frakciójában.

## SUMMARY

Currently the field of carotenoid research is getting more and more in the focus of interest, it gradually grew to be a current area. The reason for this tendency has a close connection to the several beneficial effects they cause both to human feeding and animal nutrition physiology. These effects include antioxidant and citoprotective effect, reduction of the LDL lipoprotein oxidation, reduction of the risk of the development of atherosclerosis, prostate, breast and lung cancer, improving immune response, communication between cytic-cell etc. During the production and consumption of animal products it seems to be very useful to investigate the compounds responsible for these effects more thoroughly.

During the research we examined the absorbtion and histic partitioning of the natural carotenoids correlating to the different age-groups of the domestic fowl.

The objectives of the examinations concerning the carotenoid metabolism, the special area of the lipid metabolism of the domestic fowl were as follows:

- To have more information about the effect of the lycopen supplementation for the laying hens' carotenoid and lipid metabolism and the infiltration into the egg.
- The post-supplementary absorption of a few natural carotenoids (lycopene, lutein, β-cryptoxanthin) was examined in newly hatched chickens at 0-72 hours of age.
- Estimation of the carotenoids (lycopene, β-carotene, lutein) absorption in laying hens.
- Research of the storage and histic partitioning of the natural carotenoids.

The experimental animals received different natural carotenoids (lycopene, lutein, β-cryptoxanthin, β-carotene) at a certain age. We also applied incubation during the research period. The analysis of the received results from the biological samples (serum, plasma, liver, yolk) was carried out through chemical (cholesterol/HDL cholesterol, triglyceride, FRAP, TBARS) and high pressure chromatography (HPLC) method, as well as with optical colorimetry and with the application of a Yolk Colour Fan test. The statistical analysis was made with biometric methods.

After the trials were conducted and evaluated, we established that the different extent and combination of carotenoid supplementation (lycopene, lutein, β-carotene) results in a certain absorbtion in case of laying hens. Probably the extent of this absorbtion is in relation to proportion of the infiltration in to the portomicron of the molecules, which is associated with the divergent structure of the molecules (polarity, i.e. solubility). So can be proved, that the peaks of the non-polar lycopene and β-carotene is in the $6^{th}$ hour, the peak of the oxi-carotenoid (lutein) is in the $12^{th}$ hour. Afterwards the carotenoids are progressively returning to the starting level, with the exception

of the lycopene, which shows a prolonged but less extensive growth. In case of the combined dosages the absorbtion is significant, but the non-polar lycopene damages the efficacy of the oxi-carotenoids (lutein, zeaxhantin), besides the antioxidant effect could be not be proved with FRAP method, but with TBRAS method it was possible to prove.

In the early post-embryonic period (day-old chicks; approximately for 3 days or 72 hours) the carotenoid absorbtion is exclusively from the yolk sac as the upper small intestine is occupied by yolk material i.e. the p.o. given carotenoid cannot reach the absorptive surface.

# MELLÉKLETEK

## M1. Irodalomjegyzék


1. AGARWAL, S., RAO, A. V. (1998): Tomato lycopene and low density lipoprotein oxidation: a human dietary intervention study. Lipids 33. 981-984.
2. ÁGOTA, G. (2000): ß-karotin felszívódásának, transzportjának és tojásba épülésének vizsgálata, különös tekintettel a koleszterin anyagforgalommal való kölcsönhatására. Doktori értekezés, Gödöllő.
3. ÁGOTA, G., BÁRDOS, L., MIGHÁLYNÉ, L. H. (1998): A tojássárgájába történő béta-karotin és koleszterin beépülés jellege. Állattenyésztés és Takarmányozás 47:447-455.
4. AUST, O., SIES, H., STAHL, W., POLIDORI, C. M. (2001): Analysis of lipophilic antioxidants in human serum and tissuse tocopherols and carotenoids. Journal of Chromatography (A) 936. 83-93.
5. AYDELOTTE, M.B. (1963):Vitamin A deficiency in chickens. British Journal of Nutrition 17: 205-211.
6. BÁRDOS, L. (1988): Az A-vitamin szint összetevőinek (retinol, retinil-észter) és az összkarotin tartalom mérése biológiai folyadékokból. Magyar. Állatorvosok Lapja 43. 113-116. pp.
7. BÁRDOS, L. (1989): Az A-vitamin anyagforgalom egyes kérdéseinek vizsgálata háziállatainkban. Kandidátusi értekezés MTA, Budapest, 105. p.
8. BÁRDOS, L. (Szerk. Husvéth, F.) (1994): Zsírban oldódó vitaminok. In: A háziállatok élettana és anatómiája. Mezőgazda Kiadó Budapest, 471. p.
9. BÁRDOS, L. (Szerk. Husvéth, F.) (2000): A vitaminok anyagcseréje. In: A gazdasági állatok élettana az anatómia alapjaival. Mezőgazda Kiadó Budapest, 464-478. p.
10. BÁRDOS, L., RÉTHY, K., KISS, ZS., SZABÓ, CS. (2004): Effects of dietary lycopene on lipid parameters and yolk coloration in Japanese quail. - Acta Angiologica (Suppl.), 10. 10:51.
11. BÁRDOS, L., KISS, ZS., GREGOSITS, B., RÉTHY, K., KERTI, A., SZABÓ, CS. (2005): Studies on the effects of lycopene in poultry (Hen and quail) – ISAH Warsaw - Poland, Proceedings, Vol. 2. 65-68.
12. BEEMS, R. B., BEEK, L., RUTTEN, A. A. J. J. L., SPEEK, A. J. (1987): Subchronic (106-day) toxicology and nutrition studies with vitamin A and ß-carotene in Syrian hamsters. Nutrition Reports International 35.765-770.
13. BENDICH, A. (1988): The safety of ß-carotene. Nutrition and Cancer (11) 207-214. pp.

14. BENDICH, A. (1989): Carotenoids and the immune response. Journal of Nutrition 119. 112-115. p.
15. BENDICH, A. (1992): The role of carotenoids in the immun response, Voeding 53. 191-195. p.
16. BENSADOUN, A., ROTHFIELD, A. (1972): The form of adsorbtion of lipids in the chicken, Gallus domesticus. Proceedings of the Society of Experimental Biology and Medicine 41, 814-817.p.
17. BENZIE, I. F. F., STRAIN, J. J. (1996): Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. Analytical Biochemistry 239:70-76.
18. BERG, H., VLIET, T. (1998): Effect of simultaneous, single oral doses of ß-carotene with lutein or lycopene on the ß-carotene and retinyl ester responses in the triacylglycerol-rich lipoprotein fraction of men. The American Journal of Clinical Nutrition 68: 82–89. p.
19. BERTRAM, J. S. (2004): Induction of connexin 43 by carotenoids: functional consequences. Archives of Biochemistry and Biophysics 430. 120-126. p.
20. BERTRAM, J. S., VINE, A. L. (2004): Cancer prevention by retinoids and carotenoids: independent action on a common target. Acta Angiologica 10: 31-32. p.
21. BIARD, C., SURAI, F. P., MOLLER, A. P. (2006): Carotenoid availability in diet and phenotype of blue and great tit nestlings. Journal of Experimental Biology 209 (6): 1004-1015. p.
22. BIERER, T. L., MERCHEN N. R., ERDMAN J. W. (1995): Comparative absorption and transport of five common carotenoids in preruminant calves. The Journal of Nutrition 125(6): 1569-1577. p.
23. BIESALSKI, H., GREIFF, H., BRODDA, K., HAFNER, G., BÄSSLER, K.H. (1986): Rapid determination of vitamin A (retinol) and vitamin E (a-tocopherol) in human serum by isocratic adsorption HPLC. International Journal for Vitamin and Nutrition Research 56:p. 319-327. pp.
24. BLANCH A. (1999): Getting the colour of yolk and skin right. World Poultry 15:32-33. p.
25. BLOCK, G., PATTERSON, B., SUBAR, A. (1992): Fruit, vegetable, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. Nutrition and Cancer 18: 1–29. p.
26. BOGENFÜRST, F. (1998): Keltetés. Budapest: Gazda Könyvkiadó 22. p.
27. BOGENFÜRST, F. (2004): A keltetés kézikönyve. Budapest: Gazda Kiadó 209. p.
28. BOILEAU, A. C., MERCHEN, N. R., WASSON, K., ATKINSON, C. A., ERDMAN, J. W. JR. (1999): cis-Lycopene is more bioavailable than trans-lycopene in vitro and also in vivo in the lymph-cannulated ferret. Journal of Nutrition 129. 1176-1181.

29. BOLLA E. (2001): Vitaminok: Karotinoidok, a népes család. Élelmezés, http: http://www.elelmezes.hu/szamok/05/12/21.htm//www.elelmezesvezetok.hu/2001-12-21.htm Megtekintve 2010. február 18.
30. BOND, M. G., BULLOCK, B. C., BELLINGER, D. A., HAMM, T.E. (1980): Myocardial infarction in a large colony of nonhuman primates with coronary artery athersclerosis. American Journal of Pathology 101:675-692. p.
31. BÖHM V., 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. p.
32. BREITHAUPT, D. E., WELLER, P. AND GRASHORN, M. A. (2003): Quantification of carotenoids in chicken plasma after feeding free or esterified lutein and capsanthin using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry analysis. Poultry Science 82:395-401. p.
33. BRITTON, G. (1995): Structurate and properties of carotenoids in relation to function. The FASEB Journal 9. 1551-1558. p.
34. BRUSH, A. H. (1981): Carotenoids as colorants and vitamin A precusors. (Ed. Bauernfield, J.C.) Academic Press, New York, 539-562. p.
35. BRUSH, A. H. (1990): Metabolism of carotenoid pigments in birds. The FASEB Journal 4: 2969-2977. p.
36. BURRI, B. J., CLIFFORD A. J. (2004): Carotenoid and retinoid metabolism: insights from isotope studies. Archives of Biochemistry and Biophysics 430(1):110-119. p.
37. CFR (2002): Code of Federal Regulations. Title 21, Vol. 2. U.S. gov. Printing Office via GPO Access
38. CHEW, B. P., PARK, J. S. (1976): Carotenoid action the immune response. The Journal of Nutrition 134. 257-261. p.
39. CHEW, B.P. (1996): Importance of antioxidant vitamin sin immunity and health in animals. Animal Feed Science and Technology 59. 103-114. p.
40. CHEW, B. P., PARK, J. S., WONG, T. S., WENG, B. C., KIM, H. W., BYRNE, K. M., HAYEK, M. G., REINHART, G. A. (1998): Role of dietary ß-carotene in modulating cell-mediated and humoral immune response in dogs. The FASEB Journal 12:A967 (abs.)
41. CHUNG H. Y., RASMUSSEN H. M., 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. p.

42. CIACCIO, M., VALENZA, M., TESORIERE, L., BONGIORNO, A., ALBIERO, L. LIVREA, M. A. (1993): Vitamin A inhibits doxorubicin-induced membrane lipid peroxidation in rat tissues *in vivo*. Archives of Biochemistry and Biophysics 302: 103-108.
43. CLARK R. M., YAO L., SHE L., 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. p.
44. CONNOR, W. E., WANG, Y. M., ILLINGWORTH, D.R., CONNOR. S. L. (2006): Accretion of carotenoids in chick plasma, tissues and retina after diets high in lutein, zeaxanthin or beta-carotene. The FASEB Journal 20 (5): A1318-A1318 Part 2, MAR 7 2006
45. CORIDAN, B. M., DONOGHUE, M. O., HUGHES, D. A., MORISSEY, P.A. (2001): Low-dose supplementation with lycopene or beta-carotene does not enhance cell mediated immunity in healthy free-living elderly humans. European Journal of Clinical Nutrition 55. 627-635. p.
46. DE LUCA, L., M. SHUMACHER, M., NELSON, D.P. (1971): Localisation of the retinol dependent fucose-glycopeptide in the globet cell of the rat small intestine. Journal of Biological Chemistry 246: 5762-5766. p.
47. DE PEE S, BLOEN M. W., GORSTEIN, J, SARI, M, YIP R., SHRIMPTOM R. (1998): Reappraisal of the role of vegetables in the vitamin A status of mothers in Central Java, Indonesia. American Journal of Clinical Nutrition 68. 1068-1074. p.
48. DI MASCIO, P., KAISER, S., SIES, H. (1989): Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. Archives of Biochemistry and Biophysics 274:532-8.
49. DORMAN, H. J. D., DEANS, S. G., NOBLE, R. C., SURAI, P. (1995): Evaluation in vitro of plant essential oils as natural antioxidants. Journal of Essential Oil Research 7: 645-651.
50. DURING, A., HARRISON, E. H. (2004): Intestinal absorption and metabolism of carotenoids: insights from cell culture. Archives of Biochemistry and Biophysics 430: 77–88. p.
51. DURING, A., HARRISON, E. H. (2005): An *in vitro* model to study the intestinal absorption of carotenoids. Food Research International 38. 1001–1008. p.
52. DVORSKA, J. E., SURAI, P. F., SPEAKE, B. K., SPARKS, N. H. (2002): Antioxidant systems of the developing quail embryo are compromised by mycotoxin aurofusarin. Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology and Pharmacology 131 (2):197-205. p.
53. EL-SALAHY, E. M., AHMED, M., EL-GHARIEB, A., TAWFIK, H. (2001): New scope in angiogenesis: role of vascular endothelial growth factor (VEGF), NO, lipid peroxidation,

and vitamin E in the pathophysiology of pre-eclampsia among Egyptian females. Clinical Biochemistry 34. 323-329. p.

54. ERDMAN, J. W. JR., BIERER, T. L., GUGGER, E. T. (1993): Absorption and transport of carotenoids. Annals of the New York Academy of Sciences 691, 76-85. p.
55. ETCHES, R. J. (1996): Reproduction in poultry. CAB International, 318. p.
56. FAULKS, R. M., SOUTHON S. (2005): Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability. Biochimica et Biophysica Acta., 1740: 95-100. p.
57. FAWZI, W. W., HERRERA, M. G., WILLETT, W. C., AMIN, A. E., NESTEL, P., LIPSITZ, S., SPIEGELMAN, D., MOHAMED, K. A. (1993): Vitamin A supplementation and dietary vitamin A in relation to the risk of xerophthalmia. American Journal of Clinical Nutrition 58: 385–391. p.
58. FEHÉR, GY., GYŰRŰ, F. (1971): Adatok a házimadarak sziktömlőjének posztembrionális változásaihoz. Magyar Állatorvosok Lapja 26: 353-360.
59. FRASER, P. D., BRAMLEY P. M. (2004): The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. Progress in Lipid Research, 43: 228–265. p.
60. FUHRMAN, B., ELIS A., AVIRAM M. (1997): Hypocholesterolemic effect of lycopene and beta-carotene is related to suppression of cholesterol synthesis and augmentation of LDL receptor activity in macrophages. Biochemical and Biophysical Research Communications 233. 658-662. p.
61. FURR, H., CLARK, M. (1997): Intestinal absorption and tissue distribution of carotenoids. Nutritional Biochemistry, 8: 364-377. p.
62. GAÁL, T., VAJDOVICH, P., SPEAKE, B. K., NOBLE, R. C., SURAI, P. F., MÉZES, M. (1996): Lipidperoxidáció az életkor függvényében. Magyar Állatorvosok Lapja 51: 165-169. p.
63. GERHARTZ, B., KOLB, H. J., WITTMANN, J. (1999): Proteolytic activity in the yolk sac membrane of quail eggs. Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology, Volume 123, Issue 1, May, 1-8. p.
64. GIOVANNUCCI, E., ASCHERIO, A., RIMM, E. B., STAMPFER, M. J., COLDITZ, G. A., WILLETT, W.C. (1995): Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. The Journal of the National Cancer Institute 87. 1767-1776. p.
65. GIOVANNUCCI, E., RIMM, E.B., LIU, Y., STAMPFER, M. J., WILLETT, W. C. (2002): A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. The Journal of the National Cancer Institute 94. 391-398. p.

66. GOMEZ, R., ALONSO, A., MARTIN, M. (1978): Carotenoid absorption in chicken intestine. Rev Esp Fisiol. 34: 257-259. p.
67. GOODWIN T. W. (1986): Metabolism, nutrition, and function of carotenoids. Annual Review of Nutrition 6: 273–297. p.
68. GRANEY, D.O. (1967): Electron microscopic observation in the morphology of intestinal capillaries in the chicken and transcapillary passage of chylomicra during fat absorption. Anat. Rec. 157. 250-259. p.
69. GREGOSITS, B., KERTI, A., BÁRDOS, L. (2007): A karotinoid kutatás nem szokványos kísérleti állatai. Irodalmi áttekintés. Animal Welfare, Ethology and Housing Systems (AWTH), Vol 3. 2-15. p.
70. GUSTIN, D. M., RODVOLD, K. A., SOSMAN, J. A., DIWADKAR-NAVSARIWALA, V., STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M., VIANA, M., CROWELL, J. A., MURRAY, J., TILLER, P., 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.
71. HATZIPANAGIOTOU, A., HARTFIEL, W. (1984): Deposition of a carotenoid into the egg yolk from the body stores by providing ration with fresh or strong oxidated soya oil. Eur. Poult. Sci. 48–155. p.
72. HEBER, D., LU, Q-Y. (2002): Overview of mechanisms of action of lycopene. Experimental Biology and Medicine 227. 920-923. p.
73. HEIDLAS, J., CULLY, J., WIESMÜLLER J., VOLLBRECHT H.R. (1996): Natural carotenoid colorant extraction. Trends in Food Science and Technology 7. 377-382. p.
74. HOLMAN, J. (1979) Absorption of lipid by the small intestinal enterocytes of the chicken. Acta Veterinaria, Brno 48, 9-13.
75. HUMPHREY, J. H., WEST, K. P. JR, SOMMER, A. (1992): Vitamin A deficiency and attributable mortality among under-5-year olds. Bulletin WHO 70:225-232. p.
76. IARC International Agency for Research on Cancer (1998): Handbooks of Cancer Prevention. Carotenoids 15. p.
77. IPEK, A., SAHAN, U., YILMAZ, B. (2004): The effect of *in ovo* ascorbic acid and glucose injection in broiler breeder eggs on hatchability and chick weight. Archive für Geflugelkunde 68. 132-135. p.
78. ISLER, O. (ED.) (1971): Carotenoids. Birkhäuser Verlag, Basel.

79. JAIN, C. K., AGARWAL, S., RAO, A. V. (1999): The effect of dietary lycopene on bioavailability, tissue distribution, in-vivo antioxidant properties and colonic preneoplasia in rats. Nutrition Research 19:1383–1391 p.
80. JIALAL, I., NORKUS, E. P., CRISTOL, L., GRUNDY, S. M. (1991): ß-carotene inhibits the oxidative modification of low density lipoproteins. Biochimica et Biophysica Acta 1086: 134-138.
81. JOHNSON, J. E., QIN, J., KRINSKY, N. I., RUSSELL, R. M. (1997): ß-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. p.
82. KAKUK, T. (1972): Vitaminhiány in Horváth Z.-Nacsev B. Takarmányártalmak és hiánybetegségek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 159-195. p.
83. KANPAI, P., PATCHIMASIRI, V., TONGYAI, S., ENGKAGUL, A., TIRAWATTANAWANICH, C. (2004): The effects of white kwao krua (pueraria mirifica) on serum lipid profile, egg–yolk cholesterol levels and egg production in laying hens. The Kasetsart Journal (Nat. Sci.) 38 : 78 – 83
84. KARADAS, F., GRAMMENIDIS, E., SURAI, P. F., ACAMOVIC, T., SPARKS, N. H. C. (2006): Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. British Poultry Science 47. 561-566. p.
85. KARADAS, F., PAPPAS, A. C., SURAI, P. F., SPEAKE, B.K. (2005): Embryonic development within carotenoid-enriched eggs influences the post-hatch carotenoid status of the chicken. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol., 141:244-251. p.
86. KARLSON, P. (1972): Biokémia. Medicina Könyvkiadó, Budapest.
87. KERTI, A. (1998): Retinoid és karotinoid anyagcsere jellemzése takarmány-tojómadár-utód metanolikus tengelyben (Japánfürjebn végzett kísérletek) – Doktori (PhD) értekezés – Gödöllő.
88. KERTI, A., BÁRDOS, L. (1997): Különböző mértékű A-vitamin ekvivalens ß-karotin takarmánykiegészítés hatása japánfürjtojások keltethetőségére. Állattenyésztés és Takarmányozás 46.515-524.
89. KERTI, A., BÁRDOS, L. (2006): Retinoidok (retinol, retinil-palmität), karotinoidok (lutein, zeaxantin, ß-kriptoxantin, likopin, ß-karotin) és E-vitamin szimultán analízise rpHPLC-vel. Klin. Kísérl. Lab. Med., 32. 106. p.
90. KERTI, A., SZABÓ, CS., GREGOSITS, B., JUNG, I., BÁRDOS, L. (2008): A tojásminőség fontos festékanyagai. Animal Welfare, Ethology and Housing Systems (AWTH), 4. 773-779. p.

91. KERTI, A., GREGOSITS, B., SZABÓ, CS., BÁRDOS, L. (2009): Felszívódás során tapasztalható karotinoid kölcsönhatások tojótyúkban. II. Gödöllői Állattenyésztési Tudományos Napok, 2009. október 16-17. Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Gödöllő.
92. KHACHIK, F., GOLI, M. B., BEECHER, G.R., HOLDEN, J., LUSBY, W.R., TENORIO, M.D., BARRERA, M.R. (1992): Effect of food preparation on qualitative and quantitative distribution of major carotenoid constituents of tomatoes and several green vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40: 390-398. p.
93. KIM, H. W., CHEW, B. P., WONG, T. S., PARK, J. S., WENG, B. C., BYRNE, K. M., HAYEK, B. G. (1998): Modulation of cell-mediated immunity by dietary lutein in dogs. The FASEB Journal 12:A966 (abs.)
94. KISS, I. (1973): Baromfikeltetés. Mezőgazdasági Kiadó, 24-25. p.
95. KISS, ZS., BÁRDOS, L., SZABÓ, CS., LENGYEL, L. SZABÓ, M. (2003a): Effect of carotene supplementation on plasma and yolk IgY levels induced by NDV vaccination in Japanese Ouail. International Journal for Vitamin and Nutrition Research 73 (4), 285-289. p.
96. KISS, ZS., GREGOSITS, B., BÁRDOS, L. (2003b): A likopin a táplálékláncban. Eu Konform Mezőgazdaság és Élelmiszerbiztonság Gödöllő-Debrecen, Gödöllő, 2003. június 5., 20-25. p.
97. KLASING, K. C. (1998): Comparative avian nutrition. University Press, Cambridge, 277−299. p.
98. KOSTIC, D., WHITE, W. S., OLSON, J. A. (1995): Intestinal absorption, serum clearance, and interactions between lutein and ß-carotene when administered to human adults in separate or combined oral doses. The American Journal of Clinical Nutrition 62: 604-610. p.
99. KRINSKY, N. I. (1989): Carotenoids and cancer in animal models. Journal of Nutrition 119, 123-126.
100. KRINSKY, N. I., DENEKE, S. M. (1982): Interaction of oxygen and oxyradicals with carotenoid. Journal of the National Cancer Institute 69: 205-209.
101. KRINSKY, N. I., LANDRUM, J. T., BONE, R. A. (2003): Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye. Annual Review of Nutrition 23. *1*71-201. p.
102. KROGDAHL A. (1985): Digestion and absorption of lipids in poultry. The Journal of Nutrition 115(5):675-85.

103. KUNERT, K., FITZGERALD, M. E. C., THOMSON, L., CHENG, K., DOREY, *C.* K. (1997): Activated microglia among the photoreceptors in aging birds. Investigative Ophthalmology and Visual Science 39. 561 (abs.)
104. KURILICH, A. C., BRITZ, S. J., CLEVIDENCE, B. A., NOVOTNY J. A. (2003): Isotopic labeling and LC-APCI-MS quantification for investigating absorption of carotenoids and phylloquinone from kale (*Brassica oleracea*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 51 (17). 4877–4883 pp.
105. LAI, SHU-MEI., GRAY, J. I., FLEGAL, C. J., COOPER, T. (1996): Deposition of carotenoids in eggs from hens fed diets containing saponified and unsaponified oleoresin paprika. Journal of the Science of Food and Agriculture 72. 166-170. p.
106. LAKSHMANAN, M. R., CHANSANG, H., OLSON, J. A. (1972): Purification and properties of carotene 15,15'-dioxygenase of rabbit intestine. Journal of Lipid Research 13. 477-482.
107. LATSCHA, T. (1990): Carotenoids in animal nutrition. Hoffmann-La Roche Ltd., Basel.
108. LAWLOR, S. M., OBRIEN, N. T. J. (1995): Antioxidant effects in chicken embrio fibroblast. Nutrition Research 15. 1695-1704. p.
109. LEAL, M., DE MEJIA, G. E., RUÍZ, F., SHIMADA, A. (1998): Effect of carotenoids on cytotoxicity of T-2 toxin on chicken hepatocytes in vitro. Toxicol in Vitro 12. 133-139.
110. LEE, C. M., BOILEAU, C. A., BOILEAU T. W. M., ALEXA, W. W., SWANSON, K. S., HEINTZ, K. A., ERDMAN, J. W. JR. (1999): Review of animal models in carotenoid research. Journal of Nutrition 129: 2271-2277. p.
111. LEESON, S., CASTON, L. (2004): Enrichment of eggs with lutein. Poultry Science 83:.1709-1712. p.
112. LEESON, S., WALSH, T. (2004): Feathering in commercial poultry II. Factors influencing feather growth and feather loss. World Poultry Science Journal 60. 52-63. p.
113. LENGYEL, L., SZABÓ, M., KISS, ZS., BÁRDOS, L. (2001): Utilization of antioxidants from natural and syntetic matrices. Annual Symposium of the European Academy of Nutritional Sciences. Budapest, 2001 aug. 24-25. - Táplálkozás–Allergia-Diéta, 2001. 6. évf. 3-4. sz. p.19.
114. LENGYEL, L., KISS, ZS., BÁRDOS, L.(2002): Előzetes kísérletek a tojás antioxidáns kapacitásának növelésére japánfürjben. Állattenyésztés és Takarmányozás 51. 2. 165-174.
115. LUGASI, A., HÓVÁRI, J., BÍRÓ, L., BRANDT, S., HELYES, L. (2004): Az élelmiszereink likopintartalmát befolyásoló tényezők és a hazai lakosság likopinbevitele. Magyar Onkológia 48. 131-136. p.

116. MATHEWS-ROTH, M. M. (1985): Carotenoids and cancer prevention - experimental and epidemiological studies. Pure and Applied Chemistry 57, 717-122.
117. MATHEWS- ROTH, M. M. (1986): Beta carotene therapy for erythropoietic protoporphyria and other photosensitivity diseases. Biochemie 68:875-884
118. MATUS, Z., MÓZSIK, GY., TÓTH, GY. (1994): An HPLC method for the measurement of serum carotenoid and vitamin A level levels. Laboratóriumi Diagnosztika 21:203. p.
119. MAYNE, S. T. (1996): Beta-carotene, carotenoids, and disease prevention in humans. The FASEB Journal 10: 690–701. p.
120. MLODKOWSKI, M., KUTSHA, M. (1998): Using carotenoid pigment from tomato to improve egg yolk colour in laying hens. Rocz. Nauk. Zootech., 25. 133-144. p.
121. MOON, R. C. (1989): Comparative aspects of carotenoids and retinoids as chemopreventive agents for cancer. Journal of Nutrition 119. 127-134.
122. MULLER, D. P. R. (1987): Free radical problems of the newborn. Proceedings of the Nutrition Society 46: 69-75.
123. NA, J. C., SONG, J. Y., LEE, B. D., LEE, S. J., LEE, C. Y., AN G. H. (2004): Effect of polarity on absorption and accumulation of carotenoids by laying hens. Animal Feed Science and Technology 117. 305–315. p.
124. NAGASAWA, H., MITAMURA, T., SAKAMOTO, S. YAMAMOTO, K. (1995): Effects of lycopene on spontaneous mammary tumor development in SHN virgin mice. Anticancer Research 15. 1173-1178.
125. NOY, Y., SKLAN, D. (1998): Yolk utilisation in the newly hatched poult. British Poultry Science 39: 446-451. p.
126. NOY, Y., UNI, Z., SKLAN, D. (1996): Routes of yolk utilisation in the newly-hatched chick. British Poultry Science 37: 987-995. p.
127. NOYAN, A., LOSSOW, W. J., BROT, N., CHAIKOFF, I. (1964): Pathway and form of absorption of palmitic acid in the chicken. Journal of Lipid Research 5, 538-542. p.
128. O'NEILL, M. E., THURNHAM, D. I. (1998): Intestinal absorption of ßcarotene, 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. p.
129. OLSON, J. A. (1999): Carotenoids. In: Modern Nutrition in Health and Disease.
130. OLSON, J. B., WARD, N.E., KOUTSOS, E. A. (2008): Lycopene incorporation into egg yolk and effects on laying hen immune function. Poultry Science 87. 2573–2580. p.
131. PACKER, J. E., MAHOOD, J. S., MORA-ARELLANO, M. O., SLATER, T. F., WILSON, R. L., WOLFENDEN, B. S. (1981): Free radicals and singlet oxygen scavengers: reactions

of a peroxyl-radical with ß-carotene diphenyl furan and 1,4-diazobicyclo (2,2,2)-octane. Biochemical and Biophysical Research Communications 98:901-906.

132. PAETAU, I., CHEN, H., GOH, N. M. Y., WHITE, W. S. (1997): Interactions in the postprandial appearance of ß-carotene and canthaxanthin in plasma triacyiglycerol-rich lipoproteins in humans. The American Journal of Clinical Nutrition 66: 1133-1143. p.
133. PALOZZA, P., MOUALLA, S., KRINSKY, N. I. (1992). Effects of β-carotene and α-tocopherol on radical-initiated peroxidation of microsomes. Free Radicals in Biology and Medicine 13, 127-136.
134. PALOZZA, P., LUBERTO, C., CALVIELLO, G., RICCI, P., BARTOLI, G. M. (1997): Antioxidant and prooxidant role of beta-carotene in murine normal and tumour thymocytes: effects of oxygen partial pressure. Free Radical Biology and Medicine 22: 1065-1073.
135. PETO, R., DOLL, R. J.**,** BUCKLEY, J. D., SPORN, M. B. (1981): Can dietary β-carotene materially reduce human cancer rates? Nature 290. 201-208.
136. PLACK, P. A. (1963): The amount of vitamin A aldehyde, ester and alcohol and of carotenoids in hen's eggs and in day-old chicks. The British Journal of Nutrition 17. 243-250. p.
137. POOR, C. L., MILLER, S. D, FAHEY, G. C. JR.; EASTER, R. A.; ERDMAN J. W. JR. (1987): Animal models for carotenoid utilization studies: evaluation of the chick and the pig. Nutrition Reports International 36. 229-234.
138. POOR, C. L., BIERER, T. L., MERCHEN, N. R., FAHEY, G. C., MURPHY, M R., ERDMAN, J. W. (1992): Evaluation of the preruminant calf as a model for the study of human carotenoid metabolism. Journal of Nutrition 122, 262-268. p.
139. POOR, C. L., BIERER, T. L., MERCHEN, N. R., FAHEY, G. C. JR., ERDMAN, J. W. JR. (1993): The accumulation of a and b carotene in serum and tissues of preruminant calves fed raw and steamed carrot slurries. Journal of Nutrition 123. 1296–1304.
140. PORRINI, M., RISO, P. (2000): Women after a short period of tomato consumption. Journal of Nutrition 130. 189-192. p.
141. POTRYKUS, I. (2001): Golden rice and beyond. Plant Physiology 125. 1157-1161. p.
142. RAILA, J., SCHUHMACHER, A., GROPP, J., SCHWEIGERT, F. J. (2002): Selective absorption of carotenoids in the common green iguana (Iguana iguana). Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 132:513–518. p.
143. RAO, A. V., AGARWAL, S. (1998): Bioavailability and *in vivo* antioxidant properties of lycopene from tomato products and their possible role in the prevention of cancer. Nutrition and Cancer 31. 199-203. p.

144. RAO, A. V., AGARWAL, S. (1999): Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. Nutrition Research 19 (2): 305-323. p.
145. RÉTHY, K., BÁRDOS, L., KISS, ZS., GREGOSITS, B., LAKATOS, R. (2004): Modellkísérlet a likopin mint természetes takarmány-kiegészítő élettani hatásának vizsgálatára. Innováció, a tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumában. Debrecen.
146. RÉTHY, K., KISS ZS., KERTI A., BÁRDOS L., (2006): Likopin kiegészítés hatása a tojássárgája színére és cholesterin tartalmára. MTA állatorvostudományi Bizottsága, Akadémiai beszámolók, 33. 1. p.
147. RÉTHY, K., PAPÓCSI, L., BÁRDOS, L., KISS, ZS. (2005): Karotinoidmentes takarmány alkalmazása a tyúkfélék karotinoid-anyagcseréjének vizsgálatához. Állattenyésztés és Takarmányzás (in press).
148. RIBAYA-MERCADO, J. D., FOX, J. G., ROSENBLAD, W. D., BLANCO, M. C., RUSSELL, R. M. (1992): ß-Carotene, retinol and retinyl ester concentrations in serum and selected tissues of ferrets fed ß-carotene. The Journal of Nutrition 122. 1898-1903.
149. RIBAYA-MERCADO, J. D., BLUMBERG. J. B. (2004): Lutein and zeaxanthin and their potential roles in disease prevention. Journal of the American College of Nutrition 23 (Suppl.) 567-587. p.
150. SANTOS, M. S., MEYDANI, S. N., LEKA, L., WU, D., FOTOUHI, N., MEYDANI, M., HENNEKENS, C.H., GAZIANO, J.M. (1996): Natural killer cell activity in elderly men is enhanced by ß-carotene supplementation. American Journal of Clinical Nutrition 64. 772-777.
151. SCHAEFFER, J. L., TYCZKOWSKI, J. K., PARKHURST, C. R., HAMILTON, P. B. (1988): Carotenoid composition of serum and egg yolks of hens fed diets varying in carotenoid composition. Poultry Science 67(4): 608-614. p.
152. SCHWEIGERT, F. J. (1998): Metabolism of carotenoids in mammals. In: Britton, G., Liaaen-Jensen, S. and Pfander, H. (eds) Carotenoids. Birkhauser Verlag, Basel, Boston, Berlin. 249-284. p.
153. SHIEDT, K., LEUENBERGER, F. J., VECCHI, M., GLINZ, E. (1985): Absorption, retention and metabolic transformation of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. Pure and Applied Chemistry 57. (5) 685-692. p.
154. SINKOVITSNÉ, H. I. (1968): A Galliformes rendbe tartozó néhány madárfaj, fajta, illetve hibrid gáz-anyagcseréje és redoxpotenciál értékei az embrionális életszakaszokban. Doktori értekezés, Gödöllő.

155. SNODDERLY, D. M. (1995): Evidence for protection against age-related macular degeneration by carotenoids and antioxidant vitamins. American Journal of Clinical Nutrition 62: 1448–1461. p.
156. SÓS, I., SZELÉNYI, I. (1974): Diets for animal experiments. Akadémia Kiadó, Budapest 119-123. p.
157. SPEAKE, B. K., MURRAY, A. M. B., NOBLE, R. C. (1998): Transport and transformations of yolk lipids during development of the avian embryo. Progress in Lipid Research Volume 37, Issue 1, 1-32. p.
158. STAHL, W., SIES, H. (1992): Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. The Journal of Nutrition 122: 2161-2166. p.
159. STAHL, W., SIES, H. (1996): Perspectives in biochemistry and biophysics. Lycopene: A biologically important carotenoid for humans? Archives of Biochemistry and Biophysics 336(1): 1–9. p.
160. STAHL, W., SIES, H. (1998): The role of carotenoids and retinoids in gap junctional communication. International Journal for Vitamin and Nutrition Research 68. 354-359. p.
161. STEINMETZ, K. A., POTTER, J. D. (1996): Vegetables, fruit, and cancer prevention: A review. Journal of the American Dietetic Association 96: 1027–1039. p.
162. STEPHANY, D., WOLLIN-PETER, J. H., JONES, K. (2003): Alphalipoic acid and cardiovascular disease. Journal of Nutrition 133. 3327. p.
163. STRAND, A., HERSTAD, O., LIANEN, J. S. (1998): Fucoxantin metabolites in egg yolks of laying hens. Comparative Biochemistry and Physiology (A) 119. 963-974. p.
164. SUAREZ, D. (1969): Incorporation of lycopene in egg yolk. Poulty Science 48: 733-735.
165. SUN, J., GIRAUD, D. W., MOXLEY, R. A., DRISKELL, J. A. (1997): ß-Carotene and α-tocopherol inhibit the development of atherosclerotic lesions in hypercholesterolemic rabbits. International Journal for Vitamin and Nutrition Research 67. 155-163.
166. SURAI, P. F., NOBLE, R. C., SPEAKE, B. K. (1996): Tissue-specific differences in antioxidant distribution and susceptibility to lipid peroxidation during development of the chick embryo. Biochimica et Biophysica Acta 1304(1):1-10. p.
167. SURAI, P. F., SPEAKE, B. K., WOOD, N. A. R., BLOUNT, J. D., BORTOLOTTI, G. R., SPARKS, N. H. C. (2001): Carotenoid discrimination by the avian embryo: a lesson from wild birds. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, 743-750. p.

168. SURAI, P. F., SPARKS, N. H. C. (2001): Comparative evaluation of the effect of two maternal diets on fatty acids, vitamin E and carotenoids in the chick embryo. British Poultry Science 42: 252-259.
169. SZABÓ, CS., KERTI, A., BÁRDOS, L. (2007a): A tojássárgája színének objektív értékelése CIELab módszerrel. Baromfiágazat 7. 44-46. p.
170. SZABÓ, CS., KERTI, A., KISS, ZS., BÁRDOS L. (2007b): Különböző mértékű likopin-kiegészítés hatása az immunválasz kialakítására. Magyar Táplálkozástudományi Társaság XXXII. Vándorgyűlése, 2007. október 18-20. Kecskemét.
171. SZALAI, I. (1974): Növényélettan I-II. Tankönyvkiadó Budapest. 392-290. p.
172. TAJIMA, S., GODA, T., TAKASE S. (2001): Co-ordinated induction of β-carotene cleavage enzyme and retinal reductase in the duodenum of the developing chicks. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, Volume 128, Issue 3, 425-434. p.
173. TAKASE, S., SURUGA, K., SUZUKI, R., GODA T. (1995): Relationship between perinatal appearance of cellular retinol-binding protein, type II and retinal reductase activity in chick liver. Life Sciences Volume 58, Issue 2, 135-144. p.
174. THOMPSON, M. B., SPEAKE B. K. (2002): Energy and nutrient utilisation by embryonic reptiles. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular and Integrative Physiology, Volume 133, Issue 3, 529-538. p.
175. THOMSON, L. R., TOYODA, Y., LANGNER, A., DELORI, F. C., GARNETT, K. M., CRAFT, N., NICHOLS, C. R., CHENG, K. M., DOREY, C. K. (2002): Elevated retinal zeaxanthin and prevention of light-induced photoreceptor cell death in quail. Investigative Ophthalmology and Visual Science 43. 3538-3549.
176. TOYODA, Y., THOMSON, L. R. (2002): Effect of dietary zeaxantin on tissue distribution of zeaxantin and lutein in quail. Investigative Ophthalmology and Visual Science 43 (4): 1210-1221. p.
177. TYCZKOWSKI, J. K., HAMILTON, P. B. (1986): Evidence for differential absorption of zeacarotene, cryptoxanthin, and lutein in young broiler chickens. Poultry Science 65: 1137–1140. p.
178. VAN GOLDE, J. C., BORM, P. J., WOLFS, M. C., RHIJNSBURGER, E. H. AND BLANCO, C. E. (1998): Induction of antioxidant enzyme activity by hyperoxia (60% O2) in the developing chick embryo. The Journal of Physiology 509: 289-296. p.
179. WALD, G. (1968): The molecular basis of visual excitation. Nature 291: 800-807.

180. WALZEM, R. L., HANSEN, R. J., WILLIAMS, D. L., HAMILTON, R. L. (1999): Estrogen induction of VLDLy assembly in egg-laying hens. Journal of Nutrition 129. 467-472. p.
181. WEST, C. E., CASTENMILLER, J. J. J. M. (1998): Quantification of the SLAMENGHI factors for carotenoids bioavailability and bioconversion. International Journal for Vitamin and Nutrition Research 68. 371-377. p.
182. WHITE, W. S., STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M., ERDMAN, J. W. JR., BOWEN, P. E. (1994): Pharmacokinetics of ß-carotene and canthaxanthin after ingestion of individual and combined doses by human subjects. Journal of the American College of Nutrition 13: 665-67l. p.
183. WHITEHEAD, C. C., PORTSMOUTH, J. I. (1989): Vitamin requirements and allowances for poultry. In: HARESING, W., COLE, D. J. A. (eds): Recent Advances in Animal Nutrition. Butterworths, London. 35-86. p.
184. WILLIAMS, W. P., DAVIES, R. E., COUCH, J. R. (1963): The utilization of carotenoids by the hen and chick. Poultry Science 24. 691–699. p.
185. YEUM, K. J., BOOTH, S. L., SADOWSKI, J. A., LIU, C., TANG, G., KRINSKY, N. I., RUSSELL, R. M. (1996): Human plasma carotenoid response to the ingestion of controlled diets high in fruits and vegetables. American Journal of Clinical Nutrition 64. 594-602. p.
186. YOUPING, G., ROOT, M. M., PARKER, R. S., CAMBELL, T. C. (1997): Effects of carotenoid-rich food extracts on the development of preneoplastic lesions in rat liver and in in vivo and in vitro antioxidant status. Nutrition and Cancer 27. 238-244.
187. ZECHMEISTER (1941): IN N. GÁSPÁR, ZS.: Biokémia, Mezőgazdasági Kiadó, 1965., 285. p.
188. ZIEGLER, R. G. (1991): Vegetables, fruits, and carotenoids and the risk of cancer. American Journal of Clinical Nufrition 53, 251-259.

**Hivatkozott internetes irodalom és adatbázis jegyzék:**

189. http://www.carotenoidsociety.org *Megtekintve 2010. szeptember 20-án.*
190. GRAPHPAD SOFTWARE: http://www.graphpad.com *Megtekintve 2010. október 28-án.*
191. http://www.dsm.com/en_US/downloads/dnpsa/Colour_Fan.pdf *Megtekintve 2010. március 14-én.*

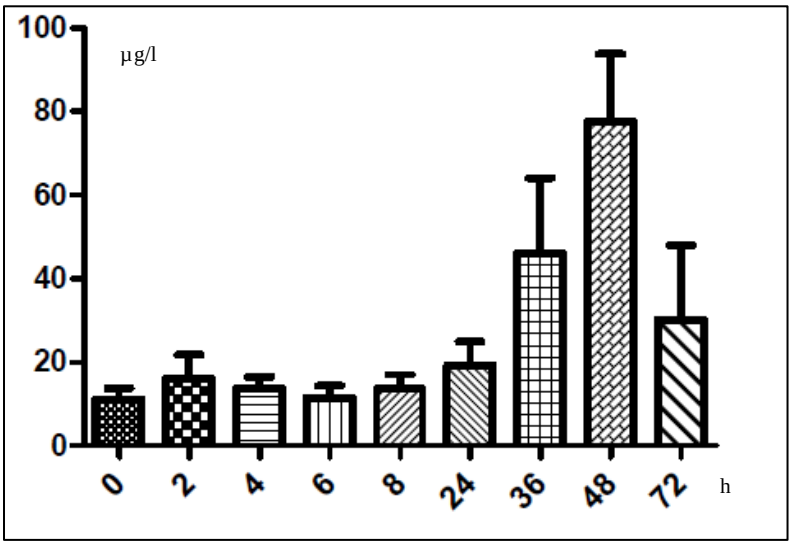
## M2. Statisztikai elemzések

ANOVA teszt (Tukey) Prism 5 for Windows program p<0,05, (Graphpad software);

Jelölések: nem szignifikáns = P>0,05; * = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001

*11. táblázat. A lutein és zeaxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szérum)*

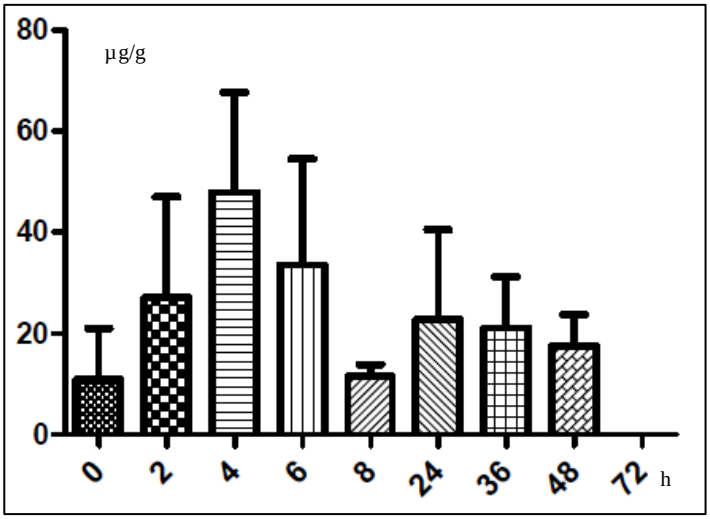
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 2ó | -4.809 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 4ó | -2.660 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 6ó | -0.2223 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 8ó | -2.474 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -8.014 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 36ó** | -34.77 | van | *** |
| **0ó vs 48ó** | -66.27 | van | *** |
| 0ó vs 72ó | -18.97 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 4ó | 2.150 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 6ó | 4.587 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 8ó | 2.335 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 24ó | -3.205 | nincs | nem szignifikáns |
| **2ó vs 36ó** | -29.96 | van | *** |
| **2ó vs 48ó** | -61.46 | van | *** |
| 2ó vs 72ó | -14.16 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 6ó | 2.437 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 8ó | 0.1851 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 24ó | -5.354 | nincs | nem szignifikáns |
| **4ó vs 36ó** | -32.11 | van | *** |
| **4ó vs 48ó** | -63.61 | van | *** |
| 4ó vs 72ó | -16.31 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 8ó | -2.252 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | -7.792 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 36ó** | -34.55 | van | *** |
| **6ó vs 48ó** | -66.05 | van | *** |
| 6ó vs 72ó | -18.75 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 24ó | -5.539 | nincs | nem szignifikáns |
| **8ó vs 36ó** | -32.29 | van | *** |
| **8ó vs 48ó** | -63.79 | van | *** |
| 8ó vs 72ó | -16.49 | nincs | nem szignifikáns |
| **24ó vs 36ó** | -26.75 | van | ** |
| **24ó vs 48ó** | -58.25 | van | *** |
| 24ó vs 72ó | -10.95 | nincs | nem szignifikáns |
| **36ó vs 48ó** | -31.50 | van | * |
| 36ó vs 72ó | 15.80 | nincs | nem szignifikáns |
| **48ó vs 72ó** | 47.30 | van | *** |




*29. ábra. A lutein és zeaxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szérum)*

*12. táblázat. A lutein és zeaxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szik)*

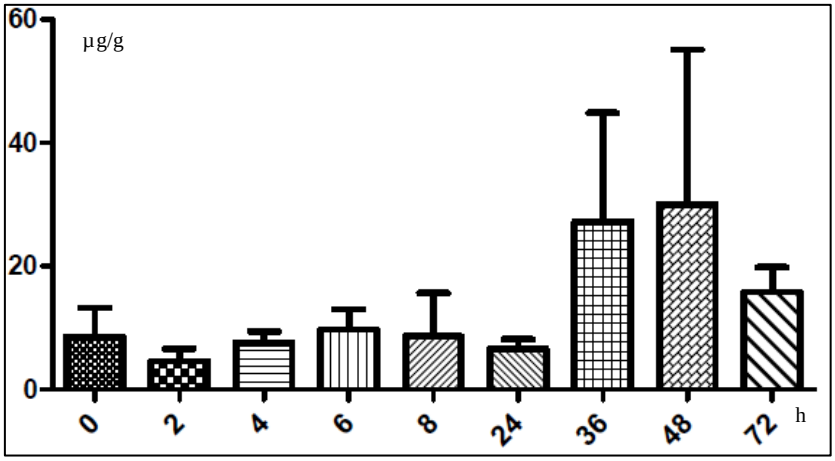
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 2ó | -16.14 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 4ó** | -36.99 | van | ** |
| 0ó vs 6ó | -22.64 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 8ó | -0.6233 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -11.85 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -10.18 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -6.627 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 72ó | 10.93 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 4ó | -20.85 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 6ó | -6.494 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 8ó | 15.52 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 24ó | 4.290 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 36ó | 5.960 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 48ó | 9.517 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 72ó | 27.07 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 6ó | 14.35 | nincs | nem szignifikáns |
| **4ó vs 8ó** | 36.37 | van | ** |
| 4ó vs 24ó | 25.14 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 36ó | 26.81 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 48ó | 30.37 | nincs | nem szignifikáns |
| **4ó vs 72ó** | 47.92 | van | *** |
| 6ó vs 8ó | 22.02 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 10.78 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 12.45 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 16.01 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 72ó** | 33.57 | van | * |
| 8ó vs 24ó | -11.23 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 36ó | -9.561 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 48ó | -6.004 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 72ó | 11.55 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 1.669 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 5.227 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 72ó | 22.78 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 3.557 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 72ó | 21.12 | nincs | nem szignifikáns |
| 48ó vs 72ó | 17.56 | nincs | nem szignifikáns |




*30. ábra. A lutein és zeaxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szik)*

13. *táblázat. A lutein és zeaxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (máj)*

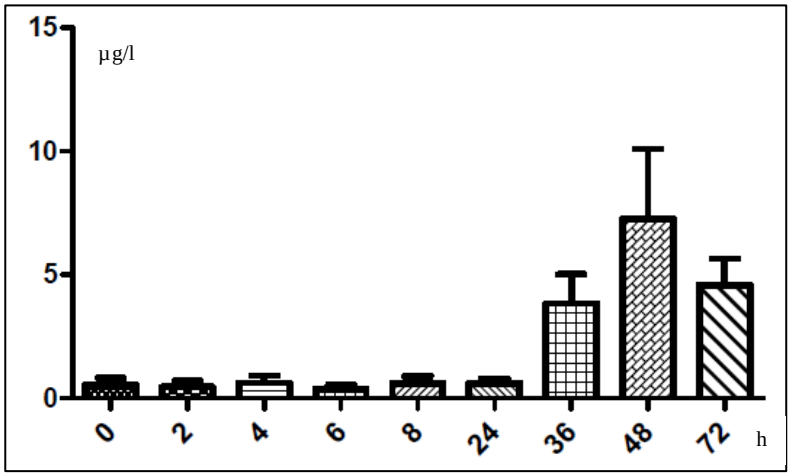
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 2ó | 3.963 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 4ó | 0.9866 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 6ó | -1.180 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 8ó | -0.05046 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | 1.935 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -18.62 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -21.42 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 72ó | -7.219 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 4ó | -2.977 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 6ó | -5.143 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 8ó | -4.014 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 24ó | -2.029 | nincs | nem szignifikáns |
| **2ó vs 36ó** | -22.58 | van | * |
| **2ó vs 48ó** | -25.38 | van | * |
| 2ó vs 72ó | -11.18 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 6ó | -2.167 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 8ó | -1.037 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 24ó | 0.9482 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 36ó | -19.61 | nincs | nem szignifikáns |
| **4ó vs 48ó** | -22.41 | van | * |
| 4ó vs 72ó | -8.206 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 8ó | 1.130 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 3.115 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | -17.44 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | -20.24 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 72ó | -6.039 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 24ó | 1.985 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 36ó | -18.57 | nincs | nem szignifikáns |
| **8ó vs 48ó** | -21.37 | van | * |
| 8ó vs 72ó | -7.169 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | -20.55 | nincs | nem szignifikáns |
| **24ó vs 48ó** | -23.35 | van | * |
| 24ó vs 72ó | -9.154 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -2.800 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 72ó | 11.40 | nincs | nem szignifikáns |
| 48ó vs 72ó | 14.20 | nincs | nem szignifikáns |




*31. ábra. A lutein és zeaxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (máj)*

*14. táblázat. A β-kriptoxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szérum)*

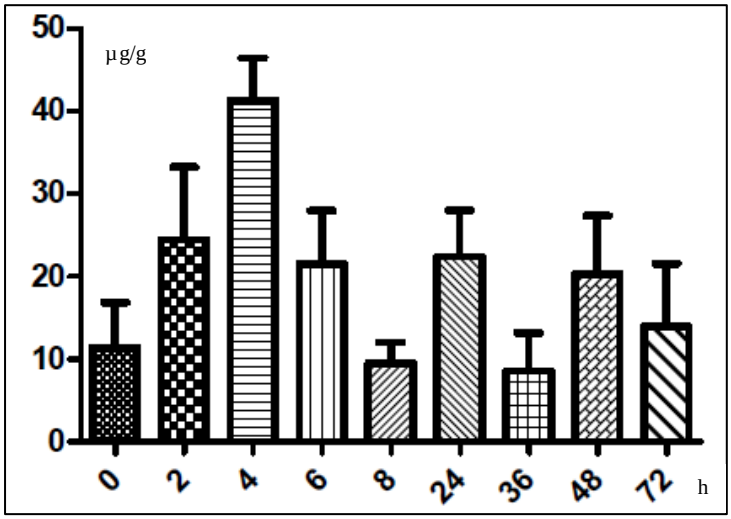
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 2ó | 0.07347 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 4ó | -0.09193 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 6ó | 0.1573 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 8ó | -0.07668 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -0.08278 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 36ó** | -3.313 | van | ** |
| **0ó vs 48ó** | -6.747 | van | *** |
| **0ó vs 72ó** | -4.047 | van | *** |
| 2ó vs 4ó | -0.1654 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 6ó | 0.08382 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 8ó | -0.1501 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 24ó | -0.1563 | nincs | nem szignifikáns |
| **2ó vs 36ó** | -3.387 | van | *** |
| **2ó vs 48ó** | -6.820 | van | *** |
| **2ó vs 72ó** | -4.120 | van | *** |
| 4ó vs 6ó | 0.2492 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 8ó | 0.01526 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 24ó | 0.009155 | nincs | nem szignifikáns |
| **4ó vs 36ó** | -3.221 | van | *** |
| **4ó vs 48ó** | -6.655 | van | *** |
| **4ó vs 72ó** | -3.955 | van | *** |
| 6ó vs 8ó | -0.2340 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | -0.2401 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 36ó** | -3.471 | van | *** |
| **6ó vs 48ó** | -6.904 | van | *** |
| **6ó vs 72ó** | -4.204 | van | *** |
| 8ó vs 24ó | -0.006103 | van | nem szignifikáns |
| **8ó vs 36ó** | -3.237 | van | *** |
| **8ó vs 48ó** | -6.670 | van | *** |
| **8ó vs 72ó** | -3.970 | van | *** |
| **24ó vs 36ó** | -3.230 | van | ** |
| **24ó vs 48ó** | -6.664 | van | *** |
| **24ó vs 72ó** | -3.964 | van | *** |
| **36ó vs 48ó** | -3.433 | van | *** |
| 36ó vs 72ó | -0.7333 | nincs | nem szignifikáns |
| **48ó vs 72ó** | 2.700 | van | ** |




*32. ábra. A β-kriptoxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szérum)*

*15. táblázat. A β-kriptoxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szik)*

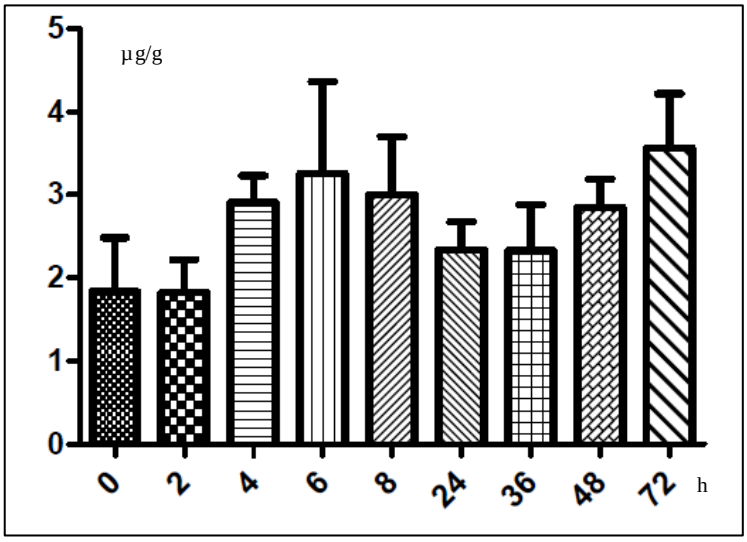
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 2ó | -13.02 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 4ó** | -29.90 | van | * |
| 0ó vs 6ó | -10.15 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 8ó | 1.961 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -11.01 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | 2.843 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -8.879 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 72ó | -2.551 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 4ó | -16.88 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 6ó | 2.869 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 8ó | 14.98 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 24ó | 2.010 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 36ó | 15.86 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 48ó | 4.141 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 72ó | 10.47 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 6ó | 19.75 | nincs | nem szignifikáns |
| **4ó vs 8ó** | 31.86 | van | * |
| 4ó vs 24ó | 18.89 | nincs | nem szignifikáns |
| **4ó vs 36ó** | 32.74 | van | * |
| 4ó vs 48ó | 21.02 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 72ó | 27.35 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 8ó | 12.11 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | -0.8587 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 1.273 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 72ó | 7.602 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 24ó | -12.97 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 36ó | 0.8817 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 48ó | -10.84 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 72ó | -4.512 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 13.85 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 2.132 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 72ó | 8.460 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -11.72 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 72ó | -5.394 | nincs | nem szignifikáns |
| 48ó vs 72ó | 6.329 | nincs | nem szignifikáns |




*33. ábra. A β-kriptoxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (szik)*

*16. táblázat. A β-kriptoxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (máj)*

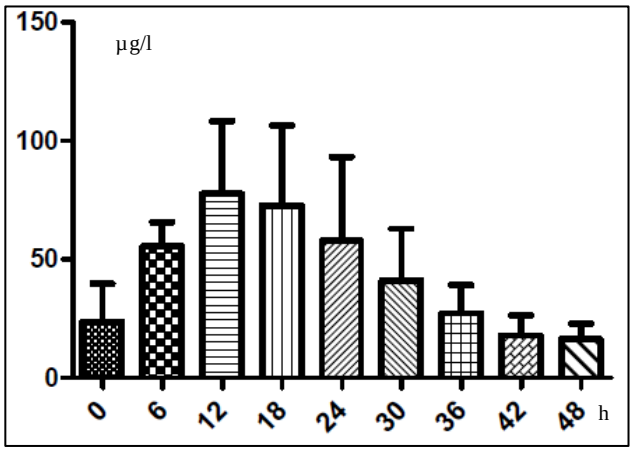
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 2ó | 0.01459 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 4ó | -1.069 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 6ó | -1.416 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 8ó | -1.166 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -0.5037 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -0.4935 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -1.014 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 72ó | -1.729 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 4ó | -1.084 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 6ó | -1.430 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 8ó | -1.181 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 24ó | -0.5183 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 36ó | -0.5081 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 48ó | -1.028 | nincs | nem szignifikáns |
| 2ó vs 72ó | -1.744 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 6ó | -0.3466 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 8ó | -0.09689 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 24ó | 0.5655 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 36ó | 0.5756 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 48ó | 0.05558 | nincs | nem szignifikáns |
| 4ó vs 72ó | -0.6598 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 8ó | 0.2497 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 0.9121 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 0.9223 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 0.4022 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 72ó | -0.3132 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 24ó | 0.6624 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 36ó | 0.6725 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 48ó | 0.1525 | nincs | nem szignifikáns |
| 8ó vs 72ó | -0.5629 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 0.01016 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | -0.5099 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 72ó | -1.225 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -0.5200 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 72ó | -1.235 | nincs | nem szignifikáns |
| 48ó vs 72ó | -0.7154 | nincs | nem szignifikáns |




*34. ábra. A β-kriptoxantin felszívódás (0-72ó) szignifikancia összefüggései (máj)*

*17. táblázat. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (lutein) esetében (plazma)*

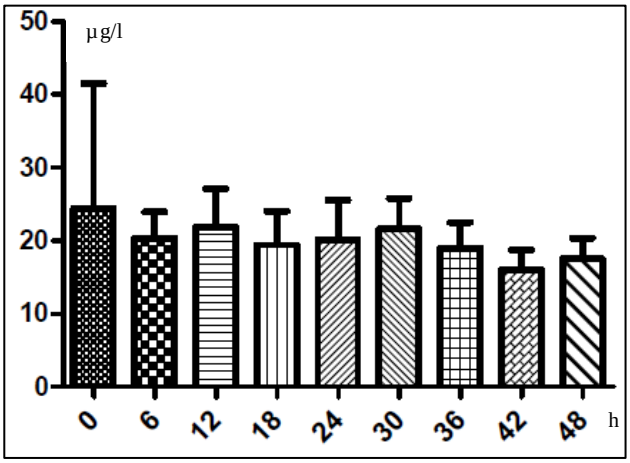
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | -26.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 12ó** | -40.00 | van | ** |
| **0ó vs 18ó** | -37.00 | van | * |
| 0ó vs 24ó | -26.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | 12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | -14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | -11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 0.0000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 22.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 42ó** | 36.00 | van | * |
| **6ó vs 48ó** | 38.00 | van | * |
| 12ó vs 18ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 25.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 36ó** | 36.00 | van | * |
| **12ó vs 42ó** | 50.00 | van | *** |
| **12ó vs 48ó** | 52.00 | van | *** |
| 18ó vs 24ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 22.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 33.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **18ó vs 42ó** | 47.00 | van | *** |
| **18ó vs 48ó** | 49.00 | van | *** |
| 24ó vs 30ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 22.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **24ó vs 42ó** | 36.00 | van | * |
| **24ó vs 48ó** | 38.00 | van | * |
| 30ó vs 36ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 25.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 27.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |




*35. ábra. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (lutein) esetében (plazma)*

*18. táblázat. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (β-karotin) esetében (plazma)*

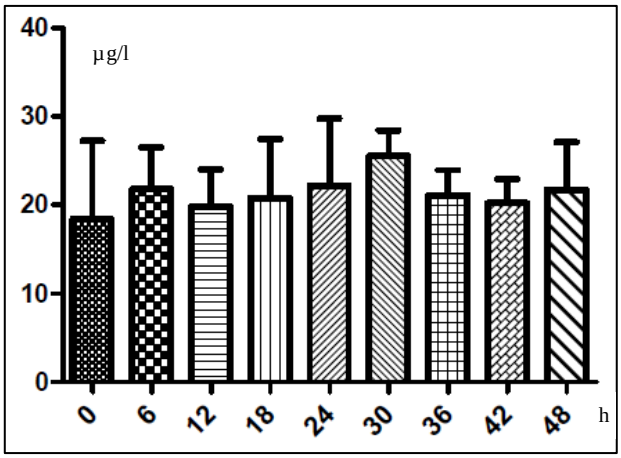
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | -9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 12ó | -20.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 18ó | -2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | 15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | 12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | -11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | -8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 24.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 21.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | 18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 24ó** | 15.00 | van | * |
| 12ó vs 30ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 19.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 35.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 32.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | -3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | -15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 20.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 32.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 29.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -3.000 | nincs | nem szignifikáns |




*36. ábra. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (β-karotin) esetében (plazma)*

*19. táblázat. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

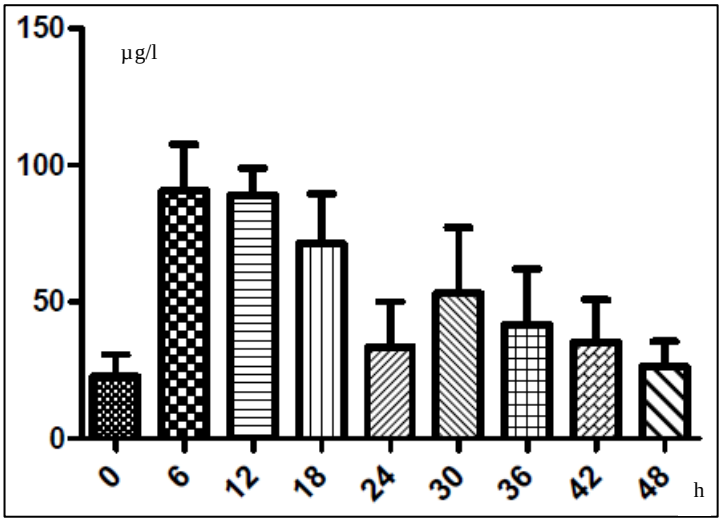
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | 23.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 12ó | -5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 18ó | -14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -21.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 30ó** | -37.50 | van | * |
| 0ó vs 36ó | -18.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -22.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | -14.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 4.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | -9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | -16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | -32.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | -13.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | -7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | -17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | -7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | -23.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | -4.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | -8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -16.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 2.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | -1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 19.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 25.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 15.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 6.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -3.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -10.00 | nincs | nem szignifikáns |




*37. ábra. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

*20. táblázat. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

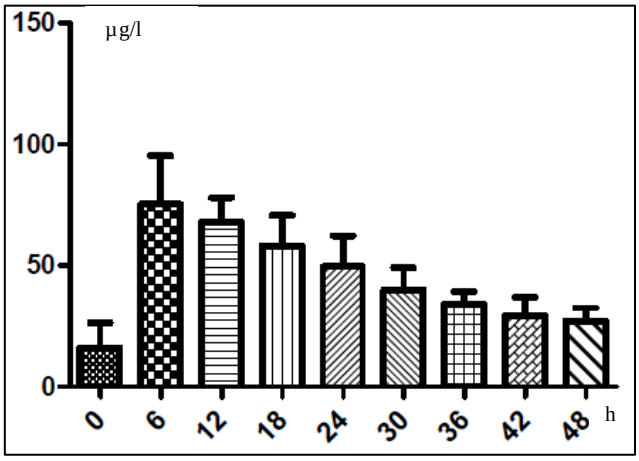
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | 23.00 | van | nem szignifikáns |
| **0ó vs 12ó** | -25.00 | van | * |
| 0ó vs 18ó | -20.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | -2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 48ó** | 25.00 | van | * |
| 12ó vs 18ó | 5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 20.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 20.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 48ó** | 27.00 | van | * |
| 18ó vs 24ó | 15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 22.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | -3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 0.0000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |




*38. ábra. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

*21. táblázat. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

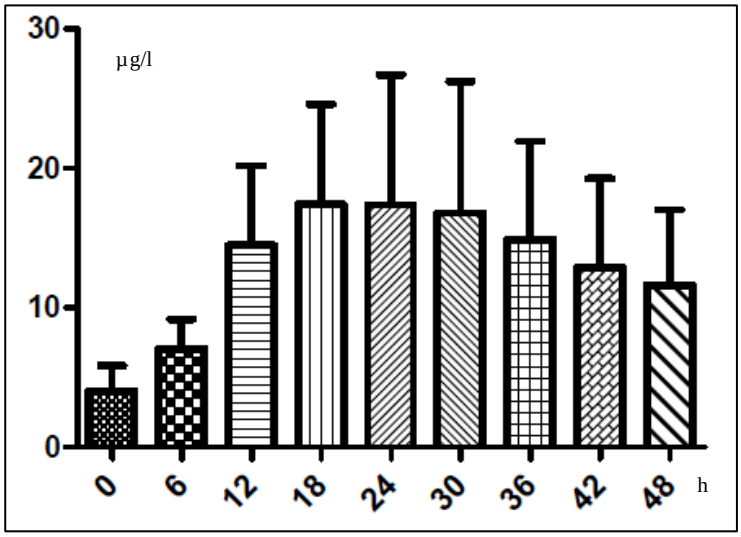
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | 25.00 | van | * |
| **0ó vs 12ó** | -26.00 | van | * |
| 0ó vs 18ó | -23.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | -1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 21.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 24.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 22.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 48ó** | 25.00 | van | * |
| 18ó vs 24ó | 5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 19.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 22.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | 6.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |




*39. táblázat. A lutein felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

*22. táblázat. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (lutein) esetében (plazma)*

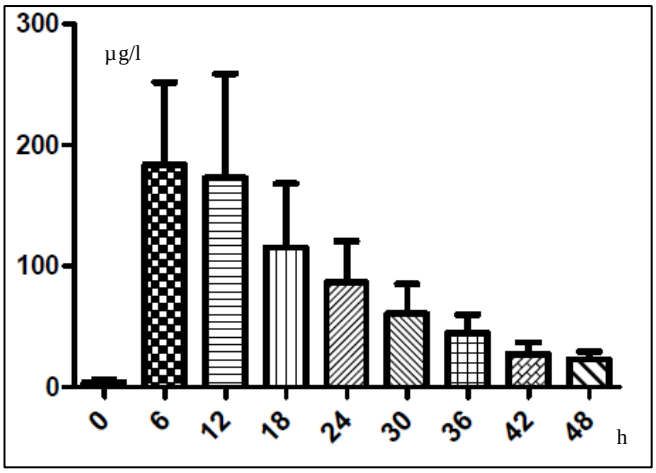
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | -13.50 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 12ó** | -37.00 | van | * |
| **0ó vs 18ó** | -53.00 | van | *** |
| **0ó vs 24ó** | -50.50 | van | *** |
| **0ó vs 30ó** | -44.00 | van | ** |
| **0ó vs 36ó** | -36.00 | van | * |
| 0ó vs 42ó | -27.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | -23.50 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 18ó** | -39.50 | van | * |
| **6ó vs 24ó** | -37.00 | van | * |
| 6ó vs 30ó | -30.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | -22.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | -13.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | -4.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | -16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | -13.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | -7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 19.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | 2.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 26.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 35.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | 6.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 14.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 23.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 32.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 26.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |




*40. ábra. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (lutein) esetében (plazma)*

*23. táblázat. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (β-karotin) esetében (plazma)*

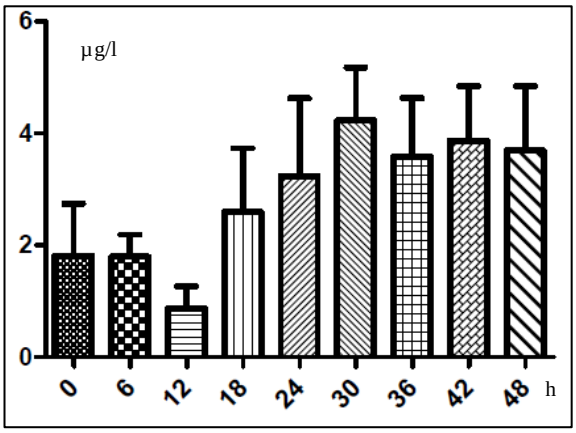
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | -179.5 | van | *** |
| **0ó vs 12ó** | -168.7 | van | *** |
| **0ó vs 18ó** | -111.2 | van | *** |
| **0ó vs 24ó** | -82.46 | van | * |
| 0ó vs 30ó | -56.65 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -40.55 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -23.59 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -19.01 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 10.76 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 68.23 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 24ó** | 97.02 | van | ** |
| **6ó vs 30ó** | 122.8 | van | *** |
| **6ó vs 36ó** | 138.9 | van | *** |
| **6ó vs 42ó** | 155.9 | van | *** |
| **6ó vs 48ó** | 160.5 | van | *** |
| 12ó vs 18ó | 57.46 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 24ó** | 86.26 | van | * |
| **12ó vs 30ó** | 112.1 | van | *** |
| **12ó vs 36ó** | 128.2 | van | *** |
| **12ó vs 42ó** | 145.1 | van | *** |
| **12ó vs 48ó** | 149.7 | van | *** |
| 18ó vs 24ó | 28.79 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 54.60 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 70.70 | nincs | nem szignifikáns |
| **18ó vs 42ó** | 87.66 | van | * |
| **18ó vs 48ó** | 92.24 | van | ** |
| 24ó vs 30ó | 25.80 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 41.90 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 58.87 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 63.45 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 16.10 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 33.06 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 37.65 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 16.96 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 21.55 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 4.587 | nincs | nem szignifikáns |




*41. ábra. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (β-karotin) esetében (plazma)*

*24. táblázat. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

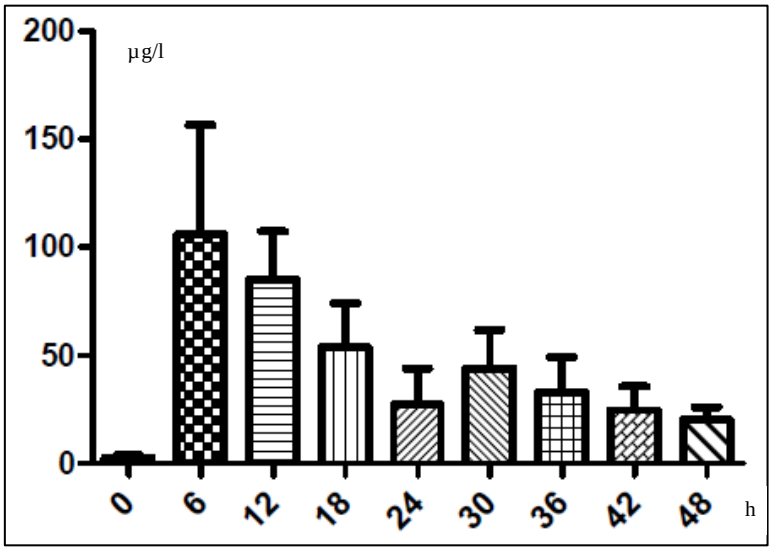
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | -1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 12ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 18ó | -14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -26.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 30ó** | -42.50 | van | ** |
| 0ó vs 36ó | -25.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -33.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -33.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 18ó** | -13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 24ó** | -25.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 30ó** | -41.50 | van | ** |
| 6ó vs 36ó | -24.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | -32.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | -32.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | -27.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 24ó** | -39.00 | van | * |
| **12ó vs 30ó** | -55.50 | van | *** |
| **12ó vs 36ó** | -38.00 | van | * |
| **12ó vs 42ó** | -46.50 | van | *** |
| **12ó vs 48ó** | -46.00 | van | *** |
| 18ó vs 24ó | -12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | -28.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | -11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | -19.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | -19.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -16.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | -7.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | -7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 17.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 9.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | -8.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 0.5000 | nincs | nem szignifikáns |




*42. ábra. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

*25. táblázat. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

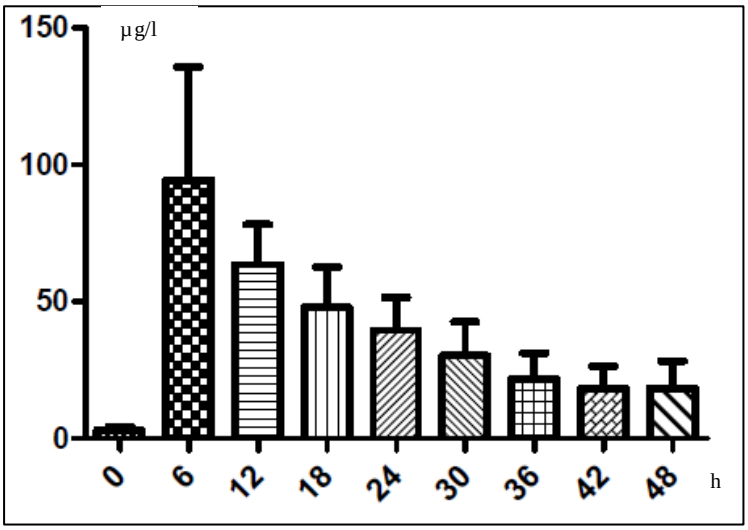
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | -103.0 | van | *** |
| **0ó vs 12ó** | -82.32 | van | *** |
| 0ó vs 18ó | -51.03 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -24.43 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -41.26 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 36ó** | -30.11 | van | ** |
| **0ó vs 42ó** | -22.03 | van | *** |
| **0ó vs 48ó** | -17.48 | van | *** |
| 6ó vs 12ó | 20.72 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 52.02 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 24ó** | 78.62 | van | *** |
| **6ó vs 30ó** | 61.78 | van | * |
| **6ó vs 36ó** | 72.93 | van | ** |
| **6ó vs 42ó** | 81.01 | van | *** |
| **6ó vs 48ó** | 85.57 | van | ** |
| 12ó vs 18ó | 31.30 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 24ó** | 57.90 | van | * |
| 12ó vs 30ó | 41.06 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 52.21 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 42ó** | 60.29 | van | * |
| **12ó vs 48ó** | 64.84 | van | ** |
| 18ó vs 24ó | 26.60 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 9.768 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 20.91 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 29.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 33.55 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -16.83 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | -5.688 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 2.396 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 6.948 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 11.15 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 19.23 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 23.78 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 8.083 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 12.64 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 4.552 | nincs | nem szignifikáns |




*43. ábra. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

*26. táblázat. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

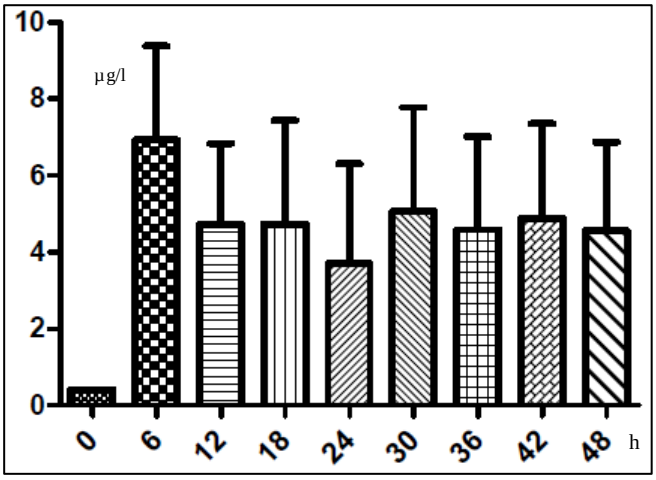
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | -91.35 | van | *** |
| **0ó vs 12ó** | -60.52 | van | ** |
| **0ó vs 18ó** | -44.88 | van | * |
| 0ó vs 24ó | -36.51 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -27.30 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -18.75 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -15.17 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -15.47 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 30.83 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 18ó** | 46.48 | nincs | * |
| **6ó vs 24ó** | 54.84 | van | ** |
| **6ó vs 30ó** | 64.05 | van | *** |
| **6ó vs 36ó** | 72.60 | van | *** |
| **6ó vs 42ó** | 76.19 | van | *** |
| **6ó vs 48ó** | 75.89 | van | *** |
| 12ó vs 18ó | 15.65 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 24.01 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 33.22 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 36ó** | 41.77 | van | * |
| **12ó vs 42ó** | 45.35 | van | * |
| **12ó vs 48ó** | 45.05 | van | * |
| 18ó vs 24ó | 8.365 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 17.57 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 26.13 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 29.71 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 29.41 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | 9.208 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 17.76 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 21.34 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 21.04 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 8.552 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 12.14 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 11.83 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 3.583 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 3.281 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -0.3018 | nincs | nem szignifikáns |




*44. ábra. A β-karotin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

*27. táblázat. A likopin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

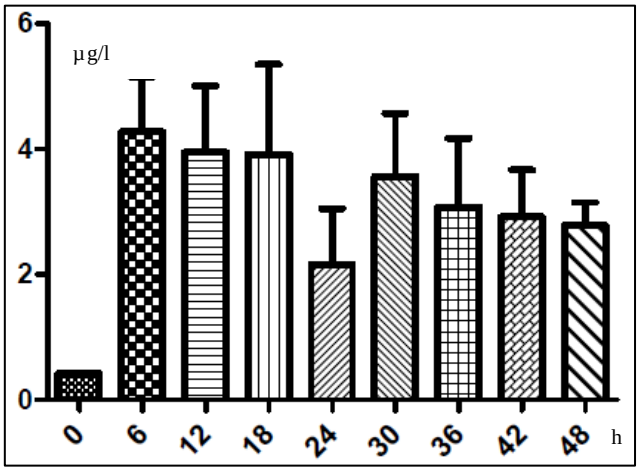
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | -42.50 | van | ** |
| 0ó vs 12ó | -34.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 18ó | -34.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 30ó** | -36.00 | van | * |
| 0ó vs 36ó | -28.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -33.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -31.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 8.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 8.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 24.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 6.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 14.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 9.500 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 11.50 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | 0.0000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | -2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 6.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | 16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | -2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 6.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | -10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | -15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | -13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | -5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |




*45. ábra. A likopin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

*28. táblázat. A likopin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

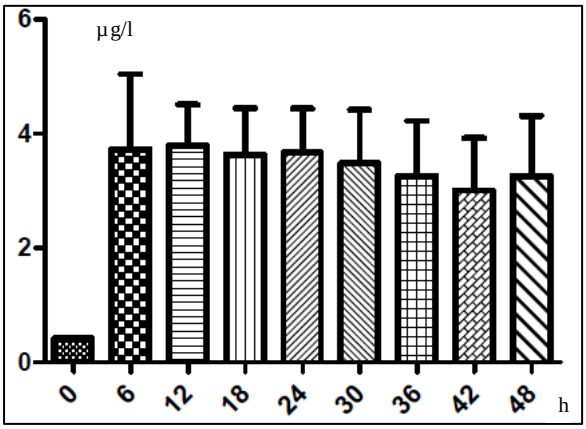
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | -27.00 | van | * |
| **0ó vs 12ó** | -25.00 | van | * |
| 0ó vs 18ó | -23.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -21.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 18.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 6.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 16.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | 14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -12.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | -3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | -4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | -5.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | -1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -1.000 | nincs | nem szignifikáns |




*46. ábra. A likopin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

*29. táblázat. A likopin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

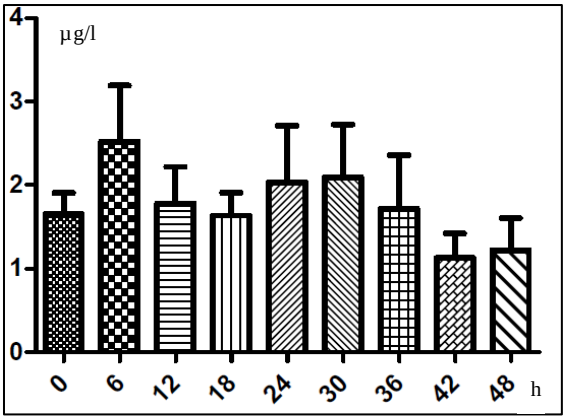
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | 23.00 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 12ó** | -25.00 | van | * |
| 0ó vs 18ó | -21.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -21.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -14.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | -2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 6.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 15.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 8.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 10.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 17.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 11.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | 0.0000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 6.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | 4.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 6.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 13.00 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 2.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 9.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 3.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 7.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 1.000 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -6.000 | nincs | nem szignifikáns |




*47. ábra. . A likopin felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

*30. táblázat. A retinil-palmitát felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (lutein) esetében (plazma)*

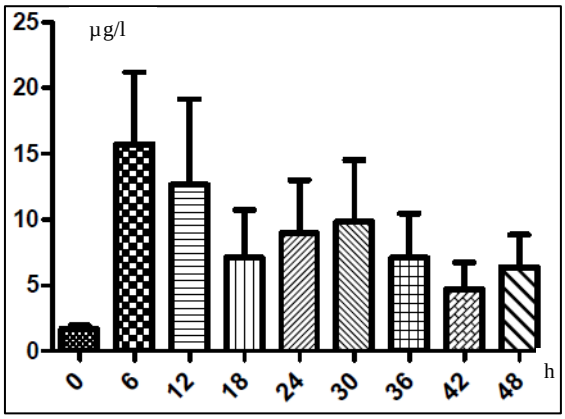
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | -0.8685 | van | * |
| 0ó vs 12ó | -0.1256 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 18ó | 0.01600 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | -0.3853 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -0.4394 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | -0.06825 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | 0.5216 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | 0.4307 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 0.7429 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 18ó** | 0.8845 | van | * |
| 6ó vs 24ó | 0.4832 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 0.4291 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 0.8002 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 42ó** | 1.390 | van | *** |
| **6ó vs 48ó** | 1.299 | van | *** |
| 12ó vs 18ó | 0.1416 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | -0.2596 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | -0.3137 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 0.05737 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 0.6472 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 0.5564 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | -0.4013 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | -0.4554 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | -0.08425 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 0.5056 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 0.4148 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -0.05412 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 0.3170 | nincs | nem szignifikáns |
| **24ó vs 42ó** | 0.9069 | van | * |
| **24ó vs 48ó** | 0.8160 | van | * |
| 30ó vs 36ó | 0.3711 | nincs | nem szignifikáns |
| **30ó vs 42ó** | 0.9610 | van | ** |
| **30ó vs 48ó** | 0.8701 | van | * |
| 36ó vs 42ó | 0.5899 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 0.4990 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -0.09088 | nincs | nem szignifikáns |




*48. ábra. A retinil-palmitát felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (lutein) esetében (plazma)*

*31. táblázat. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (β-karotin) esetében (plazma)*

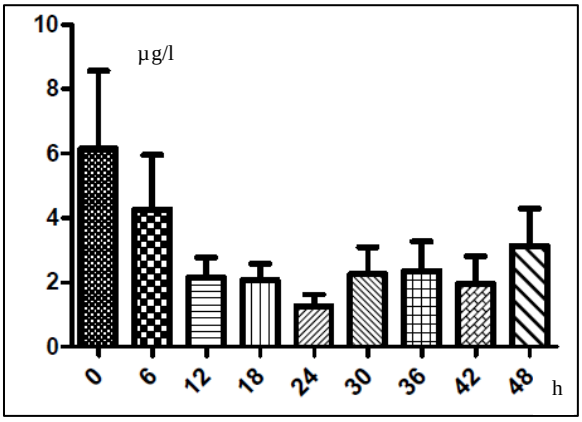
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| **0ó vs 6ó** | -14.07 | van | *** |
| **0ó vs 12ó** | -10.98 | van | *** |
| 0ó vs 18ó | -5.438 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 24ó** | -7.301 | van | * |
| **0ó vs 30ó** | -8.178 | van | * |
| 0ó vs 36ó | -5.431 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -3.019 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | -4.717 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 3.088 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 18ó** | 8.634 | van | ** |
| 6ó vs 24ó | 6.770 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 30ó | 5.894 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 36ó** | 8.641 | van | ** |
| **6ó vs 42ó** | 11.05 | van | *** |
| **6ó vs 48ó** | 9.355 | van | ** |
| 12ó vs 18ó | 5.546 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 3.683 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 2.806 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 5.553 | nincs | nem szignifikáns |
| **12ó vs 42ó** | 7.965 | van | * |
| 12ó vs 48ó | 6.267 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | -1.863 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | -2.740 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 0.006999 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 2.419 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 0.7211 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -0.8766 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 1.870 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 4.282 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 2.584 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 2.747 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 5.159 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 3.461 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 2.412 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 0.7141 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -1.698 | nincs | nem szignifikáns |




*49. ábra. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (β-karotin) esetében (plazma)*

*32. táblázat. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

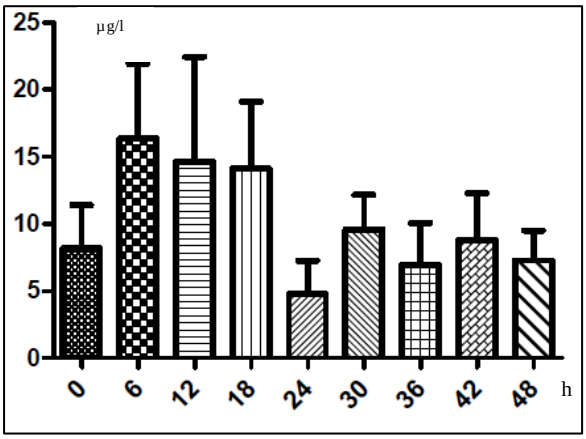
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | 1.879 | nincs | nem szignifikáns |
| **0ó vs 12ó** | 4.002 | van | *** |
| **0ó vs 18ó** | 4.079 | van | *** |
| **0ó vs 24ó** | 4.882 | van | *** |
| **0ó vs 30ó** | 3.892 | van | *** |
| **0ó vs 36ó** | 3.787 | van | *** |
| **0ó vs 42ó** | 4.193 | van | *** |
| **0ó vs 48ó** | 3.012 | van | *** |
| **6ó vs 12ó** | 2.124 | van | * |
| **6ó vs 18ó** | 2.201 | van | * |
| **6ó vs 24ó** | 3.004 | van | *** |
| **6ó vs 30ó** | 2.013 | van | * |
| 6ó vs 36ó | 1.908 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 42ó** | 2.315 | van | ** |
| 6ó vs 48ó | 1.133 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | 0.07713 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 0.8801 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | -0.1106 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | -0.2155 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 0.1911 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | -0.9907 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | 0.8030 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | -0.1877 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | -0.2926 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 0.1140 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | -1.068 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -0.9907 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | -1.096 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | -0.6890 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | -1.871 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | -0.1049 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 0.3017 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | -0.8801 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 0.4066 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -0.7753 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | -1.182 | nincs | nem szignifikáns |




*50. ábra. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései egyedi karotinoid (likopin) esetében (plazma)*

*33. táblázat. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

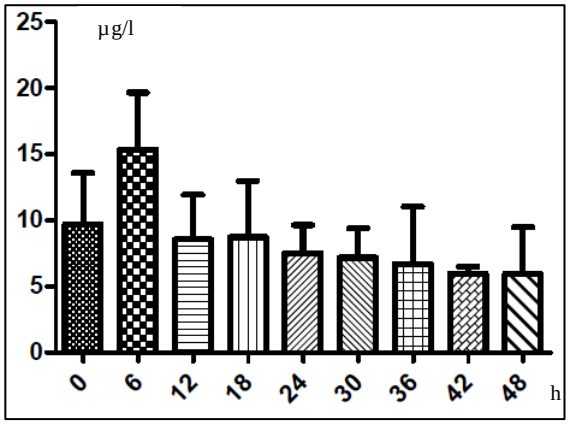
| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | -8.178 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 12ó | -6.431 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 18ó | -5.939 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | 3.415 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | -1.397 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | 1.240 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | -0.6305 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | 0.9020 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 1.747 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 2.239 | nincs | nem szignifikáns |
| **6ó vs 24ó** | 11.59 | van | * |
| 6ó vs 30ó | 6.781 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 36ó | 9.418 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 42ó | 7.548 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 48ó | 9.080 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 18ó | 0.4917 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 9.846 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 5.034 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 7.671 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 5.801 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 7.333 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | 9.354 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 4.542 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 7.179 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 5.309 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 6.841 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | -4.812 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | -2.175 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | -4.046 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | -2.513 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 2.637 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 0.7668 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 2.299 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | -1.871 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | -0.3380 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 1.533 | nincs | nem szignifikáns |




*51. ábra. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (20ppm) esetében (plazma)*

*34. táblázat. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

| Tukey többtényezős összehasonlító teszt | Különbség | Szignifikancia | Eredmény |
|---|---|---|---|
| 0ó vs 6ó | -5.639 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 12ó | 1.158 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 18ó | 0.9725 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 24ó | 2.165 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 30ó | 2.525 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 36ó | 2.994 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 42ó | 3.723 | nincs | nem szignifikáns |
| 0ó vs 48ó | 3.767 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 12ó | 6.797 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 18ó | 6.612 | nincs | nem szignifikáns |
| 6ó vs 24ó | 7.804 | van | * |
| **6ó vs 30ó** | 8.164 | van | * |
| **6ó vs 36ó** | 8.633 | van | * |
| **6ó vs 42ó** | 9.362 | van | * |
| **6ó vs 48ó** | 9.406 | van | * |
| 12ó vs 18ó | -0.1855 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 24ó | 1.007 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 30ó | 1.367 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 36ó | 1.836 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 42ó | 2.565 | nincs | nem szignifikáns |
| 12ó vs 48ó | 2.609 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 24ó | 1.192 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 30ó | 1.552 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 36ó | 2.022 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 42ó | 2.750 | nincs | nem szignifikáns |
| 18ó vs 48ó | 2.795 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 30ó | 0.3600 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 36ó | 0.8295 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 42ó | 1.558 | nincs | nem szignifikáns |
| 24ó vs 48ó | 1.603 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 36ó | 0.4695 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 42ó | 1.198 | nincs | nem szignifikáns |
| 30ó vs 48ó | 1.243 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 42ó | 0.7288 | nincs | nem szignifikáns |
| 36ó vs 48ó | 0.7730 | nincs | nem szignifikáns |
| 42ó vs 48ó | 0.04425 | nincs | nem szignifikáns |




*52. ábra. A retinil-palmität felszívódás (0-48ó) szignifikancia összefüggései kombinált karotinoid (60ppm) esetében (plazma)*

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton fejezem ki köszönetemet és hálámat mindenkinek, aki bármilyen formában hozzájárult a kutatómunka megvalósulásához és a dolgozat elkészítéséhez.

Köszönöm témavezetőmnek **Dr. Bárdos Lászlónak** a munkám során tanúsított komoly szakmai segítséget.

Köszönöm **Dr. Kerti Annamáriának**, aki az elválasztástechnika elsajátításában és a mérések kivitelezésében nélkülözhetetlen segítséget nyújtott.

Köszönetemet fejezem ki ezúton is az **Állatélettani és Állat- Egészségtani Tanszék** jelenlegi és korábbi **dolgozóinak.**

Köszönöm **Dr. Kiss Zsuzsannának,** akinek támogatása hozzájárult a doktori képzés elvégzéséhez

Hálával tartozom **Kulik Zoltánnak** és **Dr. Koppány Györgynek**, akik munkahelyemen ösztönöztek a dolgozat elkészítésére.

Külön köszönettel tartozom **szüleimnek és családomnak**, akik végig mellettem álltak és nyugodt hátteret teremtettek.