

## MODULACIJA HRANIDBENIH TRETMANA PRI OBOGAĆIVANJU KONZUMNIH JAJA S N-3 POLINEZASIĆENIM MASNIM KISELINAMA

## MODULATION OF NUTRITIONAL TREATMENTS IN ENRICHMENT OF TABLE EGGS WITH N-3 POLYUNSATURATED FATTY ACIDS

Gordana Kralik, Zlata Kralik, Manuela Košević, Kristina Gvozdanović, I. Kralik

Pregledni znanstveni članak - Review scientific paper  
Primljeno - Received: 08. rujan - September 2022

### SAŽETAK

Esencijalne masne kiseline EPA i DHA imaju posebnu ulogu u fiziološkim procesima i preveniraju kardiovaskularnih bolesti kod ljudi i zato je obogaćivanje jaja s n-3 PUFA predmet brojnih istraživanja. Jaja se mogu obogatiti s n-3 PUFA ako se nesilice hrane smjesama koje sadrže biljna ulja, posebice laneno i repičino te riblje ulje i mikroalge *Schizochytrium limacinum*. Rezultati naših istraživanja pokazuju najbolju učinkovitost deponiranja ALA, EPA i DHA te  $\Sigma$ n-3 PUFA u lipide žumanjaka ako hrana nesilica sadrži kombinaciju ribljeg (1,5 %) i lanenog (3,5 %), odnosno 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % biljnih ulja. Zamjena ribljeg ulja (1,5 %) s mikroalgama *Schizochytrium limacinum* (1,5 %) pokazala se također efikasnom u obogaćivanju jaja s n-3 PUFA. Rezultati naših istraživanja kao i drugih autora pokazuju najbolju učinkovitost deponiranja  $\Sigma$ n-3 PUFA u jaja upotrebom lanenog i ribljeg ulja u hranidbi nesilica. Modulacijom hranidbenih tretmana postignuto je obogaćivanje jaja s n-3 PUFA u većem broju istraživanja, do koncentracije na temelju koje se jaja mogu smatrati funkcionalnim proizvodom.

Pri tome je smanjen omjer  $\Sigma$ n-6/ $\Sigma$ n-3 PUFA do poželjnih 4-5:1 vrijednosti.

Ključne riječi: jaja, n-3 PUFA, hranidbeni tretmani, modulacija

### UVOD

Jaja su kompletna namirnica, izbalansiranog esencijalnog nutritivnog sastava, pogodna za prehranu svih kategorija ljudi. Značajan su izvor bjelančevina, sadrže 9 esencijalnih aminokiselina: histidin, izoleucin, leucin, lizin, metionin, fenilalanin, treonin, triptofan i valin. Kvaliteta bjelančevina jaja je visoka i standard je za komparaciju bjelančevina iz drugih namirnica (Sparks, 2006.). Aminokiseline su od vi-

talnog značaja za produkciju enzima, nekih hormona, DNA komponenti i drugih funkcionalnih sastojaka neophodnih za rast, život stanica i regulaciju metaboličkih funkcija (Zaheer, 2015.). Polinezasićene masne kiseline alfa-linolenska (n-3) i linolna (n-6) esencijalne su za ljudsko zdravlje. Linolna masna kiselina se metabolira do arahidonske kiseline, a alfa-linolenska se metabolira do eikosapentaenske (EPA) i dokosaheksaenske (DHA).

Prof. dr. sc. Gordana Kralik, e-mail: gkralik@fazos.hr orcid.org/0000-0003-1603-3440, Znanstveni centar izvrsnosti za personaliziranu brigu o zdravlju, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Trg sv. Trojstva 3, 31000 Osijek, Hrvatska, Nutricin j.d.o.o., Đ. Đakovića 6, 31326 Darda, Hrvatska, Prof. dr. sc. Zlata Kralik, e-mail: zlata.kralik@fazos.hr, orcid.org/0000-0001-9056-9564, Doc. dr. sc. Manuela Košević, e-mail: manuela.kosevic@fazos.hr, orcid.org/0000-0002-5760-621X, doc. dr. sc. Kristina Gvozdanović, e-mail: kgvozdanovic@fazos.hr, orcid.org/0000-0002-1989-2630, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Hrvatska, Znanstveni centar izvrsnosti za personaliziranu brigu o zdravlju, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Trg sv. Trojstva 3, 31000 Osijek, Hrvatska, Prof. dr. sc. Igor Kralik, e-mail: igor.kralik@fazos.hr, orcid.org/0000-0001-8172-6070, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Hrvatska

Navedene dugolančane masne kiseline ulaze u sastav fosfolipida koji utječu na fleksibilnost staničnih membrana i snižavaju kolesterol u plazmi (Seus-Baum, 2011.). EPA i DHA smanjuju rizik od kardiovaskularnih bolesti, upale te pozitivno djeluju na održavanje mentalnog zdravlja (Fraeye i sur., 2012.). Jaja sadrže i vitamine topive u mastima: A, D, E i K kao i B vitamine topive u vodi: tiamin (B1), riboflavin (B2), holin (B4), pantotensku kiselinu (B5), piridoksin (B6), biotin (B7), folnu kiselinu (B9) i kobalamin (B12). Također sadrže i minerale: kalcij, željezo, magnezij, fosfor, selen, natrij i cink (Zaheer, 2015.). Jaja sadrže i antioksidanse koji neutraliziraju utjecaj slobodnih radikala. Selen umanjuje oksidativni stres, a karotenoidi (lutein i ksantin) su značajni u preveniranju katarakte kao i makularne degeneracije (Abdel-Aal i sur., 2013.). Vitamin E utječe na oksidaciju lipida i LDL kolesterola kao i rizik od bolesti srca (Wong, 2010.). Jaja se mogu smatrati funkcionalnim proizvodom ako su obogaćena nutracinima koji povoljno utječu na ljudsko zdravlje. Ljudskom organizmu potrebne su n-3 PUFA i n-6 PUFA. Odnos između n-6/n-3 PUFA prema preporukama zdravstvenih organizacija treba biti 4:1, do eventualno 10:1, ali u realnosti ovisno o načinu prehrane dostiže omjer 15:1 u SAD-u, odnosno 1:1 do 3:1 u Japanu. U Republici Hrvatskoj ranija istraživanja su pokazala vrlo široki omjer od 11,08 do 35,06 (Škrtić i sur., 2007.). Lešić i sur. (2015.) su istraživali profil masnih kiselina u jajima porijeklom od tri hrvatska proizvođača. Omjer n-6 PUFA/n-3 PUFA bio je izrazito nepovoljan: 48,30, 62,90 i 36,61:1.

Balans između n-6 i n-3 PUFA u jajima ovisi o njihovoj koncentraciji u hrani. U radu se prikazuju naša iskustva u obogaćivanju konzumnih jaja s n-3 PUFA. Naši rezultati kompariraju se s rezultatima istraživanja drugih autora koji su se bavili istom problematikom.

#### JAJA OBOGAĆENA S N-3 PUFA – FUNKCIONALNI PROIZVOD

Lipidi su značajne komponente hrane zbog energetske vrijednosti, sadržaja esencijalnih masnih kiselina kao i vitamina topivih u njima. Smjesa kojom se hrane brojleri utječe svojim sastavom na sadržaje zasićenih i nezasićenih masnih kiselina (SFA, MUFA, PUFA) u lipidima žumanjaka. Biljna ulja, posebice laneno i repičino, koriste se u cilju povećanja sadržaja alfa-linolenske kiseline (ALA) u jajima. Ri-

blja ulja i mikroalge efikasni su u obogaćivanju jaja s EPA i DHA (Kralik i sur., 2019., 2020., 2021.). Perad ima limitiranu sposobnost da konvertira ALA u dugolančane masne kiseline (Kralik i sur., 2012., Zotte i sur., 2015.). U praksi se koristi različita definicija funkcionalne hrane. Najčešće je u uporabi definicija koju su osmislili Europska komisija (FuFoSe; Functional Food Science in Europe) u koordinaciji s međunarodnim institutom ILSI (International Livescience Institute). Proizvod se smatra funkcionalnim ako uz osnovno nutritivno djelovanje posjeduje dodatne učinke na jednu ili više funkcija u ljudskom organizmu koji poboljšavaju opće stanje i/ili smanjuju rizike od razvoja bolesti. Funkcionalni proizvod ne može biti u obliku tableta ili kapsula nego u normalnom prirodnom obliku (Siró i sur., 2008.).

Prema EU direktivi (No.116/2010.) definirano je sljedeće. Hrana je izvor omega-3 masnih kiselina ako sadrži najmanje 0,3 g ALA na 100 kcal u 100 g proizvoda i/ili najmanje 40 mg EPA + DHA na 100 kcal u 100 g proizvoda. Hrana je visoki izvor omega-3 masnih kiselina ako sadrži najmanje 0,6 g ALA na 100 kcal i u 100 g proizvoda i/ili najmanje 80 mg EPA + DHA na 100 kcal u 100 g proizvoda. Da bi se jaja obogatila s n-3 PUFA u hrani nesilica se koriste smjese u koje se dodaju biljne i/ili animalne masti ili ulja.

#### MODULACIJA HRANIDBENIH TRETMANA – NAŠA ISKUSTVA

Cilj naših istraživanja (Stupin i sur., 2018., Kralik i sur., 2019., Kralik Z. i sur., 2020. Kralik i sur., 2020., a, b, Kralik i sur., 2021.) bio je prikazati i raspraviti o efikasnosti deponiranja ALA, EPA i DHA u žumanjke konzumnih jaja pri uporabi ribljeg i biljnog ulja kao i mikroalgi *Schizochytrium limacinum* u fini-šer smjesama. Nadalje, cilj je bio istražiti optimalne udjele navedenih krmiva pri obogaćivanju jaja s n-3 PUFA i postići optimalne omjere  $\sum n-6/\sum n-3$  PUFA u lipidima žumanjaka jaja.

Modulacijom je obuhvaćeno pet hranidbenih tretmana. Na tablici 1 prikazani su rezultati obogaćivanja konzumnih jaja s ALA, EPA, DHA i  $\sum n-3$  PUFA te omjer  $\sum n-6/\sum n-3$  PUFA.

U prvom hranidbenom tretmanu koji je uključivao šest skupina nesilica, u hrani je bilo upotrijebljeno laneno i repičino ulje u kombinaciji s ribljim uljem (C1, E1, E2; C2, E3, E4). Izvedena su dva pokusa s

TETRA SL nesilicama. Krmne smjese bile su izbalansirane na razini 17 % sir. proteina i 11,60 ME MJ/kg u oba pokusa. U prvom pokusu C1 skupina bila je kontrolna (5 % sojino ulje), E1 skupina nesilica hranjena je sa smjesom s 1,5 % lanenog ulja + 3,5 %

ribljeg ulja. U drugom pokusu C2 skupina bila je kontrolna (5 % sojino ulje), E3 skupina nesilica hranjena je smjesom s 1,5 % repičinog ulja + 3,5 % ribljeg ulja, a E4 skupina dobivala je u hrani 3,5 % repičinog i 1,5 % ribljeg ulja. Rezultati istraži-

**Tablica 1. Rezultati obogaćivanja konzumnih jaja s n-3 PUFA (mg/100g jaja) uporabom ribljeg, biljnih ulja i alge *Schizochytrium limacinum***

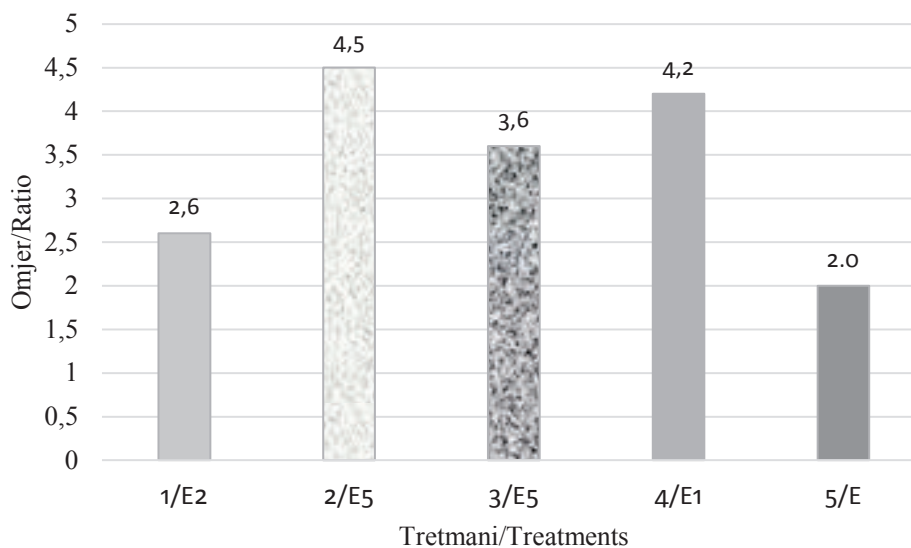
**Table 1 Results of enrichment of table eggs with n-3 PUFA (mg/100g eggs) using the fish oil, vegetable oils and algae *Schizochytrium limacinum***

Tretman / Skupina Treatment / Group	Dodatak % Supstitution %	ALA	EPA	DHA	Σn-3 PUFA	Σn-6 PUFA	Σn-6PUFA Σn-3 PUFA
1. TRETMAN / 6 skupina (Kralik i sur., 2020.) 1 TREATMENT / 6 Group							
C1	5 - SU	105,62	-	97,24	202,86	1961,65	9,67
E1	1,5 LA + 3,5 RI	272,45	22,63	250,65	545,73	1680,85	3,08
E2	3,5 LA + 1,5 RI	434,24	18,44	243,11	695,79	1788,18	2,57
C2	5 SU	98,08	-	105,63	203,71	2413,96	11,85
E3	1,5 RE + 3,5 RI	193,65	18,44	221,31	433,40	1841,19	4,25
E4	3,5 RE + 1,5 RI	101,43	8,38	186,94	296,76	2062,48	6,95
2. TRETMAN / 6 skupina (Kralik i sur., 2021.) 2 TREATMENT / 6 Group							
C	5 SU	99,15	-	105,44	204,59	1778,50	8,69
E1	0,3 RI + 4,7 SU	96,97	10,27	151,19	258,44	1877,64	7,33
E2	0,6 RI + 4,4 SU	87,51	11,17	173,44	272,12	1802,11	6,63
E3	0,9 RI + 4,1 SU	93,83	18,97	188,59	299,49	1811,07	6,16
E4	1,2 RI + 3,8 SU	87,20	16,64	215,57	319,42	1758,70	5,58
E5	1,5 RI + 3,5 SU	70,37	20,10	226,87	327,35	1485,81	4,54
3. TRETMAN / 6 skupina (Kralik i sur., 2020.) 3 TREATMENT / 6 Group							
E1	0,5 MA	170,59	8,92	141,56	321,07	1485,93	4,63
E2	0,5 RI	199,14	4,44	142,66	346,25	1498,35	4,34
E3	1,0 MA	191,04	7,43	163,25	361,40	1477,38	4,09
E4	1,0 RI	190,63	6,26	148,91	346,17	1491,42	4,34
E5	1,5 MA	198,82	6,48	194,01	393,34	1444,49	3,58
E6	1,5 RI	207,52	9,26	152,24	369,62	1423,26	3,89
4. TRETMAN / 3 skupine (Kralik i sur., 2020.) 4 TREATMENT / 3 Group							
C	5 SU	71,73	5,70	89,90	167,33	1782,06	10,65
E1	0,5 RI + 0,5 MA	177,33	10,37	152,25	339,96	1439,03	4,23
E2	0,75 RI + 0,75 MA	161,00	7,68	166,55	335,43	1452,27	4,27
5. TRETMAN / 2 skupine (Stupin i sur., 2018.) 5 TREATMENT / 2 Group							
C	5 SU	59,90	-	78,30	138,20	1432,46	10,30
E	5 BI+RI	384,20	25,20	175,80	585,20	1182,10	2,02

SU=sojino ulje; RI=riblje ulje; MA=mikroalge *Schizochytrium limacinum*; LA=laneno ulje; RE=repičino ulje; BI=biljna ulja (SU + LA + RE)  
 SU=soybean oil; RI=fish oil; MA=microalgae *Schizochytrium limacinum*; LA=linseed oil; RE=rapeseed oil; BI=vegetable oils (SU + LA + RE)

vanja su pokazali da je dodatak ribljeg i biljnih ulja utjecao na deponiranje masnih kiselina u žumanjcima jaja. Sadržaj  $\Sigma n-3$  PUFA u C1 skupini bio je 202,16 mg/100 g jaja, a u E1 i E2 skupinama 545,43 i 695,79 mg/100 g jaja. Sadržaj  $\Sigma n-3$  PUFA u C2 skupini bio je 203,73 mg/100 g jaja, a u E3 i E4 skupinama 433,40 i 296,76 mg/100 g jaja. Povećanjem sadržaja  $\Sigma n-3$  PUFA, smanjio se omjer  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA od 9,67 na 2,57 (laneno ulje), odnosno od 11,85 na 4,25 (repičino ulje). U drugom hranidbenom tretmanu bilo je uključeno također šest skupina nesilica (C, E1, E2, E3, E4 i E5). Istraživana je uporaba ribljeg ulja (0%, 0,3 %, 0,6 %, 0,9 %, 1,2 % i 1,5 %) na sadržaj  $\Sigma n-3$  PUFA u lipidima žumanjaka u kombinaciji sa sojinim uljem (do 5 % ukupno) na  $\Sigma n-3$  PUFA. U istraživanju su upotrijebljene TETRA SL nesilice, a krmne smjese bile su izbalansirane na razini 17,6 % sir. proteina i 11,7 ME MJ/kg. Sadržaj  $\Sigma n-3$  PUFA u C skupini bio je 204,59, u E1 skupini 258,44, E2 skupini 272,12, u E3 skupini 299,49, u E4 skupini 319,42 i E5 skupini 327,35 mg/100 g jaja. U trećem hranidbenom tretmanu je istraživana utjecaj uporabe alge *Schizochytrium limacinum* (SL) kao zamjena za riblje ulje na sadržaj n-3 PUFA u konzumnim jajima. Krmna smjesa bila je izbalansirana na razini 17 % sirovog proteina i 11,7 ME MJ/kg. Skupine nesilica E1, E3 i E5 dobivale su u hrani 0,5 %, 1,0 % te 1,5 % mikroalgi SL, a skupine nesilica E2, E4 i E6 dobivale su 0,5 %, 1 % i 1,5 % ribljeg ulja u hrani tijekom 21 dan. Sadržaj  $\Sigma n-3$  PUFA

kretao su se 321,07, 361,40 i 393,34 mg/100 g jaja (mikrolage SL) i 346,25, 346,17 i 369,62 mg/100 g jaja (riblje ulje). Omjer  $\Sigma n-6$ PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA bio je 4,63, 4,09 i 3,58:1, odnosno 4,34, 4,34 i 3,89:1. U četvrtom hranidbenom tretmanu istraživana je utjecaj kombinacije uporabe ribljeg ulja i mikroalgi *Schizochytrium limacinum* u hranidbi nesilica na obogaćivanje konzumnih jaja s n-3 PUFA. Pokus je izveden s TETRA SL nesilicama. Hranidbeni tretmani bili su sljedeći: C kontrolni (5 % sojino ulje), E1 (0,5 % riblje ulje + 0,5 % mikroalge SL) i E2 (0,75 % riblje ulje + 0,75 % mikroalge SL). Nije bilo razlike u sadržaju  $\Sigma n-3$  PUFA u jajima nesilica skupina E1 i E2 (339,96 i 335,43 mg/100 g jaja). Omjer  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA smanjen je od 10,65:1 do 4,23 i 4,27:1. U petom hranidbenom tretmanu komparirani su sadržaji  $\Sigma n-3$  PUFA u jajima nesilica koje su hranjene sojinim uljem (5 %, kontrola) i kombinacijom sojinog, lanenog, repičinog i ribljeg ulja (E skupina). Jaja porijeklom od E skupine nesilica sadržavala su 585,20  $\Sigma n-3$  PUFA, a kontrolne skupine 138,20 mg/100 g jaja. Omjer  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA smanjen je od 10,30:1 na 2,02:1. Modulacijom hranidbenih tretmana (1-5) sadržaji ALA, EPA i DHA povećani su u jajima 6,25, 5,76 i 3,95 puta. Istovremeno smanjeni su omjeri  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA istim redoslijedom od 10,3 na 2,57, od 4,32 na 2,02 i od 10,30 na 2,02:1. Na Grafikonu 1. prikazani su omjeri  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA prema odabranim tretmanima (>5:1).



Grafikon 1. Omjeri  $\Sigma n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA (<5) prema tretmanima  
 Graph 1  $\Sigma n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA ratio (<5) according to treatments

Promila i sur. (2017.) hranili su grupe nesilica smjesama koje su sadržavale 1 %, 2 %, 2,5 %, 3 %, 3,5 % i 4 % lanenog ulja. Sadržaj ALA je povećan od 1,52 % do 9,79 % u ukupnim masnim kiselinama. Autori su ustanovili da su se istovremeno smanjili sadržaji zasićenih masnih kiselina i kolesterola. Pri uporabi ribljeg ulja u hranidbi nesilica ALA se može povećati 4 do 8 puta, a  $\Sigma n-3$  PUFA 2 do 6 puta (Zotte i sur., 2015., Ehr i sur., 2017., Kralik i sur., 2017.). Ceylan i sur. (2011.) su pri hranidbi nesilica suncokretovim, ribljim, lanenim i repičinim uljem (1,5 % i 3 %) ustanovili da hranidbeni tretmani (vrsta ulja) utječu na profil masnih kiselina u lipidima jaja. ALA je prevladavala u jajima tretmana s lanenim uljem, a DHA kod tretmana s ribljim uljem. Rezultati naših istraživanja pokazali su da je sadržaj masnih kiselina također bio pod utjecajem vrste i koncentracije ulja u obrocima nesilica. Hudečkova i sur. (2012.) su zamijenili sojino ulje lanenim uljem u hranidbi nesilica. Ustanovili su kod pokusne skupine nižu koncentraciju n-6 PUFA, a višu koncentraciju n-3 PUFA. Slične rezultate postigli su Aguillon-Peaz i sur. (2020.). Dodatak ribljeg ulja u hrani nesilica utječe na obogaćivanje jaja s n-3 PUFA, posebice DHA (Lawlor i sur., 2010., Ceylan i sur., 2011.). Trziszka i sur. (2011.) su ustanovili da kombinacija ribljeg i lanenog ulja značajno povećava sadržaj DHA u žumanjcima jaja ( $p < 0,001$ ). Yalçın i Ünal (2010.) su dodatkom 1,5 % ribljeg ulja u smjese za nesilice postigli 41,08 ALA, 68,74 EPA i 412 DHA mg/100 g jaja što su znatno veće vrijednosti za DHA od onih u radu Kralik i sur. (2021.). Calchadora i sur. (2006.) navode da se povećanjem udjela ribljeg ulja u hrani povećava sadržaj DHA, a smanjuje sadržaj arahidonske kiseline (AA). Smanjenje sadržaja AA u lipidima jaja zabilježeno je i u istraživanjima Kralik i sur. (2021.). Prema Mazalli i sur. (2004.) postoji kompeticija u metabolizmu n-3 PUFA i n-6 PUFA u enzimu  $\Delta^6$  desaturaze u biosintezi masnih kiselina. Autori su zaključili da dodatak lanenog ulja (visoka razina ALA), n-3 PUFA smanjuje sintezu AA (n-6 PUFA) iz LA (n-6 PUFA) jer se ALA takmiči u korištenju enzima  $\Delta^6$  desaturaze. Kralik i sur. (2021.) došli su također do iste spoznaje. Lawlor i sur. (2010.) su uporabom ribljeg ulja (2,4 % i 6 %) u hrani nesilica postigli 65 do 73 mg ALA, 12 do 14 mg EPA i 96 do 262 mg DHA/jaje. Hayat i sur. (2009.) su istakli da je povećanje  $\Sigma n-3$  PUFA praćeno smanjenjem  $\Sigma n-6$  PUFA s čime su suglasni i Lemahieu i sur. (2015.) te Yalçın (2017.). Kralik i sur. (2021.) su ustanovili da postoji pozitivna korelacija između sadržaja EPA, DHA i

$\Sigma n-3$  PUFA u hrani i njihovog deponiranja u jajima. Linije regresije istim redoslijedom bile su sljedeće:  $y = 61,7x + 238,81$  ( $R^2 = 0,9787$ ),  $y = 71,2x + 129,06$  ( $R^2 = 0,9943$ ) i  $y = 8,8433x + 6,545$  ( $R^2 = 0,9045$ ).

Rezultati našeg istraživanja pokazali su da alge SL mogu zamijeniti riblje ulje u hranidbi nesilica pri obogaćivanju jaja s n-3 PUFA. Skupine nesilica E3 i E5 (1 % i 1,5 % mikroalgi) bile su efikasnije u obogaćivanju jaja s n-3 PUFA od ostalih skupina. Kaewsutas i sur. (2016.) su ustanovili pri korištenju ribljeg ulja i mikroalgi (1 % i 2 %) da je koncentracija DHA u jajima bila veća ako su nesilice hranjene smjesom koja je sadržavala mikroalge. Dodatak 2 % mikroalgi u hrani povećao je sadržaj DHA iznad 100 mg/jaje, a omjer  $\Sigma n-6/n-3$  PUFA bio je u optimalnim granicama. Lawlor i sur. (2010.) uspjeli su povećati DHA u žumanjcima jaja od 62 do 96 i 129 mg/jaje pri dodatku mikrokapsuliranog ribljeg ulja u hranu nesilica. Janječić i sur. (2018.) također su dodatkom 0,5 % i 1 % mikroalgi SL u hrani nesilica značajno povećali sadržaj DHA kao i  $\Sigma n-3$  PUFA što je u suglasnosti s istraživanjima Kralik i sur. (2020.).

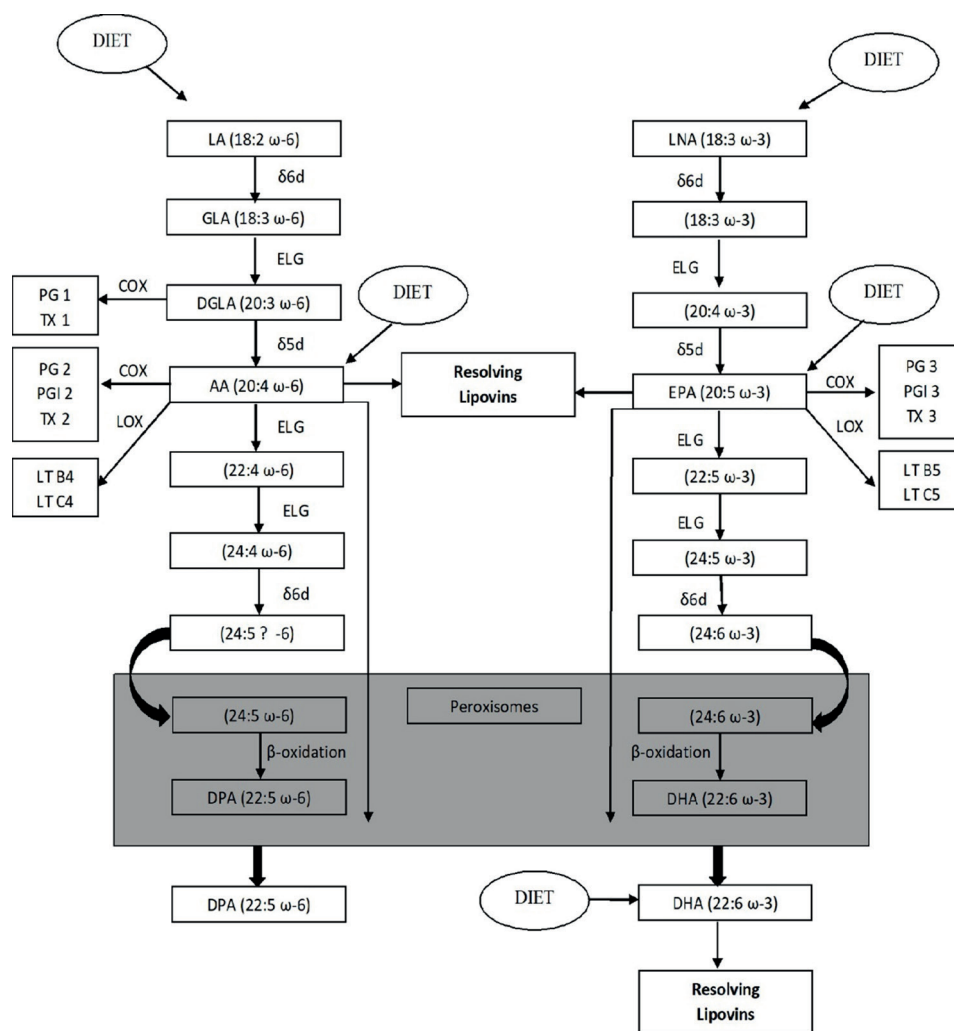
Ao i sur. (2015.) upotrijebili su 1 %, 2 % i 3 % mikroalgi SL u hranidbi nesilica. Sadržaj DHA u lipidima jaja povećao se od 248 mg na 776 mg/100g jaja. Autori su zaključili da se dodavanjem mikroalgi u hranu nesilica mogu proizvesti DHA obogaćena jaja bez negativnog utjecaja na njihovu kakvoću. Ceylan i sur. (2011.) hranili su nesilice smjesama koje su sadržavale 1,5 % i 3,0 % suncokretovog, ribljeg, lanenog i repičinog ulja. Sadržaj ALA povećao se u lipidima žumanjaka pri dodavanju 3 % lanenog i repičinog ulja, a pri dodatku ribljeg ulja povećano je deponiranje DHA u lipidima žumanjaka jaja. Ceylan i sur. (2011.) smatraju da se nutritivna vrijednost jaja može ocijeniti osim omjerom  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA i omjerom ALA:LA.

Kralik i sur. (2012.), Ceylan i sur. (2011.) i Nain i sur. (2012.) su zaključili da se profil masnih kiselina u jajima može modificirati smjesama koje sadrže odabrana ulja, a utjecaj na smanjenje  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  PUFA ide sljedećim redom: laneno ulje > riblje ulje > repičino ulje > suncokretovo ulje. Kaewsutas i sur. (2017.) su ustanovili da dodatak 2 % mikroalgi umjesto 4 % ribljeg ulja u hrani nesilica rezultira boljim učinkom na odlaganje DHA u jajima (114 mg/jaje, a  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  PUFA smanjen je do optimalnih granica). Aguillon-Peaz i sur. (2020.) upotrijebili su punomasno sjemenje suncokreta i lana (13,5 %) u smjesi



za nesilice u komparaciji sa sojom i ustanovili: ALA 0,27 % i 4,19 % : 0,59 %; EPA 0,0 % i 0,09 % : 0,0 % i DHA 0,63 % i 2,26 % : 0,89 % ( $p < 0,001$ ). Autori su zaključili da dodatak lanenog sjemena u smjese značajno povećava sadržaj n-3 PUFA što su ranije potvrdili Aymond i Van Elswyk (1995.). Uključivanje lanenog sjemena ili ulja u obrok nesilica povećava sadržaje ALA, EPA i DHA što su ustanovili također i Scheideler i Froning (1996.) te Kralik i sur. (2012., 2018.). Rezultati istraživanja pojedinih autora kao i našeg, pretpostavljaju da nesilice mogu sintetizirati, iako i malim koncentracijama i dugolančane masne

kiseline. Procesima elongacije i saturacije dolazi do konverzije ALA u EPA i DHA (Carrilo-Dominguez i sur., 2005., Kralik i sur., 2020.). Autori su također zaključili da se istovremeno povećava linolna kiselina koja se konvertira do arahidonske masne kiseline. Istovremeno omjer  $\sum n-6/\sum n-3$  PUFA smanjuje se od 10,5 na 2,2 ( $p < 0,001$ ) što je vrlo povoljno za ljudski organizam. Rowghani i sur. (2007.) su ustanovili da se dodatkom 3 % i 5 % repičinog ulja u smjese za nesilice, povećava n-3 PUFA za 3,30, odnosno 4,75 puta u žumanjcima jaja u odnosu na kontrolnu skupinu jaja.



AA: arahidonska kiselina; DGLA: dihidro-gama-linolenska kiselina; DHA: dokozaheksaenska kiselina; DPA: dokozapentaenska kiselina; EPA: eikozapentaenska kiselina; GLA: gama-linolenska kiselina; LA: linolenska kiselina; LNA: linolenska kiselina; COX: ciklooksigenaze; ELG: elongaza; LOX: lipoksigenaze; LT: leukotrieni; PG: prostaglandini; PGI: prostaciklini; TX: tromboksani.

Slika 1. Biokemija omega 6 i omega 3 masnih kiselina (Candella i sur., 2011.)

Figure 1 Biochemistry of omega 6 and omega 3 fatty acids (Candella et al., 2011)

## ESENCIJELNE MASNE KISELINE U PREHRANI LJUDI

Prehrana ima veliki utjecaj na zaštitu od metaboličkih anomalija, a posebice su značajni funkcionalni proizvodi (Khan i sur., 2017a, b). Različite bioaktivne komponente kao što su n-3 PUFA mogu regulirati čimbenike metaboličkog sindroma. Metabolički sindrom čini grupa čimbenika kao što su debljina, intolerantnost na glukozu i inzulin kao i dislipidemija. Od ovog sindroma obolijeva 20 % do 25 % svjetske populacije (Bhowmik i sur., 2015.). U nastojanju da se smanji kardiometabolički rizik hrana bi trebala biti obogaćena s n-3 PUFA (Yashodhara i sur., 2009.). Fosfolipidi iz jaja utječu na smanjenje resorpcije lipida, vrijednost CRP-a i  $\alpha$ -4 faktora u plazmi (Blessio, 2015.; Campos i sur., 2016.). Nezdрави način prehrane i životnog stila povećava rizik od metaboličkog sindroma, dijabetesa, hipertenzije i kardiovaskularnih bolesti (Fuller i sur., 2015.). Shakoor i sur. (2020.) su ustanovili da omega 3 jaja smanjuju ukupni kolesterol za 16,57 mg/dl ( $p < 0,001$ ), trigliceride za 17,48 mg/dl, a povećavaju koncentraciju HDL kolesterola za 0,48 mg/dl ( $p < 0,001$ ) u komparaciji s prehranom bez jaja. Autori su zaključili da konzumacija omega 3 jaja djeluje pozitivno na profil lipida u serumu i krvni tlak kod pacijenata s metaboličkim sindromom u komparaciji s konzumacijom konvencionalnih jaja. Promjene u prehrani ljudi u zadnjih 100 do 150 godina dovele su do povećanog konzumiranja n-6 PUFA na štetu n-3 PUFA te disbalansa omjera n-6 PUFA/n-3 PUFA u odnosu na originalni početni omjer 1:1 kod ljudi u prošlosti (Simopoulos, 2009.). Danas zapadnjački način prehrane karakteriziraju visoki udjeli zasićenih masti ( $< 10$  %) i n-6 PUFA, a niski udjeli n-3 PUFA što rezultira njihovim nepovoljnim omjerom 20-30:1 (Simopoulos, 2009.; Russo, 2009.). Premali unos n-3 PUFA pripisuje se i nedovoljnom konzumiranju ribe (Candela i sur., 2011.). Masne kiseline se resorbiraju u crijevima i ulaze u metaboličke procese. Na slici 1 prikazani su procesi transformacije LA i LNA u njihove derivate, AA, EPA i DHA.

Odnosi između derivata su važni pri održavanju homeostaze (Candela i sur., 2011.). Eksperimentalno je utvrđeno da je optimalni omjer  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  PUFA 4:1 do 5:1, ali ni u kojem slučaju ne treba prelaziti 10:1. Kod ljudi samo se 5 do 10 % ALA konvertira u EPA, a 2 do 5 % u DHA, a efikasnija je pretvorba kod žena nego kod muškaraca (Candela i

sur., 2011.). Bitan je omjer LA:ALA u prehrani jer ako se LA i ALA natječu za iste enzime smanjenje omjera LA:ALA je značajno pri intenziviranju EPA i DHA sinteze (Simopoulos, 2010.). Goyens i sur. (2006.) smatraju da je apsolutni sadržaj ALA u hrani značajniji pri konverziji u EPA i DHA od relativnog odnosa. Dnevne preporuke za EPA i DHA u Francuskoj su 500 mg, a u Norveškoj 1-2 g dnevno. WHO (World Health Organization) preporučuju 0,3 do 0,5 g dnevno, a ISSFAL (International Scientific Society for the Fatty Acids and Lipids) preporuča 500 mg dnevno. NATO (North Atlantic Treaty Organisation) preporuča 800 mg dnevne konzumacije EPA+DHA. AHA (American Heart Association) smatra da je poželjno konzumirati ribu najmanje dva puta tjedno. Pacijenti s koronarnom bolešću trebali bi konzumirati 1 g EPA+DHA dnevno. Preporuke EFSA (European Food Safety Authority) odnose se na smanjenje triglicerida i krvnog tlaka i u tom cilju preporuča se dnevna konzumacija 2 do 4 g EPA+DHA (Bagga i sur., 2002.).

## ZAKLJUČAK

U radu se prikazuju modulacije hranidbenih tretmana s ciljem obogaćivanja konzumnih jaja s n-3 PUFA. Prikaz i rasprava o specifičnostima modulacije hranidbenih tretmana omogućava sljedeće zaključke:

- Obogaćivanje jaja s ALA, EPA i DHA, tj.  $\Sigma n-3$  PUFA uspješno se postiže mijenjanjem profila masnih kiselina u lipidima žumanjaka. Hranidbeni tretmani uključuju uporabu ribljeg i biljnih ulja te algi *Schizochytrium limacinum* koji su bogati s n-3 PUFA. Optimalni udjeli navedenih sastojaka ovise o njihovim međusobnim kombinacijama i utječu na efikasnost obogaćivanja jaja s n-3 PUFA.
- Ustanovljena je pozitivna povezanost između masnih kiselina u hrani za brojere i njihovog deponiranja u jajima. Biljna ulja (laneno i repičino) u hrani utječu na sadržaj ALA, a u kombinaciji s ribljim uljem i/ili mikroalgama *Schizochytrium limacinum* utječu na sadržaj EPA i DHA, tj.  $\Sigma n-3$  PUFA.
- Povećanje sadržaja  $\Sigma n-3$  PUFA u jajima praćeno je smanjenjem omjera  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  PUFA u lipidima žumanjaka. Modulacijom hranidbenih tretmana može se postići optimalni omjer  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  PUFA 4:1 i manji, što nutricionisti smatraju poželjnim.

Rezultati naših istraživanja pokazuju da se jaja mogu uspješno obogatiti sa  $\Sigma$ n-3 PUFA i prema EU Direktivi (No.166/2010) mogu predstavljati **izvor i/ili visoki izvor** omega 3 masnih kiselina.

**NAPOMENA:** Ovo istraživanje financirano je sredstvima Europskih strukturnih i investicijskih fondova, dodijeljeni hrvatskom nacionalnom Znanstvenom centru izvrsnosti za personaliziranu brigu o zdravlju (KK.01.1.1.01.0010).

## LITERATURA

1. Abdel-Aal, E. S. M., Akhtar, H., Zaheer, K., Ali, R. (2013.): Dietary sources of lutein and zeaxanthin carotenoids and their role in eye health. *Nutrients*, 5(4): 1169-1185.
2. Aguillón-Páez, Y. J., Romero, L. A., Diaz, G. J. (2020.): Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. *Animal Nutrition*, 6(2): 179-184.
3. Ao, T., Macalintal, L. M., Paul, M. A., Pescatore, A. J., Cantor, A. H., Ford, M. J., Dawson, A. K. (2015.): Effects of supplementing microalgae in laying hen diets on productive performance, fatty-acid profile, and oxidative stability of eggs. *Journal of Applied Poultry Research*, 24(3): 394-400.
4. Aymond, W. M., Van Elswyk, M. E. (1995.): Yolk thiobarbituric acid reactive substances and n-3 fatty acids in response to whole and ground flaxseed. *Poultry Science*, 74(8): 1388-1394.
5. Bagga, D., Anders, K. H., Wang, H. J., Glaspy, J. A. (2002.): Long-chain n-3-to-n-6 polyunsaturated fatty acid ratios in breast adipose tissue from women with and without breast cancer. *Nutrition and cancer*, 42(2): 180-185.
6. Blesso, C. N. (2015.): Egg phospholipids and cardiovascular health. *Nutrients*, 7(4): 2731-2747.
7. Bhowmik, B., Afsana, F., Siddiquee, T., Munir, S. B., Sheikh, F., Wright, E., Hussain, A. (2015.): Comparison of the prevalence of metabolic syndrome and its association with diabetes and cardiovascular disease in the rural population of Bangladesh using the modified National Cholesterol Education Program Expert Panel Adult Treatment Panel III and International Diabetes Federation definitions. *Journal of Diabetes Investigation*, 6: 280-288
8. Cachaldora, P., García-Rebollar, P., Alvarez, C., Blas, J. D., Méndez, J. (2006.): Effect of type and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids retention efficiency in laying hens. *British Poultry Science*, 47(1): 43-49.
9. Campos, A. M., Ricardo, F., Alves, E., Reis, A., Couto, D., Domingues, P., Domingues, M. R. M. (2016.): Lipidomic investigation of eggs' yolk: Changes in lipid profile of eggs from different conditions. *Food Research International*, 89: 177-185.
10. Candela, C. G., López, L. B., Kohen, V. L. (2011.): Importance of a balanced omega 6/omega 3 ratio for the maintenance of health. *Nutritional recommendations. Nutricion hospitalaria*, 26(2): 323-329.
11. Carrillo-Dominguez, S., Carranco-Jauregui, M. E., Castillo-Dominguez, R. M., Castro-Gonzalez, M. I., Avila-Gonzalez, E., Perez-Gil, F. (2005.): Cholesterol and n-3 and n-6 fatty acid content in eggs from laying hens fed with red crab meal (*Pleuroncodes planipes*). *Poultry Science*, 84(1): 167-172.
12. Ceylan, N., Ciftçi, I., Mizrak, C., Kahraman, Z., Efil, H. (2011.): Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens. *J. Anim. Feed Science*, 20(1): 71-83.
13. Fuller, N. R., Sainsbury, A., Caterson, I. D., Markovic, T. P. (2015.): Egg consumption and human cardiometabolic health in people with and without diabetes. *Nutrients*, 7(9): 7399-7420.
14. Ehr, I. J., Persia, M. E., Bobeck, E. A. (2017.): Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. *Poultry Science*, 96(6): 1791-1799.
15. EU. Commission Regulation (EU) No 116/2010 of 9 February 2010 amending Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council with regard to the list of nutrition claims [L37]. *Off J Eur Union*. 2010;53:16-18.<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:037:0016:0018:EN:PDF>
16. Fraeye, I., Bruneel, C., Lemahieu, C., Buyse, J., Muylaert, K., Foubert, I. (2012.): Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International*, 48(2): 961-969.
17. Goyens, P. L., Spilker, M. E., Zock, P. L., Katan, M. B., Mensink, R. P. (2006.): Conversion of  $\alpha$ -linolenic acid in humans is influenced by the absolute amounts of  $\alpha$ -linolenic acid and linoleic acid in the diet and not by their ratio. *The American journal of clinical nutrition*, 84(1): 44-53.



18. Hayat, Z., Cherian, G., Pasha, T. N., Khattak, F. M., Jabbar, M. A. (2009.): Effect of feeding flax and two types of antioxidants on egg production, egg quality, and lipid composition of eggs. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3): 541-551.
19. Hudečková, P., Rusníková, L., Straková, E., Suchý, P., Marada, P., Macháček, M. (2012.): The effect of linseed oil supplementation of the diet on the content of fatty acids in the egg yolk. *Acta Veterinaria Brno*, 81(2): 159-162.
20. Janječić, Z., Bedeković, D., Kljak, K., Gorupič, M., Mulin, M. (2018.): Effects of supplementing microalgae in laying hen diets on productive performance, color and content of carotenoids and fatty-acid profile of yolks, in Conference Information and Proceedings of The XVth European Poultry Conference, Dubrovnik, Croatia, Croatian Branch of the World's Poultry Science Association, Dubrovnik, p. 54.
21. Kaewsutas, M., Sarikaphuti, A., Nararatwanchai, T., Sittiprapaporn, P., Patchanee, P. (2016.): The effects of dietary microalgae (*Schizochytrium* spp.) and fish oil in layers on docosahexaenoic acid omega-3 enrichment of the eggs. *Journal of Applied Animal Nutrition* 4.
22. Kaewsutas, M., Sarikaphuti, A., Nararatwanchai, T., Sittiprapaporn, P., Patchanee, P. (2017.): Electroencephalographic study of microalgae DHA omega-3 egg consumption on cognitive function. *Journal of functional foods*, 29: 46-52.
23. Khan, S. A., Khan, A., Khan, S. A., Beg, M. A., Ali, A., Damanhour, G. (2017.): Comparative study of fatty-acid composition of table eggs from the Jeddah food market and effect of value addition in omega-3 bio-fortified eggs. *Saudi journal of biological sciences*, 24(4): 929-935.
24. Khan, S. A., Hegde, M. V., Wagh, U. V., Khan, A., Jamadar, R. (2017.): Value added eggs seem a good option for improving blood omega-6: Omega-3 ratio and heart health. *International Journal of Medical Research & Health Sciences*, 6(4): 60-65.
25. Kralik, G., Kralik, Z., Grčević, M., Škrtić, Z. (2012.): Obogaćivanje peradarskih proizvoda funkcionalnim sastojcima. *Poljoprivreda*, 18(1): 52-59.
26. Kralik, Z., Grčević, M., Kralik, G., Hanžek, D., Zelić, A. (2017.): Quality of table eggs on the Croatian market. *Poljoprivreda*, 23(1): 63-68.
27. Kralik, G., Kralik, Z., Grčević, M., Kralik, I., Gantner, V. (2018.): Enrichment of table eggs with functional ingredients. *Journal of Central European Agriculture*, 19(1): 72-82.
28. Kralik, G., Kralik, Z., Grčević, M., Hanžek, D. (2019.): Qualitative characteristics of fatty acid profile in fresh and boiled n-3 PUFA enriched eggs. *Journal of Central European Agriculture*, 20(3): 802-808.
29. Kralik, G., Kralik, Z., Hanžek, D. (2020.a): The effect of vegetable oils and the fish oil on the fatty acid profile in egg yolks. *Poljoprivreda*, 26(2): 79-87.
30. Kralik, Z., Kralik, G., Grčević, M., Hanžek, D., Margeta, P. (2020.): Microalgae *Schizochytrium limacinum* as an alternative to fish oil in enriching table eggs with n-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(2): 587-594.
31. Kralik, G., Grčević, M., Hanžek, D., Margeta, P., Galović, O., Kralik, Z. (2020.b): Feeding to produce n-3 fatty acid-enriched table eggs. *The Journal of Poultry Science*, 57(2): 138-147.
32. Kralik, G., Kralik, Z., Grčević, M., Galović, O., Hanžek, D., Biazik, E. (2021.): Fatty acid profile of eggs produced by laying hens fed diets containing different shares of fish oil. *Poultry Science*, 100(10): 101379.
33. Lawlor, J. B., Gaudette, N., Dickson, T., House, J. D. (2010.): Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed diets containing microencapsulated fish oil. *Animal Feed Science and Technology*, 156(3-4): 97-103.
34. Lemahieu, C., Bruneel, C., Ryckebosch, E., Muylaert, K., Buyse, J., Foubert, I. (2015.): Impact of different omega-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) sources (flaxseed, *Isochrysis galbana*, fish oil and DHA Gold) on n-3 LC-PUFA enrichment (efficiency) in the egg yolk. *Journal of functional foods*, 19: 821-827.
35. Lešić, T., Vulić, A., Cvetnić, L., Kudumija, N., Škrivanko, M., Pleadin, J. (2015.): Udio masti i sastav masnih kiselina u kokošnjim jajima hrvatskih proizvođača. *Veterinarska stanica: znanstveno-stručni veterinarski* 349-358.
36. Mazalli, M. R., Faria, D., Salvador, D., Ito, D. T. (2004.): A comparison of the feeding value of different sources of fat for laying hens: 2. Lipid, cholesterol, and vitamin E profiles of egg yolk. *Journal of Applied Poultry Research*, 13(2): 280-290.
37. Nain, S., Renema, R. A., Korver, D. R., Zuidhof, M. J. (2012.): Characterization of the n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment in laying hens fed an extruded flax enrichment source. *Poultry science*, 91(7): 1720-1732.
38. Promila, N. K., Sajjan, S., Jyoti, S., Rakesh, V., Saunabh, B. (2017.): Effect of linseed oil supplementation on hen day egg production, body weight, egg shape index, economics and egg quality in layers. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11): 2005-2016.

39. Rowghani, E., Arab, M., Nazifi, S., Bakhtiari, Z. (2007.): Effect of canola oil on cholesterol and fatty acid composition of egg-yolk of laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 6(2): 111-114.
40. Russo, G. L. (2009.): Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids: from biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical pharmacology*, 77(6): 937-946.
41. Scheideler, S. E., Froning, G. W. (1996.): The combined influence of dietary flaxseed variety, level, form, and storage conditions on egg production and composition among vitamin E-supplemented hens. *Poultry Science*, 75(10): 1221-1226.
42. Seuss-Baum, I., Nau, F. (2011.): The nutritional quality of eggs. In *Improving the safety and quality of eggs and egg products* (pp. 201-236). Woodhead Publishing.
43. Shakoor, H., Khan, M. I., Sahar, A., Khan, M. K. I., Faiz, F., Basheer Ahmad, H. (2020.): Development of omega-3 rich eggs through dietary flaxseed and bioevaluation in metabolic syndrome. *Food Science & Nutrition*, 8(6): 2619-2626.
44. Simopoulos, A. P. (2009.): Omega-6/omega-3 essential fatty acids: biological effects. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 99(1): 1-16.
45. Simopoulos, A. P. (2010.): Genetic variants in the metabolism of omega-6 and omega-3 fatty acids: their role in the determination of nutritional requirements and chronic disease risk. *Experimental biology and medicine* 235(7): 785-795.
46. Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., Lugasi, A. (2008.): Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51(3): 456-467.
47. Sparks, N. H. C. (2006.): The hen's egg—is its role in human nutrition changing?. *World's Poultry Science Journal*, 62(2): 308-315.
48. Stupin, A., Rasic, L., Matic, A., Stupin, M., Kralik, Z., Kralik, G., Drenjancevic, I. (2018.): Omega-3 polyunsaturated fatty acids-enriched hen eggs consumption enhances microvascular reactivity in young healthy individuals. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(10): 988-995.
49. Škrtić, Z., Kralik, G., Gajčević, Z., Bogut, I., & Hanžek, D. (2007.): The increase of the n-3 PUFA content in eggs. *Poljoprivreda*, 13(2): 47-52.
50. Trziszka, T., Dobrzański, Z., Kaźmierska, M., Tronina, Ł., Skiba, M. (2011.): Effect of dietary humic-fatty preparations on egg quality in Lohmann Brown hens. *Archiv für Geflügelkunde*, 75(2): 84-90.
51. Wong, H. W. (2010.): Manipulation of Nutrient Composition in Poultry. The Malaysian Agricultural Research and Development Institute Research Inaugural Lecture (23 February 2010) in Serdang, Kuala Lumpur.
52. Yalçın, H., Ünal, M. K. (2010.): The enrichment of hen eggs with  $\omega$ -3 fatty acids. *Journal of medicinal food*, 13(3): 610-614.
53. Yalcin, H. (2017.): Supplemental fish oil and its impact on N-3 fatty acids in eggs. In *Egg Innovations and Strategies for Improvements*, (pp. 373-381). Academic Press.
54. Yashodhara, B. M., Umakanth, S., Pappachan, J. M., Bhat, S. K., Kamath, R., Choo, B. H. (2009.): Omega-3 fatty acids: a comprehensive review of their role in health and disease. *Postgraduate medical journal*, 85(1000): 84-90.
55. Zaheer, K. (2015.): An updated review on chicken eggs: production, consumption, management aspects and nutritional benefits to human health. *Food and Nutrition Sciences*, 6(13): 1208.
56. Zotte, A. D., Andrighetto, I., Giaccone, V., Marchesini, G. (2015.): Dietary enrichment of n-3 PUFA for laying hens: effect of different sources on production, composition and quality of eggs, *Animal Science Papers & Reports* 33(4).

## SUMMARY

The essential fatty acids EPA and DHA have a special role in physiological processes and prevent cardiovascular diseases in humans, and that is the reason for numerous studies for enriching eggs with n-3 PUFA. Eggs can be enriched with n-3 PUFA if laying hens are fed mixtures that contains vegetable oils, especially linseed oil and rapeseed oil, as well as fish oil and the microalgae *Schizochytrium limacinum*. The obtained results show the best efficiency of depositing ALA, EPA and DHA and  $\sum$ n-3 PUFA in yolk lipids if the feed of laying hens contains a combination of fish (1.5%) and linseed (3.5%) or fish oil (1.5%) and vegetable oils (3.5%). The substitution 1.5% of fish oil with the microalgae *Schizochytrium limacinum* (1.5%) was also effective in enriching eggs with n-3 PUFA. The results of our study and those of other authors show that the best efficiency of depositing  $\sum$ n-3 PUFA in eggs is by using linseed and fish oil in the feeding of laying hens. By modulating nutritional treatments, enrichment of eggs with n-3 PUFA was achieved in a large number of studies, up to a concentration based on which eggs can be considered a functional product. In doing so, the  $\sum$ n-6/ $\sum$ n-3 PUFA ratio was reduced to the desirable 4-5:1 value.

Key words: eggs, n-3 PUFA, nutritional treatments, modulation