

Fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva jaja kokoši nesilica hranjena različitim krmivima na bazi kukuruza, repičinog ulja i emulgatora

Vrhovec, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:421409>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, prosinac 2023.

Lucija Vrhovec

**FIZIKALNO-KEMIJSKA I
FUNKCIONALNA SVOJSTVA
JAJA KOKOŠI NESILICA
HRANJENA RAZLIČITIM
KRMIVIMA NA BAZI
KUKURUZA, REPIČINOG ULJA I
EMULGATORA**

Rad je izrađen u Laboratoriju za tehnologiju mesa i ribe na Zavodu prehrambenog-tehnološkog inženjerstva Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Nives Marušić Radovčić.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Nives Marušić Radovčić na uloženom vremenu i trudu tijekom izrade eksperimenta te na pruženim savjetima, razumijevanju i pomoći pri pisanju diplomskog rada.

Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima koji su me neprestano podržavali i vjerovali u mene tijekom studiranja. Hvala na bezuvjetnoj pomoći, strpljenju i razumijevanju. Bez Vas ovo ne bi bilo moguće.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnologiju mesa i ribe

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Nutricionizam

Diplomski sveučilišni studij: Nutricionizam

FIZIKALNO-KEMIJSKA I FUNKCIONALNA SVOJSTVA JAJA KOKOŠI NESILICA HRANJENA
RAZLIČITIM KRMIVIMA NA BAZI KUKURUZA, REPIČINOG ULJA I EMULGATORA
Lucija Vrhovec, univ. bacc. nutr. 00582148232

Sažetak:

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati učinke dva hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva jaja. Kokoši su dobivale krmiva koja su se razlikovala po hibridu kukuruza (Bc572 i Os403), razinama repičinog ulja (2%, 3% i 4%) i dodatku emulgatora (Lysoforte®, Kemin, SAD; 0,5 g/kg i bez dodatka). Ukupno 12 tretmana, organiziranih u faktorijskom dizajnu 2x3x2, nasumično je raspoređeno u 72 kaveza, od kojih je svaki imao po 3 Lohmann Brown kokoši. Vrsta hibrida, dodatak repičinog ulja i emulgatora nisu imali statistički značajan utjecaj ($p > 0,05$) na težinu jaja, pH vrijednost, pjenjenje i udio masti, dok je hibrid kukuruza utjecao na boju ljuske i žumanjka jaja te na kapacitet i stabilnost emulzije. Hibrid, dodatak ulja i emulgatora utjecala su na pojedine parametre teksture i reološka svojstva. Navedeni dodatci također su imali statistički značajan utjecaj ($p < 0,05$) na sastav masnih kiselina.

Ključne riječi: jaja, hibrid kukuruza, repičino ulje, lysoforte

Rad sadrži: 75 stranica, 7 slika, 12 tablica, 114 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Nives Marušić Radovčić

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. doc. dr. sc. Tibor Janči (predsjednik)
2. izv. prof. dr. sc. Nives Marušić Radovčić (mentor)
3. izv. prof. dr. sc. Klara Kraljić (član)
4. izv. prof. dr. sc. Marko Obranović (zamjenski član)

Datum obrane: 20. prosinca 2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Engineering
Laboratory for Meat and Fish Technology

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Nutrition

Graduate university study programme: Nutrition

PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF LAYER EGGS FED WITH
DIFFERENT FEEDS BASED ON CORN, RAPESEED OIL AND EMULSIFIER

Lucija Vrhovec, univ. bacc. nutr. 00582148232

Abstract:

The aim of this research was to examine the effects of two maize hybrids, the addition of rapeseed oil and the natural emulsifier on the physicochemical and functional properties of eggs. The hens were provided with diets that differed in maize hybrid (Bc572 i Os403), rapeseed oil (2%, 3%, and 4%), and emulsifier addition (Lysoforte®, Kemin, USA; 0.5 g/kg and no addition). A total of 12 treatments, organized in a 2x3x2 factorial design, were randomly assigned to 72 cages, each housing 3 Lohmann Brown hens. The type of hybrid, the addition of rapeseed oil and emulsifier had no statistically significant effect ($p > 0.05$) on egg weight, pH value, foaming and fat content, while the corn hybrid affected the color of the eggshell and egg yolk as well as the capacity and stability of the emulsion. Maize hybrid, oil addition and emulsifier affected certain texture parameters and rheological properties. The mentioned supplements also had a statistically significant influence ($p < 0.05$) on the fatty acid composition.

Keywords: *eggs, maize hybrid, rapeseed oil, lysoforte*

Thesis contains: 75 pages, 7 figures, 12 tables, 114 references

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in: The Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: Nives Marušić Radovčić, PhD, Associate professor

Reviewers:

1. Tibor Janči, PhD, Assistant professor (president)
2. Nives Marušić Radovčić, PhD, Associate professor (mentor)
3. Klara Kraljić, PhD, Associate professor (member)
4. Marko Obranović, PhD, Associate professor (substitute)

Thesis defended: December 20th, 2023

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. DEFINICIJA JAJA	3
2.2. GRAĐA I SASTAV JAJA	4
2.2.1. Građa jaja	4
2.2.2. Sastav jaja.....	5
2.2.2.1. Masti.....	5
2.2.2.2. Proteini	6
2.2.2.3. Ugljikohidrati	7
2.2.2.4. Vitamini.....	7
2.2.2.5. Mineralne tvari	7
2.3. KOLESTEROL I OMEGA-3 MASNE KISELINE U JAJIMA	8
2.4. FUNKCIONALNA SVOJSTVA JAJA	9
2.4.1. Pjenjenje	10
2.4.2. Emulgiranje	11
2.4.3. Koagulacija i geliranje	12
2.5. EMULGATORI U JAJIMA	13
2.5.1. Komercijalni oblik lizolecitina - Lysoforte	14
2.6. UTJECAJ DODATKA ULJA U SMJESE ZA HRANIDBU KOKOŠI NESILICA NA KVALITETU JAJA	15
3. EKSPERIMENTALNI DIO	18
3.1. MATERIJALI	18
3.2. METODE RADA	19
3.2.1. Određivanje fizikalnih svojstava jaja	19
3.2.1.1. Određivanje težine jaja.....	19
3.2.1.2. Određivanje boje ljuske jaja i žumanjka	19
3.2.1.3. Određivanje pH vrijednosti	20
3.2.2. Određivanje funkcionalnih svojstava jaja	20
3.2.2.1. Određivanje reoloških svojstava	20
3.2.2.2. Određivanje značajki pjenjenja	22
3.2.2.3. Određivanje emulgirajućih svojstava	23
3.2.2.4. Određivanje teksturalnih svojstava	26
3.2.3. Određivanje masti i sastava masnih kiselina.....	27
3.2.3.1. Izolacija i određivanje udjela masti po Smedesu	27
3.2.3.2. Određivanje sastava masnih kiselina plinskom kromatografijom.....	30
3.2.4. Obrada podataka.....	31

4. REZULTATI I RASPRAVA	32
4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA TEŽINE JAJA	32
4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE LJUSKE JAJA I BOJE ŽUMANJKA	34
4.3. REZULTATI ODREĐIVANJA pH VRIJEDNOSTI JAJA	36
4.4. REZULTATI ODREĐIVANJA REOLOŠKIH SVOJSTAVA	39
4.5. REZULTATI ODREĐIVANJA ZNAČAJKI PJENJENJA	43
4.6. REZULTATI ODREĐIVANJA EMULGIRAJUĆIH SVOJSTAVA	45
4.7. REZULTATI ODREĐIVANJA TEKSTURALNIH SVOJSTAVA	50
4.8. REZULTATI ODREĐIVANJA UDJELA MASTI I SASTAVA MASNIH KISELINA	52
5. ZAKLJUČCI	64
6. LITERATURA	65

1. UVOD

Jaja su prehrambeni proizvod životinjskog porijekla koji se koristi u ljudskoj prehrani tisućama godina. U usporedbi s jajima, nijedna druga pojedinačna namirnica životinjskog porijekla ne konzumira se od strane toliko ljudi diljem svijeta, i nijedna se ne priprema na toliko različitih načina (Surai i Sparks, 2001). Jaja danas predstavljaju jedan od najvažnijih izvora animalnih proteina zbog svoje široke dostupnosti, niske cijene, minimalnih zahtjeva za proizvodnjom u usporedbi s drugim izvorima animalnih proteina, visoke prehrambene vrijednosti, visoke probavljivosti i općeg pozitivnog utjecaja na ljudsko zdravlje. Kokošja jaja su biološki vrlo bogata hrana, a naše tijelo koristi hranjive tvari iz jaja u značajnom postotku. Osim toga, jaja sadrže sve esencijalne aminokiseline te mnoge vitamine i minerale, uključujući vitamin A, folnu kiselinu, riboflavin, vitamin B12, kolin, željezo, fosfor, cink i kalij (Stojanović, 2021).

Ono što čini jaja posebnima u usporedbi s drugim namirnicama jest činjenica da mogu biti obogaćena sastojcima koji su dokazano korisni za ljudsko zdravlje, poput n-3 (omega-3) masnih kiselina, vitamina i antioksidansa. Ovaj proces obogaćivanja događa se prirodno putem metabolizma kokoši koje se hrane smjesama s izmijenjenim sastavom. Jaja obogaćena ovim sastojcima često se koriste kao redoviti dio prehrane i potpuno zadovoljavaju kriterije funkcionalne hrane (Grčević, 2014).

Jedan od fokusa peradarske industrije je primjena različitih vrsta ulja u hranidbi kokoši nesilica. Trenutno se kao glavna ulja koriste biljna ulja poput lanenog, repičinog, sojinog, palminog i ulja pamuka te životinjska ulja kao što su riblje ulje i loj. Dodatak ovih ulja u hranidbi kokoši nesilica postao je efikasan način za unaprjeđenje kvalitete i sastava jaja. Sastav masnih kiselina, kao i fizikalno-kemijska svojstva različitih vrsta ulja, zajedno s njihovim fiziološkim učincima na kokoši nesilice i njihova jaja, pokazuju značajne varijacije. Prilikom istraživanja, analiziraju se brojni parametri koji obuhvaćaju kvalitetu jaja, funkcionalna svojstva jaja te sastav masnih kiselina (Gao i sur., 2021). Neka istraživanja pokazala su da dodatak 3 i 5 % repičinog ulja u osnovnoj hranidbi 24-tjednih kokoši Hyland brown nema značajan utjecaj na težinu jajeta (Rowghani i sur., 2007), dok dodatak 2, 4 i 6 % repičinog ulja u hranidbi 40-tjednih kokoši smanjuje unos hrane, proizvodnju jaja i težinu jajeta (Gul i sur., 2012). U odnosu na rezultate dodatka 3 % ribljeg ulja, maslinovog ulja, ulja sjemenki grožđa ili sojinog ulja, dodatak jednakih količina repičinog ulja u hranidbu kokoši nesilica ne izaziva značajne promjene u

proizvodnji jaja, težini jajeta, unosu hrane ili efikasnosti konverzije hrane. Međutim, primjećuje se povećanje sadržaja α -linolenske masne kiseline u žumanjku (Omidi i sur., 2015).

U posljednjim godinama, mnoge vrste ulja se komercijalno koriste u hranidbi kokoši nesilica kako bi im se osigurali lipidi u hranidbi (Yuan i sur., 2019). Dodatak lipida u hranidbi kokoši nesilica pokazao se kao faktor koji može promijeniti unos hrane, energetske efikasnost, proizvodnju jaja i težinu jaja (Agah i sur., 2012; Fouladi i sur., 2008; Shafey i sur., 2003). Međutim, druga istraživanja su pokazala da prehrambeni lipidi ne utječu na proizvodnju jaja, težinu jaja, težinu žumanjka i razinu kolesterola (Garcia i sur., 2013; Ceylan i sur., 2011).

Primjena emulgatora u hranidbi kokoši može poboljšati apsorpciju lipida, potaknuti rast i povećati učinkovitost hranjenja, dok istovremeno mijenja lipidni profil u krvi. Emulgatori se mogu dodavati u hranu s ciljem poboljšanja težine jajeta, boje žumanjka, probavljivosti hranjivih tvari te pozitivnog utjecaja na proizvodnju jaja. Dodatno, imaju potencijal utjecati na okus i miris jaja. Iako su provedena brojna istraživanja koja istražuju učinke emulgatora na zdravlje i produktivnost kokoši, malo je istraživanja posvećeno ispitivanju parametara kvalitete jaja (Klementavičiūtė i sur., 2016).

U 2021. godini proizvodnja kokošnjih jaja u Hrvatskoj iznosila je oko 732 milijuna komada, što je u odnosu na 2020. godinu povećanje proizvodnje za 9,4%. Od 2018. godine bilježi se kontinuirani rast proizvodnje kokošnjih jaja te je samodostatnost u proizvodnji jaja u 2020. godini dosegla blizu 93% (Ministarstvo poljoprivrede, 2022). Prosječna potrošnja u Europskoj uniji iznosi 210 jaja po osobi godišnje (IEC, 2023) Upravo zbog toga, postoji sve veći interes za istraživanjem jaja i načina kako poboljšati hranidbu kokoši nesilica kako bi se proizvela jaja s boljim nutritivnim sastavom i poboljšanim funkcionalnim svojstvima.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka krmiva s varirajućim sortama kukuruza (Bc572 i Os403), razinama dodatka repičinog ulja u različitim koncentracijama (2, 3 i 4 %) i emulgatora lysoforte-a (0,05 g/kg) na fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva jaja kokoši nesilica. Ispitana su težina jaja, boja žumanjka i ljuske jaja, pH vrijednost, reološka svojstva, značajke pjenjenja, emulgirajuća svojstva, teksturalna svojstva te udio i sastav masnih kiselina.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. DEFINICIJA JAJA

Prema Pravilniku o kakvoći jaja iz 2006. godine (NN 115/2006) *jaja* se definiraju kao kokošja jaja u ljusci dobivena od kokoši nesilica namijenjena prehrani ljudi ili upotrebi u prehrambenoj industriji. Obzirom na kakvoću jaja se klasiraju na: 1. jaja »A« klase ili svježja jaja, 2. jaja »B« klase namijenjena industrijskoj preradi. Jaja »A« klase moraju u trenutku pakiranja ispunjavati najmanje sljedeće uvjete: ljuska i pokožica moraju biti normalnog oblika, čiste i neoštećene, zračna komora ne smije biti viša od 6 mm i pokretna, bjelanjak mora biti bistar, proziran i kompaktan, žumanjak pri prosvjetljavanju jaja se treba vidjeti kao sjena nejasnih obrisa i pri naglom okretanju jaja biti nepokretan ili neznatno pokretan te se mora nalaziti u sredini jaja, zametak neprimjetnog razvoja, jaje bez stranih tvari i bez stranog mirisa. Nadalje, jaja »A« klase ne smiju biti prije ni poslije klasiranja prana ni na bilo koji način čišćena te ne smiju biti podvrgnuta postupku konzerviranja ili biti hlađena na temperaturi nižoj od +5 °C. Jaja »B« klase su jaja koja ne ispunjavaju zahtjeve primjenjive za jaja »A« klase. S obzirom na težinu, jaja »A« klase se prilikom stavljanja u promet razvrstavaju u četiri razreda i označavaju sa: »XL« – vrlo velika: jaja od 73 g i veća; »L« – velika: jaja od 63 g do 73 g; »M« – srednja: jaja od 53 g do 63 g; »S« – mala: jaja manja od 53 g. Podatak o načinu uzgoja peradi mora se nalaziti na samim jajima te se može nalaziti i na pakiranju jaja te se sastoji, ovisno o načinu držanja peradi, od riječi i brojeva (na samim jajima samo od brojeva): »0 – jaja iz ekološkog uzgoja«; »1 – jaja iz slobodnog uzgoja«; »2 – jaja iz štalskog (podnog) uzgoja«; »3 – jaja iz kaveznog (baterijskog) uzgoja«.

Uvjeti koji se moraju ispuniti da bi se odredili pojedini načini uzgoja propisani su posebnim propisima. Jaja koja se stavljaju na tržište moraju biti proizvedena, pakirana, pohranjena i transportirana tako da se očuva njihova kvaliteta. Kokošja jaja ne smiju biti pomiješana s jajima drugih vrsta. Eventualna jaja koja su slučajno razbijena ili oštećena tijekom procesa pakiranja mogu se poslati na preradu u industriju. Zbog čestog konzumiranja jaja u prehrani ljudi i njihove lakoće pokvarljivosti uslijed nepropisnog rukovanja i skladištenja, ključno je brinuti se o njihovoj kvaliteti i sigurnosti. Važno je pratiti podrijetlo jaja kako bi se osigurale mjere za sprječavanje nepropisnog rukovanja i skladištenja u proizvodnim i prodajnim objektima te spriječili mogući budući problemi u vezi s njihovom sigurnošću i zdravstvenom ispravnošću. Stoga se ovim Pravilnikom regulira kakvoća kokošnjih jaja koja su dostupna na tržištu, a to se odnosi na: nazive, definicije i opće uvjete kojima jaja moraju udovoljavati, prikupljanje jaja i

pakirne centre, klasiranje jaja, označavanje i pakiranje jaja, označavanje trakama, ponovno klasiranje i pakiranje jaja, evidencije proizvodnje i pakiranja jaja, kontrolu kakvoće jaja (Pravilnik o kakvoći jaja, 2006).

2.2. GRADA I SASTAV JAJA

2.2.1. Građa jaja

Jaje je asimetričnog i ovalnog oblika te upravo takav oblik predstavlja njegovu najznačajniju karakteristiku (Žepina, 2022). Osnovnu građu jajeta čine ljuska, bjelanjak i žumanjak. Njihov udio u težini cijelog jajeta je sljedeći: bjelanjak 57 - 61 %, žumanjak 27 - 32 % i ljuska 8 - 11 % (Kusum i sur., 2018). Ljuska daje čvrstoću i kompaktnost te štiti osjetljive dijelove jaja od vanjskih utjecaja te omogućuje izmjenu plinova i prijenos topline. Vapnena ljuska jaja je tanka, čvrsta i porozna, a većinom se sastoji od kalcijeva karbonata. Njezina debljina iznosi približno 0,35 mm (Trpčić i sur., 2010). Boja ljuske kokošjih jaja je različita i ovisi o količini pigmenta ovoporfirina. U jajima domaće peradi, boja ljuske može varirati od bijele do smeđe, a ta raznolikost rezultat je ugradnje pigmenta u ljusku tijekom prolaska jaja kroz jajovod. Ponekad, ugradnja ovog pigmenta može biti djelomična, što može rezultirati jajima različite boje ili pjegavog izgleda (Biđin, 2010). Vanjska vapnena ljuska obavijena je s još jednim slojem tzv. amnionskom kutikulom koja ima antibakterijsko djelovanje te sprječava prodor mikroorganizama u unutrašnjost jaja. Ispod vapnene ljuske, s unutarnje strane priliježu dvije rožnate opne, jedna se nalazi uz samu ljusku jaja, dok druga obavija i štiti njegov unutarnji sadržaj (Žepina, 2022). Na širem, tupom dijelu jaja, membrane se međusobno odvajaju tvoreći tako zračnu komoricu. Čim je jaje sneseno počinje se hladiti, a sadržaj se stisne. Starenjem jaja, tijekom čuvanja i skladištenja, zračna šupljina se povećava kao posljedica isparavanja vode (Trpčić i sur., 2010).

Bjelanjak se sastoji od tri osnovna djela: rijetki bjelanjak (20 - 30 %), gusti bjelanjak (57 – 60 %) i svijetli bjelanjak (15 - 17 %) (Kralik i sur., 2008). Bjelanjak, osim što opskrbljuje zametak nekim hranjivim tvarima, također i štiti zametak od mehaničkih utjecaja poput potresanja koji bi mogli imati negativan utjecaj na njegov razvoj. Unutarnji dio bjelanjka koji neposredno okružuje žumanjak često se naziva "tanjim" ili "rjeđim" zbog većeg udjela vode, dok je onaj bliži ljusci obično gušći i deblji (Biđin, 2010). Bjelanjak okružuje žumanjak kojeg u središtu jaja drže nitasti proteini halaze, spiralne tvorevine gustog bjelanjka (Žepina, 2022). Žumanjak je omotan tankom i elastičnom žumanjčanom opnom. Boja mu varira od žute do narančaste.

Sadrži tamnije i svijetlije nijanse boje koje se izmjenjuju u koncentričnim krugovima (Senčić i Samac, 2017). Žumanjak se razvija u jajniku te se na njegovoj površini nalazi bijela nakupina koja se naziva zametna pločica, veličine otprilike 2 mm. Ona je prisutna i u neoplođenom jajetu, ali u tom slučaju sadrži samo genetski materijal kokoši. Kada je jaje oplođeno sadrži genetski materijal oba roditelja. Žumanjak je bogat hranjivim tvarima koje su ključne za razvoj embrija (Blatarić, 2018).

2.2.2. Sastav jaja

U tablici 1. prikazan je osnovni kemijski sastav kokošnjih jaja koja većim djelom oko 73,5 % sadrže vodu. Od makronutrijenata prevladavaju proteini i masti, dok ugljikohidrata ima u malim količinama. Mineralnih tvari ima oko 1 % u cijelom jajetu. Bjelanjak najviše sadrži proteina, dok žumanjak ima najveći postotak masti, zatim proteina.

Tablica 1. Osnovni kemijski sastav kokošnjih jaja (Senčić i Samac, 2017)

Sastojci	Žumanjak	Bjelanjak	Cijelo jaje
Voda (%)	47,0 – 50,0	86,0 – 88,0	72,0 – 75,0
Proteini (%)	15,0 – 17,0	10,5 – 12,3	12,5 – 13,3
Masti (%)	28,0 – 36,0	U tragovima	10,7 – 11,6
Ugljikohidrati (%)	0,7 – 1,4	0,1 – 0,5	0,7
Mineralne tvari (%)	0,7 – 1,6	0,3 – 0,6	1,0

2.2.2.1. Masti

U konzumnom jajetu glavne masne komponente su trigliceridi (65 %) i fosfolipidi (32 %). Od višestruko nezasićenih masnih kiselina (1 - 3 % od ukupne količine masti) najzastupljenije su arahidonska masna kiselina i α -linolenska masna kiselina (< 1 %). Od jednostruko nezasićenih masnih kiselina najzastupljenija je oleinska kiselina (C18:1) u udjelu od 42 - 46 %. Zasićene masne kiseline prisutne su u jajima u količini od 30 - 35 %, od čega su najzastupljenije palmitinska kiselina (C16:0) u količini od 22 - 26 % i stearinska kiselina (C18:0) u količini od 8 - 10 %. Na sastav masnih kiselina jaja može se značajno utjecati hranidbom kokoši. Fosfolipidi sadrže lecitin koji je bogat fosforom te važan za rad živčanog sustava i poticanje rasta (Senčić i Samac, 2017). Žumanjak obiluje masnoćama, za razliku od bjelanjka koji ih sadrži u vrlo malim količinama. Većina masnoća u žumanjku dolazi u obliku lipoproteinskih

kompleksa, dok se u bjelanjku nalaze neutralne masti poput triglicerida, fosfolipida i slobodnog kolesterola. Sastav lipida u žumanjku obuhvaća trigliceride, fosfolipide, kolesterol, cerebrozide i druge tvari. Među trigliceridima žumanjka, glavne masne kiseline uključuju oleinsku (C18:1), palmitinsku (C16:0), linolnu (C18:2), stearinsku (C18:0) i arahidonsku kiselinu (C20:4) (Senčić i Samac, 2017). Fosfolipidi žumanjka su fosfatidilkolin i fosfatidiletanolamin. Također su prisutni lizofosfatidilkolin i lizofosfatidiletanolamin. Fosfatidilkolin je prekursor acetilkolina, koji je važan neurotransmiter. Steroli u žumanjku su u obliku kolesterola te čine oko 84 % ukupnog kolesterola, dok ostalih 16 % su esteri (Jurić i sur., 2005). Prosječna količina kolesterola kreće oko 250 mg po jajetu srednje veličine (Petrović, 2012). Prirodni manji steroli prisutni u jajetu, kao što su brasikasterol, kampesterol, stigmasterol i beta-sitosterol, pridonose povećanju HDL-a (HDL - engl. high-density lipoproteins; lipoproteini visoke gustoće), tzv. „dobrog“ kolesterola i smanjenju rizika od kardiovaskularnih bolesti (Jurić i sur., 2005).

2.2.2.2. *Proteini*

Kada je u pitanju sadržaj proteina u jajetu, oni čine drugu najvažniju hranjivu komponentu. Žumanjak sadrži nešto više proteina u usporedbi s bjelanjkom. Proteini u bjelanjku sastoje se od albumina i globulina koji se nalaze u rijetkom dijelu bjelanjka i od mucina i mukoida koji čine strukturni dio bjelanjka. Bjelanjak sadrži i druge proteine poput ovotransferina, lizozima, ovoinhibitora, flavoproteina, cistatina i avidina (Senčić i Samac, 2017). Ovalbumin, po težini, čini više od polovice proteina bjelanjka i bio je jedan od prvih proteina koji je izoliran u čistom obliku. Ovalbumin je monomerni fosfoglikoprotein koji ima dominantan doprinos u funkcionalnim svojstvima bjelanjka. Ovotransferin je također poznat kao konalbumin. Ovotransferini sudjeluje u transportu željeza u otopljenom obliku do ciljnih stanica (Davis i Reeves, 2002). Ovomukoid je najpoznatiji kao tripsinski inhibitor. Ovomukoid može biti pohranjen pri 100 °C u kiselim uvjetima tijekom produljenog perioda, a da ne dođe do opaženih promjena u njegovim fizikalnim i kemijskim svojstvima. Ovomukoid ima značajniju ulogu u patogenezi alergijskih reakcija na jaja nego ostali proteini prisutni u bjelanjku (Narahari, 2003).

Proteini prisutni u žumanjku su kompleksna smjesa koja se sastoji od čvrstih čestica (granula) i frakcija proteina otopljenih u vodi (plazma), od kojih svaka frakcija sadrži lipoproteine. Granule sadrže 70 % HDL-a, 16 % fosfatina i 12 % LDL-a (LDL - engl. low-density lipoproteins; lipoproteini male gustoće), dok plazma sadrži 85 % LDL-a i 15 % livetina (Oloyede i Ikuelogbon, 2004). Lipoprotein niske gustoće (LDL) je glavni protein u žumanjku jajeta, u ukupnim proteinima sudjeluje sa 65 % te ga karakterizira sposobnost emulgiranja.

Lipoprotein visoke gustoće (HDL) postoji kao kompleks s fosfoproteinom (fosfitinom). HDL pomaže uklanjanju kolesterola iz tjelesnih tkiva u jetru gdje se prerađuje (Jurić i sur., 2005). Fosvitin je osnovni fosfoprotein u žumanjku te sadrži oko 10 % fosfora i 6,5 % ugljikohidrata. Procjenjuje se da se 80 % fosfora koji se nalazi u žumanjku se nalazi upravo u fosvitinu. Nadalje fosfitin sadrži 54% serina. Serinski ostaci fosvitina prisutni su isključivo kao esteri fosforne kiseline. Pri niskoj ionskoj jačini i u prisutnosti kisele okoline, fosvitin postaje topljiv u vodi i može reagirati s različitim metalnim ionima. Zbog ove sposobnosti, on sprečava oksidaciju lipida potaknutu metalima te se može koristiti kao moćan prirodni antioksidans (Hartmann i Wilhelmson, 2001).

2.2.2.3. Ugljikohidrati

U prosječnom jajetu ugljikohidrati čine samo 0,5 % ukupne mase, a najviše su zastupljeni glukoza, galaktoza i manozna (Žepina, 2022). Ugljikohidrati u jajima su uglavnom u obliku oligosaharida, vezani za proteine, a glukoza je najčešći slobodni šećer (Senčić i Samac, 2017).

2.2.2.4. Vitamini

Jaje, a posebno žumanjak, je bogata namirnica vitaminima i sadrži sve vitamine osim vitamina C. Žumanjak jaja sadrži velike količine vitamina A, D, E, K, B1, B2, B5, B6, B9 i B12, dok bjelanjak sadrži visoke količine vitamina B2, B3 i B5, ali također i značajne količine vitamina B1, B6, B8, B9 i B12. Konzumiranje dva jaja dnevno pokriva od 10 % do 30 % potreba za vitaminima kod ljudi. Važno je napomenuti da je sadržaj vitamina topljivih u mastima (vitamina A, D, E, K) u žumanjku jaja uvelike ovisan o hranidbi kokoši. Osim ovih vitamina, jaja predstavljaju značajan izvor kolina, koji je uglavnom koncentriran u žumanjku (680 mg/100 g u žumanjku jaja naspram 1 mg/100 g u bjelanjku) (Réhault-Godbert i sur., 2019).

2.2.2.5. Mineralne tvari

Jaja su bogata fosforom, kalcijem, kalijem i sadrže umjerene količine natrija (142 mg/ 100 g cijelog jajeta). Također sadrže sve esencijalne elemente u tragovima, uključujući bakar, željezo, magnezij, mangan, selen i cink, pri čemu žumanjak jaja značajno doprinosi opskrbi željezom i cinkom. Prisutnost ovih mineralnih tvari i mikronutrijenata u jajima je izuzetno zanimljiva jer je nedostatak nekih od njih (Zn, Mg i Se) povezan s depresijom i umorom te razvojem patoloških bolesti. Koncentracija nekih od tih tragova elemenata (npr. selen, jod) može značajno varirati ovisno o hranidbi kokoši (Réhault-Godbert i sur., 2019).

2.3. KOLESTEROL I OMEGA-3 MASNE KISELINE U JAJIMA

Svakodnevno konzumiranje jaja pruža obilje hranjivih tvari s malo kalorija, čime jaja predstavljaju dobar izvor prehrane sa visokom nutritivnom gustoćom (Vendl, 2020). Koncept nutritivne gustoće predstavlja unos nutrijenata izražen kao količinu nutrijenata po jedinici energije, npr. 100 ili 1000 kcal (Gradiški, 2018). Međutim, iako jedno jaje od 100 g sadrži 140 kcal čime nije kalorično, visok sadržaj kolesterola (370 - 410 mg) u istoj količini je problematičan za zdravlje srca (Vendl, 2020). Udio kolesterola u jajima varira ovisno o različitim čimbenicima uzgoja, kao što su genetika kokoši, hranidba, količina jaja, dob i eventualni utjecaj lijekova. U prošlosti su jaja smatrana nepovoljnima za zdravlje zbog pogrešnog vjerovanja da unos kolesterola putem hrane značajno povećava razinu kolesterola u krvi, što se povezivalo s kardiovaskularnim bolestima. Međutim, kasnija istraživanja su ukazala da povećanje kolesterola u krvi možda nije toliko povezano s unosom kolesterola iz hrane, već s visokim udjelom zasićenih masnih kiselina u prehrani. Novija istraživanja su također sugerirala da umjerena konzumacija jaja ne utječe značajno na povećanje kolesterola i triglicerida u krvi (Petrović, 2012). Nedavna istraživanja su pokazala da jaja sadrže manje kolesterola nego prije, a bolja hranidba kokoši nesilica je jedan od razloga (Vendl, 2020). Brojna istraživanja su pokazala da svakodnevna konzumacija jednog do dva jajeta ne dovodi do povećanja razine kolesterola u krvi niti povećava rizik od kardiovaskularnih bolesti. Provedena su i istraživanja na osobama koje već imaju dijagnosticiranu hiperkolesteremiju, hipertrigliceridemiju i dijabetes, a rezultati su pokazali da konzumacija jaja ne povećava razinu LDL kolesterola (Herron i sur., 2003).

Srednje veliko jaje pruža otprilike 70 mg n-3 masnih kiselina, što može značajno doprinijeti preporučenom unosu od 450 mg dnevno za DHA/EPA (DHA – dokozaheksaenska; EPA - eikozapentaenska kiselina) (Gray i Griffin, 2013). Ispitivanja su ukazala na to da povećanje konzumacije n-3 masnih kiselina u prehrani u odnosu na unos n-6 masnih kiselina može smanjiti vjerojatnost razvoja kroničnih bolesti, uključujući bolesti krvožilnog sustava i autoimune bolesti (Karolyi, 2007). S obzirom na ograničen napredak u smanjenju kolesterola u žumanjku jaja, glavni fokus je usmjeren na promjenu sastava masnih kiselina u žumanjku. Budući da zapadna prehrana često ima visok omjer polinezasićenih masnih kiselina n-6/n-3 od 25:1, postoji potreba za razvojem prehrambenih proizvoda životinjskog podrijetla koji su obogaćeni n-3 masnim kiselinama. Ovo je značajno jer polinezasićene masne kiseline n-3 imaju povoljan učinak na smanjenje razine triglicerida u krvi, krvnog tlaka, koagulacije, tromboze i

na funkciju imunološkog sustava. Pozitivni učinci na zdravlje ljudi već se primjećuju pri unosu samo 0,5 g dnevno n-3 masnih kiselina. Znanstvenici diljem svijeta ulažu značajne napore kako bi razvili prehrambene proizvode životinjskog podrijetla koji imaju omjer PUFA (PUFA - engl. polyunsaturated fatty acid; višestruko nezasićene masne kiseline) n-6/n-3 što bliži 1:1 i poželjan profil PUFA n-3 (Kralik i sur., 2007).

2.4. FUNKCIONALNA SVOJSTVA JAJA

Jaja su višenamjenska namirnica s važnim i poželjnim svojstvima u prehrambenoj industriji, koja uključuju sposobnost koagulacije, stvaranja želatinoznih struktura, formiranja pjene, emulziranja te dodavanja boje, okusa i nutritivnih karakteristika proizvodima (Yang i Baldwin, 1995). Široka primjena jaja temelji se na njihovoj sposobnosti da se pretvore iz tekućeg stanja u geliranu strukturu tijekom zagrijavanja, stvarajući pjenaste teksture bjelanjka koje doprinose proizvodnji lakših i zračnijih proizvoda. Žumanjak, zahvaljujući svojim emulgirajućim svojstvima, uslijed prisustva fosfolipida i lipoproteina, koristi se u proizvodnji različitih proizvoda kao što su majoneza, razni umaci i slično (Davis i Reeves, 2002). Svježi bjelanjak jajeta predstavlja široko korišten sastojak u hrani, uglavnom zbog svojih emulgirajućih i pjenastih svojstva koja su temeljna za mogućnost proizvodnje i ocjene konačnih karakteristika (teksture, okusa, itd.) mnogih proizvoda (Zhao i sur., 2007). Za proizvode koji koriste jaja kao sirovinu, a ne podvrgavaju ih toplinskoj obradi, ključno je osigurati da su jaja prije svega mikrobiološki ispravna. Zato je od iznimne važnosti primijeniti odgovarajuće postupke obrade sirovih jaja u ljusci (Lukač, 2016). Za većinu primjena u prehrambenoj industriji, pasterizacija bjelanjka je preduvjet zbog suzbijanja bolesti prenosivih hranom koja uključuju *Escherichiu*, *Salmonellu*, *Staphylococcus* i druge mikroorganizme. Minimalni parametri pasterizacije u SAD-u od 60 °C tijekom 3,5 minute pokazali su se dovoljnima. Međutim, većina funkcionalnih svojstava bjelanjka jaja gubi se ili mijenja nakon najblažeg tretmana toplinom zbog osjetljivosti proteina jaja na koagulaciju ili termičku denaturaciju s formiranjem ili razaranjem kovalentnih veza. Kako se često zahtijeva toplinska obrada kako bi se osigurala mikrobna sigurnost ili dobila poželjna senzorska svojstva prehrambenih proizvoda koji sadrže bjelanjak jaja, moraju se razviti i primijeniti alternativne tehnologije uzimajući u obzir sanitaciju i očuvanje tekućeg bjelanjka jaja (Zhao i sur., 2007). Posebna svojstva i karakteristike jaja pridonijela su njihovoj upotrebi u pripremi raznih namirnica kao što su tjestenine, kolači, majoneza i drugo u kojima se koriste zbog koagulacijskih svojstava, nastajanje pjene i emulzije te zbog njihovog doprinosa okusu i boji proizvoda (Stadelman i Schmieder, 2002; Yang i Baldwin, 1995).

2.4.1. Pjenjenje

Pjena je koloidna disperzija u kojoj se plinovita faza raspršuje u tekućoj ili čvrstoj fazi. Mehanizam stvaranja pjene tijekom mućenja tekućih jaja opisuje se kao rasklapanje molekula proteina tako da polipeptidni lanci s dugim osima budu paralelni sa površinom. Ova promjena u molekularnoj konfiguraciji rezultira gubitkom topljivosti ili taloženjem nekih albumina, koji se skupljaju na sučelju tekućine i zraka (Stadelman i Schmieder, 2002). Pjena ovisi o površinskoj aktivnosti i sposobnosti formiranja filma određenih proteinskih komponenti koje se mogu nalaziti u relativno niskim koncentracijama. Formiranje pjene ovisi o sposobnosti proteina da brzo stvore kohezivni međufazni film koji je sposoban za zarobljavanje i zadržavanje zraka. Proteinski film koji okružuje zrak trebao bi biti dovoljno jak da zadrži vlagu i izdrži mehaničke udarce, širenje tijekom formiranja i fenomene starenja (Phillips i sur., 1987). Mnoga hrana može stvarati pjenu, međutim jaja su posebno učinkovita u toj sposobnosti. Da bi pjena imala vrijednost u kuhanju, mora biti relativno stabilna. Stvaranje pjene od jaja postiže se mućenjem tekućih jaja. Dok se cjelovita jaja mogu koristiti za stvaranje pjene za žute biskvite, uobičajeno je koristiti samo bjelanjak kako bi se postigao maksimalni volumen pjene. Bjelanjak s većim udjelom gustog bijelog dijela zahtijeva dulje mućenje kako bi se postigao maksimalni volumen pjene, no pjena koja se tako formira je stabilnija od onih stvorenih od jaja niže kvalitete koje sadrže veći udio tankog bijelog dijela (Stadelman i Schmieder, 2002). Proteini bjelanjka jajeta, zahvaljujući svojim visokim svojstvima stvaranja pjene, koriste se kako bi pružili strukturu i teksturu u proizvodima koji sadrže zrak. Primjene uključuju proizvode poput pekarskih proizvoda, sladoleda i čokoladnih mousseva. Međutim, pjene od proteina bjelanjka jajeta su nestabilne i osjetljive na mnoge čimbenike, uključujući vrijeme čuvanja, pH vrijednost, temperaturu i koncentraciju proteina. Stoga je od velike važnosti poboljšati svojstva stvaranja pjene kako bi se unaprijedila kvaliteta prehrambenih proizvoda (Ding i sur., 2022). Kapacitet stvaranja pjene i stabilnost pjene su dva važna pokazatelja za procjenu proteina za stvaranje pjene. Kapacitet stvaranja pjene se definira kao sposobnost proteina da uključi zrak u proteinsku otopinu, što se može mjeriti povećanjem volumena pjene. S druge strane, stabilnost pjene odnosi se na sposobnost održavanja izgleda pjene tijekom vremena, a može se mjeriti brzinom smanjenja volumena pjene (Gharbi i Labbafi, 2019). Različite pripreme izazivaju promjene u međumolekulskim silama bjelanjka proteina, što dovodi do disocijacije i ponovnog agregiranja proteina, što utječe na dva navedena svojstva. Kako bi se postigli željeni parametri stvaranja pjene, potrebno je kontrolirati način agregacije proteina bjelanjka (Ding i sur., 2022).

2.4.2. Emulgiranje

Emulzija se odnosi na sustav dviju tekućih faza, gdje je jedna od njih (dispergirana faza) prisutna u obliku sitnih čestica koloidnih dimenzija koje su raspršene u drugoj (kontinuiranoj fazi), tj. u disperznoj sredini. Drugim riječima, emulzija je kombinacija dviju tekućina, pri čemu su čestice dispergirane faze iznimno fine i kreću se u rasponu od 0,5 μm do 1 μm , dok se kontinuirana faza nalazi u drugoj tekućini. Svaka od ovih tekućina naziva se fazom. Svojstva tih faza dramatično se mijenjaju na granici između njih, tj. na prijelazu jedne faze u drugu (Milostić, 1962). Prvi korak u stvaranju emulzije jest smanjenje napetosti između vode i ulja. Ključna uloga u ovom procesu pripada površinski aktivnim tvarima prisutnim u žumanjku jaja. Te površinski aktivne tvari stvaraju tanki omotač oko kapljica ulja, sprječavajući njihovo spajanje u prehrambenim emulzijama. Važno je napomenuti da sam žumanjak jaja predstavlja emulziju, i to svojom prirodnom strukturom. Emulgirajuća svojstva žumanjka ne mijenjaju se čak i ako se promijeni sastav masnih kiselina u njemu. U kulinarstvu, emulgirajuće svojstvo žumanjka jaja često se koristi za pripremu umaka poput hollandaise umaka i drugih sličnih. U prehrambenoj industriji, ovo svojstvo ima široku primjenu, posebice u proizvodnji proizvoda kao što su majoneza i preljevi za salate (Stadelman i Schmieder, 2002). U nedavnim istraživanjima, Xie i sur. (2020) su otkrili da visokofrekventna ultrazvučna obrada pozitivno mijenja funkcionalna svojstva žumanjka jaja poput emulgirajućih i gelirajućih svojstava zbog agregacije LDL-a iz žumanjka i djelomične disocijacije granula žumanjka. Ren i sur. (2020) su utvrdili da dodatak natrijevog tripolifosfata i sukcininskog anhidrida rezultira modificiranjem proteinske komponente žumanjka jaja, čime se povećava stabilnost emulzije žumanjka jaja za 2-3 puta. Campbell i sur. (2005) istraživali su kombinirani učinak NaCl i saharoze na toplinski potaknutu agregaciju proteina cjelovitih jaja i proteina žumanjka jaja. Šećer i sol imali su utjecaj u odgađanju denaturacije proteina jaja, čime se povećala toplinska stabilnost. Ovisno o koncentracijama šećera i soli, otopine cjelovitih jaja i žumanjka jaja mogu se zagrijavati na visokim temperaturama, čak do 80 °C (2 minute), bez negativnog utjecaja na njihova svojstva emulzije. Emulgirajuća svojstva proteina jaja tretiranih na ovaj način ostaju nepromijenjena i u nekim slučajevima se čak poboljšavaju. Pretpostavlja se da ionska snaga otopine jaja i stupanj denaturacije proteina pri određenim uvjetima grijanja mogu značajno utjecati na prosječni promjer kapljica emulzija koje se formiraju, a to ovisi o količini šećera i soli dodane tijekom procesa grijanja (Campbell i sur., 2005).

2.4.3. Koagulacija i geliranje

Koagulacija je fenomen u kojem tekućina prelazi u polučvrstu ili čvrstu fazu. Toplinska koagulacija može se pojaviti i u bjelanjku i žumanjku jaja. Proteini u bjelanjku koaguliraju na različitim temperaturama; konalbumin ili ovotransferin koaguliraju na 57,3 °C, dok lizozim koagulira na 81,5 °C. Drugi proteini bjelanjka koaguliraju na temperaturama između ovih ekstrema. Žumanjak jaja počinje koagulirati pri 65 °C i prestaje biti tečan pri 70 °C. Proces koagulacije uključuje otpakiravanje proteina kada se zagrijavaju te stvaranje veza između molekula, što dovodi do promjene transparentne vodene tekućine u neprozirnu, gustu konzistenciju u nepovratnoj reakciji (Stadelman i Schmieder, 2002). Važna funkcija proteina u prehrambenim sustavima je geliranje. Ovaj fenomen uključuje stvaranje trodimenzionalne matrice uglavnom putem međuproteinske vodikove veze i omogućava imobilizaciju vode unutar strukture gela. Koagulacija ili geliranje proteina jaja je posebno nepovratna, toplinski potaknuta reakcija koja često kontrolira uspješnost određenih prehrambenih proizvoda. Za znanstvenike u prehrambenoj industriji od interesa je kvantitativno pratiti proces geliranja kako bi bolje predvidjeli karakteristike krajnjeg proizvoda, kao i razumjeli mehanizam formiranja mreže. Bolje razumijevanje procesa geliranja omogućuje manipulaciju varijablama kako bi se dobio gel s željenim teksturalnim karakteristikama i funkcionalnim svojstvima. Osim toplinom, koagulacija, odnosno denaturacija proteina se može još izazvati visokim tlakom, solima, kiselinama, lužinama, alkoholima ili denaturirajućim sredstvima poput ureje (Gossett i sur., 1984). Bjelanjak jaja može se podijeliti na dva dijela temeljem karakteristika gela: gusti bjelanjak i tanki bjelanjak. Gusti dio bjelanjka je nehomogena suspenzija s vlaknastim strukturama koja se uglavnom sastoji od ovalbumina, ovomucina, ovotransferrina, ovoinhibitora i lizozima. Interakcija netopljivog ovalbumina s lizozimom temelj je za formiranje strukture gela gustog bjelanjka. Formiranje proteinske mreže unutar gela ovisi o nekovalentnim vezama poput vodikovih veza, hidrofobnih interakcija i elektrostatičkih interakcija, kao i o kovalentnim vezama poput disulfidnih veza (Li i sur., 2020). Hidrofobne interakcije, elektrostatičke interakcije i disulfidne veze između proteina donekle su podložne vanjskim čimbenicima kao što su pH, temperatura, tlak, ionska snaga i prethodna obrada, što utječe na formiranje proteinskih mreža u gelu (Luo i sur., 2022). Utvrđeno je da umjerena upotreba fosfata (natrijev pirofosfat, natrijev tripolifosfat i natrijev heksametafosfat) može pomoći bjelanjku da formira gustu i homogenu mrežnu strukturu s finim porama, čime se poboljšava termalno svojstvo geliranja bjelanjka (Gao i sur., 2020).

2.5. EMULGATORI U JAJIMA

Žumanjak kokošjeg jajeta igra ključnu ulogu kao emulgirajući sastojak u proizvodnji različitih proizvoda poput majoneze, preljeva za salatu i kolača. Emulgirajuće komponente u žumanjku uključuju fosfolipide, lipoproteine i proteine poput livetina i fosvitina (Mine, 1998). Centrifugiranjem žumanjka može se razdvojiti u plazmu, supernatant i granule ili talog (Li-Chan i sur., 1995) Plazma čini 85 % lipoproteina niske gustoće (LDL) i 15 % livetina. Granule, s druge strane, sadrže uglavnom 70 % lipoproteina visoke gustoće (HDL), 16 % fosvitina i 12 % LDL. Nekoliko istraživanja fokusiralo se na emulgirajuća svojstva žumanjka jajeta, pri čemu se LDL smatra ključnim doprinositeljem tim svojstvima. LDL je pokazao bolje sposobnosti stabilizacije emulzija u vodi u usporedbi s granulama i livetinom (Mine, 1998). Loša svojstva emulzije granula povezana su s niskom topljivošću pri niskoj ionskoj jakosti. Stabilnost emulzija žumanjka jajeta može se poboljšati postupcima acetilacije i sukcinilacije lipoproteina žumanjka. Kada je riječ o majonezi, koja predstavlja tipičnu emulziju ulja u vodi, žumanjak igra ključnu ulogu u stabilizaciji emulzije. Lipoproteini i fosfolipidi žumanjka čine glavne komponente zaštitnog sloja u ovoj emulziji. Opservacije elektronskom mikroskopijom sugeriraju da su mješavina lipovitelina i livetina ključne komponente zaštitnog sloja (Mine, 1998). Fosfolipidi čine 21 - 31 % od ukupnih lipida u žumanjku. Lecitin iz žumanjka jajeta, koji se koristi kao emulgator, uglavnom je sastavljen od fosfatidilkolina i fosfatidiletanolamina, čineći 60 - 73 %, odnosno 15 - 26 % ukupnih fosfolipida. Uz to, u lecitinu iz žumanjka jajeta prisutni su i manji sastojci poput lizofosfatidilkolina, sfingomijelina i fosfatidilinozitola. Emulzifikacija je ključna funkcija lecitina, a on se često koristi kao emulgator i stabilizator u prehrambenim proizvodima poput majoneze, dječje hrane, krema za ruke i tijelo te margarina (Wang, 2007). Važno je napomenuti da lecitin, osim što sadrži zwitterionske i anionske fosfolipide, ima različit sastav fosfolipidnih klasa u usporedbi sa sojinim lecitinom. Na primjer, sojin lecitin sadrži više od 19 % fosfatidilinozitola, dok je udio fosfatidilinozitola u lecitinu iz jajeta samo 0,6 %. Promjena pH vrijednosti može utjecati na neto naboj fosfolipida i stoga mijenjati njihovu učinkovitost u stvaranju stabilne emulzije. U prehrambenim primjenama, emulgator često zahtijeva dodatak drugih stabilizatora, pri čemu se ksantan guma često koristi kao zgušnjivač. Bitno je razumjeti kako ovi dodaci utječu na stabilnost emulzija stvorenih s lecitinom iz žumanjka jajeta (Wang, 2007). Žumanjci jaja i određene sjemenke uljarica poput soje i repice sadrže najveće količine lecitina. Udio lecitina u žumanjku jajeta trostruko je veći od udjela lecitina u soji. Međutim, s obzirom na visoke troškove pripreme lecitina iz žumanjka jajeta, soja je glavni izvor lecitina. Fosfolipidi iz žumanjka jajeta imaju uravnoteženiju

kompoziciju u usporedbi s fosfolipidima biljnog podrijetla te sadrže specifične masne kiseline koje nisu prisutne u fosfolipidima biljnog podrijetla (Zhao i sur., 2023) Tijekom posljednjih 20 godina, lizolecitin proizveden enzimskom hidrolizom sojinog lecitina koristi se kao dodatak hrani za piliće i druge životinjske vrste. Neka istraživanja izvješćuju o poboljšanju dobitka težine i omjera konverzije hrane, dok druga ne pokazuju iste rezultate. Povećanje prividne metabolizirajuće energije zbog dodatka lizolecitina pružilo je osnovu za upotrebu u smjesama smanjene gustoće hranjivih tvari. Kemijska svojstva lizofosfolipida kao surfaktanata bila su osnova za pretpostavku da lizolecitin poboljšava apsorpciju masti, djelomično djelujući kao emulgator masti i poboljšavajući njihovu biodostupnost (Brautigan i sur., 2017).

2.5.1. Komercijalni oblik lizolecitina - Lysoforte

Slično tim pretpostavkama i rezultatima, dizajniran je, istražuje se i koristi u svrhe dodatka u smjese kokoši nesilica lysoforte. Lysoforte je prehrambeni emulgator dizajniran kako bi poboljšao probavu i apsorpciju energetski bogatih sastojaka hrane, uključujući masti i ulja kod stoke, peradi i konja. Glavni aktivni sastojak u lysoforte-u je lizolecitin. Lizolecitin se proizvodi pomoću patentiranog enzimskog postupka u kojem se sojin lecitin pretvara u lizofosfolipide (LPL). LPL-ovi imaju povećanu hidrofilitnost i fluidnost, što poboljšava njihovu sposobnost održavanja stvaranja emulzija ulja u vodi. LPL-ovi u lysoforte-u imaju jedinstvena fizikalna i kemijska svojstva koja su primijećena da poboljšavaju apsorpciju hranjivih tvari i povećavaju učinkovitost hranidbe kod više vrsta (Kemin, 2023). Način djelovanja lysoforte-a je poboljšati probavu i apsorpciju energetski bogatih sastojaka hrane, uključujući masti i ulja. To pomaže maksimizirati učinkovitost hranjenja. Pri normalnim fiziološkim uvjetima, većina prehrambenih masnih kiselina nije topljiva u vodi. Da bi se apsorbirale, ove molekule se moraju agregirati kako bi se formirale micelle, a to je proces koji zahtijeva prirodne emulgatore, poput žučnih soli. U želucu, masne kiseline i žučne soli integriraju kako bi se formirale emulzije ulja u vodi. Lipazni enzimi zatim hidroliziraju emulziju kako bi oslobodili masne kiseline. Te masne kiseline se agregiraju zajedno kako bi formirale micelle, koje se apsorbiraju u crijevu (Kemin, 2023). LPL-ovi u lysoforte-u pomažu poboljšati svaki korak procesa probave masti. Prvo, LPL-ovi poboljšavaju stabilnost emulzija u želucu. Drugo, LPL-ovi smanjuju veličinu kapljica masti. Manje kapljice masti imaju veću površinu, što omogućava učinkovitiju hidrolizu masnih kiselina enzimima lipaze. Treće, LPL-ovi smanjuju kritičnu koncentraciju micela. To znači da se micelle formiraju brže i manje su, što čini intestinalnu apsorpciju učinkovitijom. Sveukupno, uključivanje lysoforte-a smanjuje potrebnu energiju za probavu masti (Kemin, 2023).

2.6. UTJECAJ DODATKA ULJA U SMJESE ZA HRANIDBU KOKOŠI NESILICA NA KVALITETU JAJA

Trenutačno, glavna ulja koja se koriste u hranidbi kokoši nesilica su biljna (sojino, repičino, palmino i laneno ulje) te životinjska ulja (svinjska mast, mast peradi, loj i riblje ulje). Trenutačno se biljna ulja koriste u većim količinama u proizvodnji jaja od životinjskih ulja zbog činjenice da biljna ulja sadrže više nezasićenih masnih kiselina u odnosu na životinjska koja sadrže više zasićenih masnih kiselina. Dodatak ulja u hranidbu kokoši nesilica postao je učinkovita metoda za modificiranje kvalitete jaje, fizikalno-kemijskih i funkcionalnih svojstava jaja te sastava masnih kiselina (Gao i sur., 2021). U Tablici 2. navedeni su učinci različitih životinjskih i biljnih ulja na kvalitetu jaja, proizvodne performanse i nutritivni sadržaj. Različite vrste prehrambenih ulja imaju utjecaj na proizvodne performanse i kvalitetu jaja kokoši nesilica putem regulacije metabolizma lipida, imunoloških funkcija i sastava crijevnog mikrobioma. Ovaj fenomen pruža teorijsku osnovu za kontrolu proizvodnih performansi i kvalitete jaja kokoši nesilica putem upotrebe ulja. Zbog varijacija u fizikalnim i kemijskim svojstvima, sastavu lipida, glavnim funkcionalnim tvarima, kvaliteti i količini dodanih različitih vrsta i izvora ulja, njihov utjecaj na zdravlje, proizvodne performanse i kvalitetu jaja kokoši nesilica također se razlikuje. Općenito, što se tiče pojedinačnih ulja, probava i apsorpcija biljnih ulja značajno su bolje od životinjskih ulja, ali uravnotežena i kombinirana upotreba različitih ulja pokazuje bolje rezultate u usporedbi s pojedinačnim vrstama ulja (Gao i sur., 2021).

Dodatak sojinog ulja u hranu poboljšava nutritivnu vrijednost jaja, ne utječući negativno na druge aspekte kvalitete jaja. Općenito, dodatak sojinog ulja hranidbi nesilica povećava razine α -linolenske masne kiseline, n-3 i n-6 PUFA (polinezasićenih masnih kiselina) u jajima. Također obogaćuje vrste n-3 masnih kiselina u žumanjku, poboljšava boju žumanjka, ali ne utječe negativno na težinu proteina, visinu proteina ili HU (Haugh jedinice). Osim toga, dodatak sojinog ulja hranidbi nema negativnih učinaka na debljinu ljuske jajeta, čvrstoću ljuske jajeta ili druge pokazatelje kvalitete ljuske jajeta, već posvjetljuje boju ljuske jajeta. Povećanje omjera n-3/n-6 PUFA rezultat je povećanja sadržaja n-3 PUFA uzrokovano prehrambenim nadopunjavanjem sojinim uljem (Gao i sur., 2021).

Tablica 2. Utjecaj dodatka različitih ulja na kvalitetu jaja, proizvodne performanse i nutritivni sadržaj (prema Gao i sur., 2021).

Dodatak ulja	Rezultati
Sojino ulje	Dodavanje povećava stopu proizvodnje jaja i stopu konverzije hrane; povećava količinu kalcija deponiranu u ljusci jaja i značajno smanjuje stopu slomljenih jaja ili mekane ljuske; poboljšava glikolipidni metabolizam te poboljšava antioksidacijsku sposobnost kokoši nesilica; poboljšava nutritivnu vrijednost jaja, smanjuje sadržaj kolesterola u jajima i smanjuje trombogeni i aterogeni indeks.
Repičino ulje	Dodatak 1–5 % repičinog ulja nema značajan utjecaj na proizvodne performanse. Dodatak 2–6 % repičinog ulja smanjuje proizvodnju jaja, a dodatak 5 % repičinog ulja značajno povećava težinu žumanjka jajeta i sadržaj DHA i n-3 masnih kiselina u žumanjku jajeta.
Laneno ulje	Dodatak 2–3 % lanenog ulja ne mijenja značajno proizvodne performanse; dodatak 5 % ili većih koncentracija lanenog ulja značajno smanjuje tjelesnu težinu i stopu proizvodnje jaja zbog visoke učinkovitosti taloženja n-3 PUFA.
Palmino ulje	S porastom razine dodanog palminog ulja (1–3 %), poboljšava se proizvodna učinkovitost kokoši nesilica, boja žumanjka značajno se poboljšava, a nutritivna vrijednost žumanjka i okus jajeta također se poboljšavaju. Dodatak ovog ulja također smanjuje razinu triglicerida u žumanjku jajeta i povećava sadržaj MUFA u žumanjku jajeta.
Ulje pamuka	Dodatak značajno smanjuje stopu proizvodnje jaja, prosječnu težinu jaja i omjer konverzije hrane kod kokoši nesilica, čini žumanjak tvrdim, uzrokuje čvršću ljusku te mijenja sastav proteina u granulama žumanjka i plazmi.
Ulje mikroalgi	Dodatak ne utječe negativno na proizvodne performanse i kvalitetu jaja, povećava omjer n-3/n-6 PUFA u žumanjku jajeta i optimizira sastav masnih kiselina u žumanjku jajeta.
Riblje ulje	Višak ribljeg ulja značajno smanjuje proizvodne performanse i kvalitetu jaja kod kokoši nesilica, te povećava taloženje EPA i DHA u žumanjku jajeta.
Svinjska mast	Višak svinjske masti smanjuje stopu proizvodnje jaja i potiče razvoj masne jetre, ali povećava žutu boju jajeta i sadržaj masnih kiselina u žumanjku jajeta.
Ulje jetre bakalara	Poticanjem apsorpcije kalcija, povećat će se udio nezasićenih masnih kiselina u žumanjku jajeta; ulje jetre bakalara loše kvalitete smanjiti će kvalitetu jaja, dodavanje previše ulja jetre bakalara učinit će da jaja imaju značajan riblji miris.
Oksidirano ulje	Dodavanje oksidiranog ulja smanjuje proizvodne performanse kokoši, narušava integritet globula žumanjka kuhanih jaja i čini životinje osjetljivijima na oksidativni stres.

Dodatak repičinog ulja u hranidbi kokoši nesilica u količini od 2 - 6 % pokazuje ograničen utjecaj na konvecionalne parametre kvalitete jaja, kao što su težina bjelanjka, težina žumanjka, visina bjelanjka i Haughove jedinice. Unos repičinog ulja može povećati udio lipida u žumanjku jajeta te podići udjele oleinske kiseline, α -linolenske kiseline, DHA i ukupnih n-3 PUFA u jajima. Ipak, značajne promjene nisu uočene u sadržaju kolesterola. Nadalje, razine nezasićenih masnih kiselina i malondialdehida u jajima kokoši koje su konzumirale hranidbu s niskim

udjelom erucične kiseline su više i niže, redom, u usporedbi s kokošima koje su konzumirale hranidbu s visokim udjelom erucične kiseline. Također, taloženje erucične kiseline u žumanjku jaja pokazuje snažnu povezanost s udjelom erucične kiseline u repičinom ulje sugerirajući da erucična kiselina doprinosi povećanju peroksidacije lipida u jajima (Gao i sur., 2021).

Dodatak lanenog ulja u količini od 2 do 3 % u hranidbu kokoši nesilica ne uzrokuje značajne promjene u kvaliteti jaja ili u kvaliteti ljuske jaja. Laneno ulje predstavlja jedan od najbogatijih izvora α -linolenske kiseline (ALA) i pokazuje visoku efikasnost u deponiranju polinezasićenih masnih kiselina (n-3 PUFA). Često se koristi u hranidbi kokoši nesilica kako bi se proizvela jaja s obogaćenim n-3 PUFA. Blagotvorni učinci n-3 masnih kiselina na zdravlje uglavnom proizlaze iz EPA i DHA. S obzirom na visok sadržaj ALA u lanenom ulju, EPA i DHA mogu se sintetizirati iz ALA i nakupljati u jajetu tijekom metabolizma. Dodatak lanenog ulja u hranidbu kokoši nesilica rezultira povećanjem sadržaja n-3 PUFA, uključujući oleinsku kiselinu, α -linolensku kiselinu, EPA i DHA. Također, taloženje mononezasićenih masnih kiselina (MUFA) opada s povećanjem razine lanenog ulja. Međutim, promjene u sadržaju kolesterola nisu dosljedno zabilježene u različitim istraživanjima (Gao i sur., 2021).

Utjecaj ulja na proizvodne performanse kokoši nesilica podložan je različitim čimbenicima, uključujući vrstu ili vrste ulja, razinu dodatka, pasminu i fiziološki status kokoši. Dodatak niske koncentracije ulja, u skladu sa standardima unosa hrane, ne uzrokuje značajne fluktuacije u proizvodnim performansama kokoši nesilica, dok dodatak visoke koncentracije ulja neizbježno ima veći utjecaj na proizvodne performanse i kvalitetu jaja. Visoki unos ulja povećava metaboličko opterećenje kokoši, rezultirajući povećanim nakupljanjem lipida u jetri i značajnim smanjenjem proizvodnih performansi kokoši nesilica. Trenutačno se životinjska i biljna ulja široko koriste kako bi se poboljšao sastav masnih kiselina jaja i kvaliteta jaja, s postizanjem pozitivnih proizvodnih rezultata. Prilikom dodavanja ulja u hranidbu kokoši nesilica, trebalo bi pažljivo razmotriti karakteristike ulja, uvjete hranjenja i razine dodataka kako bi se maksimizirali ekonomski benefiti proizvodnje. Nadalje, ravnoteža hranidbe s dodacima ulja iz različitih izvora pokazala je izvanredan potencijal za poboljšanje proizvodnih performansi kokoši nesilica i kvalitete jaja. Ključno je dodatno istraživanje mehanizma putem kojeg dijetalna ulja utječu na proizvodne performanse, kvalitetu jaja i zdravlje kokoši nesilica (Gao i sur., 2021).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

Za provedbu ovog eksperimenta korišteni su svježi uzorci kokošnjih jaja (Slika 1) preuzeti s Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu gdje se provodio *in vivo* pokus s nesilicama s ciljem ispitivanja utjecaja razine dodatka repičinog ulja i lysoforte-a na biodostupnost karotenoida zrna dva hibrida kukuruza (Bc572 i Os403). Smjese su bile sastavljene tako da su sadržavale tri razine repičinog ulja (2, 3 i 4 %) te sa i bez dodatka lysoforte-a u koncentraciji od 0,5 g/kg smjese. Proveli su se faktorijski $2 \times 3 \times 2$ pokusi s 12 tretmana (2 hibrida \times 3 razine dodatka repičinog ulja \times 2 razine dodatka lysoforte-a) (Tablica 3). Kokoši Lohmann Brown (216) bile su hranjene tijekom 8 tjedana, a jaja za analizu su prikupljena nakon proteklih 8 tjedana. Ova studija je usredotočena na istraživanje utjecaja razine repičinog ulja i prirodnog emulgatora u hranidbi kokoši na fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva jaja te na sastav masnih kiselina. Uzorci su bili pakirani u kartonskim kutijama te pohranjeni u hladnjaku na 4 °C prije analiza.



Slika 1. Uzorci jaja (vlastita fotografija)

Tablica 3. Prikaz uzoraka jaja

TRETMAN	HIBRID KUKURUZA	LYSOFORTE (g/kg)	REPIČINO ULJE (% ulja)
H1T1	Bc572	0	2
H1T2	Bc572	0	3
H1T3	Bc572	0	4
H1T4	Bc572	0,5	2
H1T5	Bc572	0,5	3
H1T6	Bc572	0,5	4
H2T1	Os403	0	2
H2T2	Os403	0	3
H2T3	Os403	0	4
H2T4	Os403	0,5	2
H2T5	Os403	0,5	3
H2T6	Os403	0,5	4

3.2. METODE RADA

3.2.1. Određivanje fizikalnih svojstava jaja

3.2.1.1. Određivanje težine jaja

Aparatura:

- Analitička vaga (ABT 220-4M, Kern & Sohn GmbH, Balingen, Njemačka)

Postupak rada:

Na analitičkoj vagi se izvagalo 9 jaja iz svake skupine uzoraka te je izračunata srednja vrijednost i standardna greška.

3.2.1.2. Određivanje boje ljuske jaja i žumanjka

Aparatura i pribor:

- Spektrofotometar (Konica Minolta CM-700d/600d, Osaka, Japan)

Princip metode:

Najčešće korištena metoda za kvantificiranje boje ljuske i žumanjka jajeta je spektrofotometrija

gdje se određuju L^* , a^* i b^* parametri boje. Parametar L^* je mjera svjetline iskazana vrijednostima od 0 do 100 (0 = crno; 100 = bijelo). Vrijednost parametra a^* je mjera crvenila iskazana vrijednostima od -60 do 60, a iskazuje spektar od crvene do zelene boje, pri čemu veća vrijednost a^* parametra karakterizira crveni spektar, dok manja vrijednost zeleni spektar. Vrijednost b^* parametra ukazuje na spektar nijansi između plave i žute boje, a njegova veća vrijednost označava izraženost žutog dijela spektra (Samiullah i sur., 2015).

Postupak rada:

Za mjerenje boje ljuske i žumanjka korišten je spektrofotometar pomoću čega su izmjerene L^* (svjetlina), a^* (crvenilo) i b^* (žutilo) vrijednosti (CIE 1976). Prosječna vrijednost za svaki parametar uzorka bila je srednja vrijednost 9 određivanja.

3.2.1.3. Određivanje pH vrijednosti

Aparatura i pribor:

- pH metar (Pye Model 292, Pye Unicam)
- Ultra-Turrax homogenizator (IKA- Werke GmbH & Co.KG, Staufen, Njemačka)

Postupak rada:

pH vrijednosti su određene prosječnom vrijednošću mjerenja svakog uzorka i njihovih paralela pri sobnoj temperaturi. Određivao se pH zasebno žumanjka i bjelanjka te cijelog jajeta koji su prethodno homogenizirani dvije minute Ultra-Turrax-om. pH-vrijednost je izmjerena pomoću digitalnog pH-metra uranjanjem elektrode u svaku Falcon epruvetu s uzorkom te se nakon 5 minuta držanja u njima očitala pH-vrijednost.

3.2.2. Određivanje funkcionalnih svojstava jaja

3.2.2.1. Određivanje reoloških svojstava

Aparatura i pribor:

- Rotacijski reometar (Model RM 180, Rheometric Scientific, Inc., Piscataway, SAD)
- Ultra-Turrax homogenizator (IKA- Werke GmbH & Co.KG, Staufen, Njemačka)

Princip metode:

Mjerenja su se vršila na rotacijskom reometru, digitalnom instrumentu koji se odlikuje

znanstveno utemeljenim principom mjerenja i širokim mjernim područjem napona smicanja, brzine smicanja i viskoznosti. Ovaj reometar sastoji se od dvije funkcionalne jedinice: mjernog sustava i mikrokontrolne jedinice. Dijelovi mjerne jedinice su cilindrično vreteno koje rotira konstantnom kutnom brzinom, a povezano je s cilindričnim perom pomoću vratila; vanjski nepomičan cilindar (vodeni plašt) koji je spojen s protočnom termostatskom kupelji, a izveden je kao spremnik dvostrukih stijenki u koji se stavlja mjerna posuda sa uzorkom i mjerna posuda u koju se stavlja uzorak određenog volumena. Mikrokontrolna jedinica omogućava trenutno očitavanje dinamičke viskoznosti, torzije, brzine smicanja i napona smicanja. Princip rada instrumenta zasniva se na mjerenju okretnog momenta na rotirajućem vretenu gdje se koristi relativno okretanje mjerne osovine u odnosu na pogonsku osovinu. Potencijometar uređaja, vezan s dinamometrom, prima podatke o relativnom okretanju, pri čemu je okretni moment pretvoren u električni signal, koji je prevođen u digitalnu vrijednost i očitavan na ekranu instrumenta (Režek Jambrak, 2008).

Postupak mjerenja:

Nakon što je mjerni sustav pravilno sastavljen i pričvršćen na reometar, a vodeni plašt (vanjski nepomičan cilindar) spojen s protočnom termostatskom kupelji, potrebno je da mjerna posuda s uzorkom bude učvršćena u vodeni plašt i vreteno uronjeno u otopinu do oznake na posudi te spojeno preko produžne spojke i matice i učvršćeno na reometar. Otprilike je 30 mL uzorka u paralelama (žumanjak, bjelanjak, cijelo jaje) stavljeno u Falcon epruvete te kao takvo je pripremljeno za određivanje viskoznosti na viskozimetru. Vrijednosti napona smicanja i prividne viskoznosti očitane su na ekranu instrumenta. Na osnovi izmjerenih podataka, brzine i napona smicanja, izračunati su i prikazani reološki parametri žumanjka, bjelanjka te cijelog jajeta s koeficijentom konzistencije (k) i indeksom tečenja (n) te prividnom viskoznošću kod maksimalne brzine okretaja (1290 1/s). Početna kutna brzina vrtnje vretena se mijenjala od uzorka do uzorka te se postepeno povećavala do maksimalne brzine od 1290 1/s, a potom smanjivala do početne izmjerene vrijednosti za svaki uzorak. Koeficijent konzistencije k (Pa s^n) jednak je antilogaritamskoj vrijednosti konstante linearne regresije vrijednosti smičnog naprezanja i brzine smicanja, a indeks tečenja odgovara koeficijentu linearne regresije.

Za izračunavanje reoloških parametara upotrijebljen je Ostwald-de Waele-ov zakon:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad [1]$$

gdje je:

t- napon smicanja (Pa),
k - koeficijent konzistencije (Pa s^n),
D - brzina smicanja (1/s),
n – indeks tečenja (Režek Jambrak, 2008).

3.2.2.2. Određivanje značajki pjenjenja

Od značajki pjenjenja, u ovom istraživanju određivalo se povećanje volumena pjene odnosno kapacitet pjene te stabilnost pjene.

Aparatura:

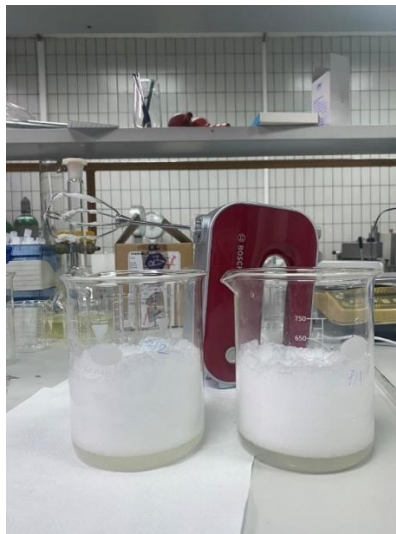
- Ručni mikser Bosch (500W)

Princip metode:

Povećanje volumena pjene određeno je metodom po Phillips i sur. (1987). Ova metoda se temelji na mjerenju promjena u visini pjene tijekom vremena te omogućuje procjenu kako brzo se pjena formira, koliko dugo ostaje stabilna te njezine druge fizikalne karakteristike.

Postupak rada:

Najprije je bilo potrebno napraviti 15 %-tnu otopinu bjelanjaka na način da se 30 mL bjelanjaka otopi u 200 mL destilirane vode. 100 mL pripremljene 15 %-tne otopine bjelanjaka se miješalo u čaši od 1000 mL mikserom pri najvećoj brzini kroz 2 minute te se očitalo povećanje volumena. Takvi umućeni uzorci (Slika 2) ostavljeni su stajati na sobnoj temperaturi 30 minuta nakon čega se izmjerio volumen pjene te volumen izdvojene tekućine.



Slika 2. Formiranje pjene od bjelanjaka (vlastita fotografija)

Račun:

Kapacitet pjenjenja izračunat je kao postotak povećanja volumena pomoću slijedeće jednadžbe:

$$\% \text{ povećanja} = ((V_2 - V_1) / V_1) \cdot 100 \quad [2]$$

gdje je:

V_2 – volumen pjene (mL)

V_1 – početan volumen uzorka (mL).

Stabilnost pjene određena je tako što se izmjerio volumen izdvojene tekućine nakon 30 minuta.

Izražena je formulom:

$$\% \text{ izdvojene tekućine} = V_d / V_0 \cdot 100 \quad [3]$$

gdje je:

V_d – volumen izdvojene tekućine (mL)

V_0 – početni volumen uzorka (mL).

3.2.2.3. Određivanje emulgirajućih svojstava

Od emulgirajućih svojstava, u ovom istraživanju određivao se kapacitet emulzije, stabilnost emulzije, mutnoća i indeks aktiviteta emulzije.

I) Kapacitet i stabilnost emulzije

Aparatura i pribor:

- Ultra-Turrax homogenizator (IKA- Werke GmbH & Co.KG, Staufen, Njemačka)

Reagensi:

- Suncokretovo ulje (Zvijezda d.d., Zagreb, Hrvatska)

Postupak rada:

Prema metodi Zhao i sur. (2007) određena su emulgirajuća svojstva pri sobnoj temperaturi.

Cijela jaja su prvo homogenizirana Ultra-Turrax-om. Nakon toga, pripremljena je 5 % - tna

otopina na način da 5 mL homogeniziranih jaja otopilo u 100 mL destilirane vode. 50 mL pripremljene otopine i 50 mL komercijalnog suncokretovog ulja homogenizirani su pomoću Ultraturaxa u čašama od 250 mL kroz 2 minute s ciljem dobivanja emulzije ulja u vodi. Po 30 mL dobivene emulzije (Slika 3) prebačene su u tri Falcon epruvete od 50 mL te ostavljene na temperaturi okoline kroz 90 minuta nakon čega je mjeran volumen emulzificirajućeg sloja. Zatim su Falcon epruvete s emulzijama stavljene u vodenu kupelj na 80 °C kroz 30 minuta. Nakon toga su ohlađene pod mlazom vode na 20 °C te je ponovno mjeran volumen emulzificirajućeg sloja.



Slika 3. Pripremljene emulzije (vlastita fotografija)

Račun:

Kapacitet emulzije (KE) je izračunat prema formuli:

$$\% \text{ KE} = (V_E / V_1) \cdot 100 \quad [4]$$

gdje je:

V_E – volumen emulzificirajućeg sloja (mL)

V_1 – početan volumen uzorka pasteriziranih jaja (mL).

Stabilnost emulzije (SE) je izračunata prema formuli:

$$\% \text{ SE} = (V_{E2} / V_{E1}) \cdot 100 \quad [5]$$

gdje je:

V_{E2} – volumen emulzificirajućeg sloja koji ostaje nakon zagrijavanja (mL)

V_{E1} – početan volumen emulzificirajućeg sloja (mL).

II) Određivanje mutnoće

Aparatura i pribor:

- Spektrofotometar (Helios-b, Pye Unicam Ltd, Cambridge, UK)
- Ultra-Turrax homogenizator (IKA- Werke GmbH & Co.KG, Staufen, Njemačka)

Reagensi:

- Suncokretovo ulje (Zvijezda d.d., Zagreb, Hrvatska)

Postupak rada:

Mutnoća emulzije određena je prema metodi Webb i sur. (2002). Određuje se mjerenjem apsorbancije emulzije na spektrofotometru. Na osnovu dobivene vrijednosti računa se vrijednost mutnoće. Potrebno je bilo pripremiti 3 %-tnu suspenziju na način da se 3 mL homogeniziranih jaja otopilo u 100 mL destilirane vode. Pripremljena suspenzija se pomiješala s komercijalnim suncokretovim uljem u omjeru 2:1 (20 mL 3% suspenzije jaja i 10 mL ulja) u plastičnim Falcon epruvetama. Nakon toga slijedilo je miješanje Ultra-Turraxom kroz 90 sekundi. Dobivenoj emulziji izmjerena je apsorbancija pri 500 nm u kiveti debljine 1 cm.

Račun:

Mutnoća se računa prema slijedećoj formuli:

$$T = 2,303 \cdot (A / I) \quad [6]$$

gdje je:

T – mutnoća

A – apsorbancija kod 500 nm

I – debljina kivete (m).

Indeks aktiviteta emulzije također je izračunat prema metodi Webb i sur. (2002) i računa se iz izraza:

$$IAE = 2 \cdot T \cdot (A \cdot r / C \cdot \Theta \cdot 1000) \quad (m^2/g) \quad [7]$$

gdje je:

IAE – indeks aktiviteta emulzije

Θ – volumni udio uljne faze (mL)

R – faktor razrjeđenja

C – masa proteina u jedinici volumena vodene faze prije pripreme emulzije (g).

Stabilnost emulzije određena je tako da se prethodno pripremljena emulzija drži kod 4 °C (u hladnjaku) 24 sata te se ponovno izmjeri apsorbancija na 500 nm te računa mutnoća prema gore već napisanoj formuli (Režek Jambrak, 2008).

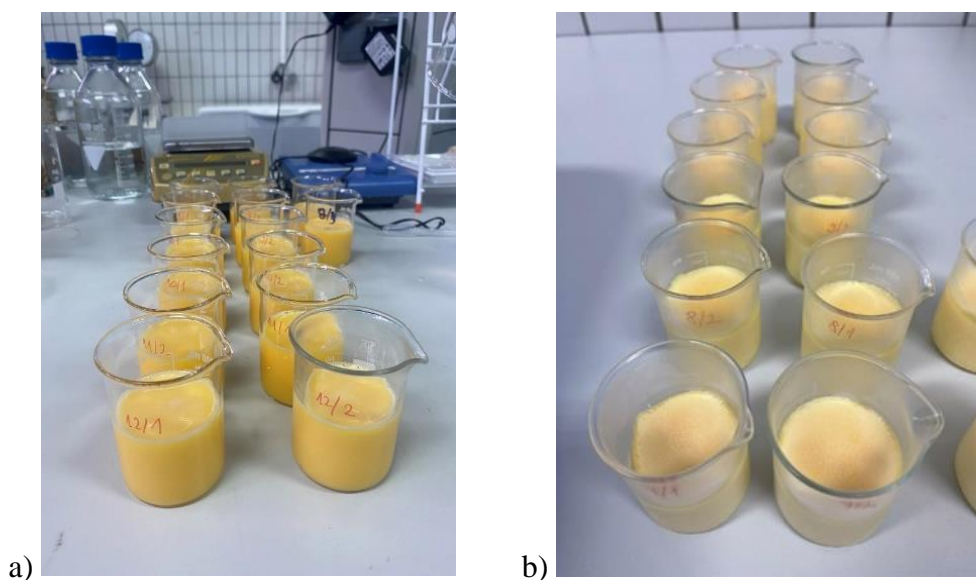
3.2.2.4. Određivanje teksturalnih svojstava

Aparatura i pribor:

- Teksturometar (TA1 Texture Analyzer, Ametek Lloyd Instruments Ltd., UK)
- Ultra-Turrax homogenizator (IKA- Werke GmbH & Co.KG, Staufen, Njemačka)

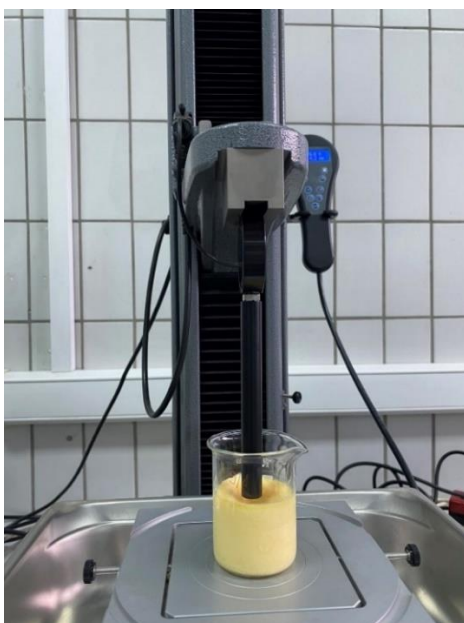
Postupak rada:

Teksturalna svojstva određuju se na način da se homogenizirani uzorci jaja (60 ml) prebace u čaše od 100 mL (Slika 4a) te zagrijavaju na 80 °C u vremenu od 15 min u vodenoj kupelji s tresilicom. Nakon formiranja gela (Slika 4b) uzorci su brzo ohlađeni na sobnu temperaturu uranjanjem u ledenu vodu te su do daljnjih analiza čuvani pri 4 °C. Tekstura formiranih gelova mjerila se nakon 24 sata.



Slika 4. a) Pripremljeni homogenizirani uzorci jaja prije zagrijavanja u vodenoj kupelji; b) uzorci poslije zagrijavanja u vodenoj kupelji (vlastite fotografije)

Određivanje čvrstoće gela provedeno je pomoću TA1 teksturometra (Ametek, Lloyd) (Slika 5). Rad ovog uređaja se bazira na penetriranju uzorka putem sonde. Sonda tada određenom brzinom i do određene dubine penetrira u uzorak te se naposljetku vraća u početni položaj. Ovakav ciklus se ponavlja još jednom, a podatke koje uređaj prikuplja tijekom testiranja (primijenjena sila, dubina, vrijeme) sam uređaj prikazuje u obliku grafa te ga putem računalnog programa obrađuje (Vrdoljak, 2016). Uzorci su testirani u paralelama. Brzina testiranja iznosila je 1 mm/s, udaljenost prodiranja 15 mm, brzina povlačenja 10 mm/s te povlačenje na X mm iznad površine -3 cm.



Slika 5. Određivanje teksture uzorka pomoću teksturometra (vlastita fotografija)

3.2.3. Određivanje masti i sastava masnih kiselina

3.2.3.1. Izolacija i određivanje udjela masti po Smedesu

Aparatura i laboratorijski pribor:

- Analitička vaga (ABT 220-4M, Kern & Sohn GmbH, Balingen, Njemačka)
- Ultra-Turrax (IKA- Werke GmbH & Co.KG, Staufen, Njemačka)
- Centrifuga (ROTINA 380 R, Andreas Hettich GmbH & Co.KG, Tuttlingen, Njemačka)
- Rotavapor (B-490, BÜCHI, Flawil, Švicarska)
- Sušionik (ST-01/02, Instrumentaria Zagreb, Hrvatska)
- Tikvica s okruglim dnom
- Pipete

Reagensi:

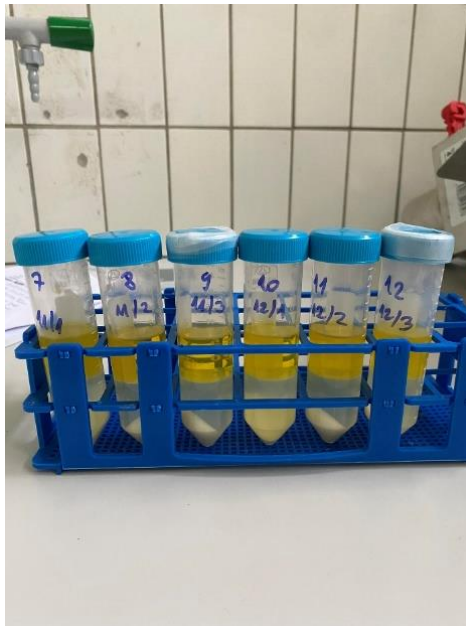
- Deionizirana voda
- Propan-2-ol: ACS grade (Carlo Erba Reagents, Rodano, Italija)
- Cikloheksan: ACS grade (Fisher Chemical, Hampton, USA)
- Otopina A: propan-2-ol – cikloheksan (w/w), 16-20 (16 g propan-2-ol + 20 g cikloheksan)
- Otopina B: 13 % (w/w) propan-2-ol u cikloheksanu (13 g propan-2-ol + 87 g cikloheksan)

Princip metode:

Masti se ekstrahiraju pomoću organskih otapala, cikloheksana i propan-2-ola. Dodatkom vode prelaze u nepolarnu organsku fazu tj. cikloheksanski sloj, nakon čega slijedi centrifugiranje kojim se postiže odvajanje faza. Masti se određuju gravimetrijski nakon odvajanja iz cikloheksanskog sloja i otparavanja.

Postupak rada:

Izvaže se 1 g pripremljenog uzorka u Falcon epruvetu od 50 mL te doda 18 mL otopine A. Uzorak se homogenizira na Ultra-Turraxu 2 min pri broju okretaja od 11000 do 13000 rpm, doda mu se 10 ml vode te se ponovno homogenizira 1 min na istom broju okretaja. Centrifugiranjem tako pripremljenog uzorka 5 min na 2000 rpm dolazi do odvajanja faza (Slika 6a). Gornja organska faza se kvantitativno odvoji pipetom u prethodno osušenu i izvaganu tikvicu s okruglim dnom (Slika 6b). Preostaloj vodenoj fazi u epruveti doda se 10 mL otopine B te homogenizira pomoću Ultra-Turraxa 1 min na istom broju okretaja. Odvajanje faza se ponovno vrši centrifugiranjem pri istim uvjetima, a organska faza se izdvoji u tikvicu s okruglim dnom koja sadrži prvi ekstrakt. Iz tikvice se otpari otapalo pomoću rotavapora (Slika 7) na temperaturi 51 °C i tlaku 235 mbar te slijedi sušenje u sušioniku 1 h na temperaturi 105 °C. Nakon hlađenja tikvica se važe i preračunava se udio ekstrahirane masti. Uzorci su testirani u paralelama.



a)



b)

Slika 6. a) Odvajanje faza nakon centrifugiranja u Falcon epruvatama; b) Odvojena organska faza u tikvicama (vlastite fotografije)



Slika 7. Otparivanje otapala pomoću rotavapora (vlastita fotografija)

Račun:

Količina masti računa se prema formuli:

$$\text{Količina masti} = \frac{a \cdot 100}{b} [\%]$$

[8]

gdje je:

a – masa ekstrahirane masti (g)

b – masa ispitivanog uzorka (g)

3.2.3.2. Određivanje sastava masnih kiselina plinskom kromatografijom

Aparatura i pribor:

- Plinski kromatograf - Agilent Technologies 6890N Network GC System (Santa Clara, SAD)

Princip i postupak metode:

Za određivanje sastava masnih kiselina u uzorcima masti plinskom kromatografijom potrebno je prevesti masne kiseline u njihove metilne estere. Metilni esteri pripremljeni su transesterifikacijom prema standardnoj ISO 5509:2000 metodi. Za pripremu metilnih estera odvaže se 60 mg uzorka masti i otopi u 4 mL izooktana u epruveti volumena oko 10 mL sa staklenim čepom. Zatim se u epruvetu doda 200 μ L metanolne otopine KOH ($c = 2$ mol/L) i snažno protrese oko 30 sekundi. Ostavi se na sobnoj temperaturi da reagira. Nakon što se reakcijska smjesa izbistri i odvoji se glicerolni sloj na dnu epruvete, u nju se doda 1 g natrijeva hidrogensulfata monohidrata kako bi se smjesa neutralizirala. Bistra otopina se prebaci u vijalicu.

Analiza metilnih estera masnih kiselina provodi se plinskom kromatografijom. Metilni esteri masnih kiselina analizirani su metodom ISO 5508:1990. Pripremljen uzorak analizira na plinskom kromatografu Agilent Technologies 6890N Network GC System (Santa Clara, SAD) opremljenom sa plamenoionizacijskim detektorom (FID) koji je preko kanala spojen na računalo. U kompjuterskom sustavu zadani su uvjeti analize koji su postavljeni nakon provedenih preliminarnih ispitivanja po kojima su odabrani optimalni uvjeti (temperatura kolone, detektora, injektora te protok plina i količina injektiranog uzorka). Korištena je kapilarna kolona DB-23 (Agilent) duljine 60 m, unutarnjeg promjera 0,25 mm te debljine filma 0,25 μ m. Kao stacionarna faza koristio se cijanopropil-silikon. Temperaturni program kolone bio je: početna temperatura 60 °C, brzina porasta temperature 7°C/min do konačne temperature od 220 °C koja je zadržana na 17 min. Plin nosioc bio je helij uz protok od 1,5 mL/min. Temperatura detektora iznosila je 280 °C. Količina injektiranog uzorka iznosila je 1 μ L. Identifikacija pojedinih masnih kiselina provedena je usporedbom vremena zadržavanja metilnih estera pojedine masne kiseline s vremenima zadržavanja metilnih estera standardne smjese 37 masnih kiselina (F.A.M.E. C4 - C24, Supelco) poznatog sastava (Kuzmić, 2018).

3.2.4. Obrada podataka

Za obradu podataka korišten je računalni program SPSS 12.0 (IBM, USA). Statistički izračun rezultata određen je jednosmjernom analizom varijance (one-way ANOVA test) uz razinu značajnosti 5 % ($p < 0,05$). Analiza općeg linearnog modela koristila se za procjenu učinaka hibrida kukuruza (H), repičinog ulja (R) i lysoforte-a (L) kao fiksnih čimbenika, uključujući i interakcije hibrida i repičinog ulja (H x R), hibrida i lysoforte-a (H x L), repičinog ulja i lysoforte-a (R x L) i hibrida, repičinog ulja i lysoforte-a (H x R x L) na proučavane parametre.

4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom radu ispitivan je utjecaj dva hibrida kukuruza (Bc572 i Os403), dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora lysoforte-a u smjesama za hranidbu kokoši nesilica na fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva jaja kokoši nesilica te na udio masti i sastav masnih kiselina. Smjese su bile sastavljene tako da su sadržavale jednu vrstu hibrida kukuruza, jednu od tri razine repičinog ulja (2, 3 i 4 %) te sa i bez dodatka lysoforte-a u koncentraciji od 0,5 g/kg smjese. Analiza je provedena na 12 skupina uzoraka (2 hibrida \times 3 razine dodatka repičinog ulja \times 2 razine dodatka lysoforta). Određivana je težina jaja, bolja ljuske i žumanjka, pH vrijednost jaja, reološka svojstva, značajke pjenjenja, emulgirajuća svojstva, teksturalna svojstva te udio masti i sastav masnih kiselina. Na temelju dobivenih rezultata izračunata je p-vrijednost koja pokazuje postoje li statistički značajne razlike između dobivenih rezultata pod utjecajem hibrida kukuruza (H), repičinog ulja (R) i lysoforte-a (L) te njihovih interakcija: H \times R, H \times L, R \times L i H \times R \times L. Rezultati su prikazani kao srednje vrijednosti \pm standardna pogreška.

4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA TEŽINE JAJA

Faktori koji utječu na težinu jajeta uključuju genetiku, zdravstveno stanje i hranidbu kokoši. Kokoši koje su genetski identične proizvode jaja različitih težina ovisno o načinu upravljanja. Postoji pozitivna povezanost između težine kokoši i rezultirajuće težine jajeta. Osim toga, unos linolne masne kiseline, aminokiselina koje sadrže sumpor, kontrolirana hranidba i programi osvjetljenja također mogu pozitivno utjecati na težinu jajeta. Svi ovi čimbenici, zajedno s genetikom kokoši, igraju važnu ulogu i u određivanju postotka žumanjka u jajima (Schwägele, 2011).

U Tablici 4. prikazani su rezultati određivanja težine jaja. Težina ispitivanih jaja kretala se između $61,23 \pm 1,25$ g (H2T3) i $69,65 \pm 3,72$ g (H2T1). Prema Pravilniku o kakvoći jaja (2006) na temelju njihove težine pripadaju u M i L razred veličine. Vrsta hibrida, različite razine repičinog ulja te dodatak lysoforte-a nisu imali statistički značajan utjecaj ($p > 0,05$) na težinu jaja. Jedino je interakcija različitog hibrida i dodatka repičinog ulja pokazala statističku značajnu razliku ($p = 0,002$) te su tako jaja hibrida Os403 s 4 % repičinog ulja imala najmanju masu dok su uzorci jaja hibrida Os403 s 2 % ulja imala najveću masu.

Tablica 4. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na težinu jaja te boju ljuske i žumanjka

Tretman	Masa (g)	Boja ljuske			Boja žumanjka		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
H1T1	61,48±0,93	55,21±1,01	20,00±0,45 ^b	28,96±0,56	47,31±0,89	3,32±0,32 ^a	26,29±1,32 ^a
H1T2	64,93±1,37	54,50±1,01	19,94±0,53 ^b	28,72±0,39	47,75±0,45	3,05±0,27 ^a	26,38±0,53 ^a
H1T3	64,87±1,05	52,61±1,85	19,07±0,43 ^b	28,47±0,51	48,91±0,55	3,34±0,15 ^a	26,35±1,04 ^a
H1T4	62,38±1,80	54,63±0,91	19,98±0,55 ^b	29,15±0,95	49,07±0,86	3,27±0,35 ^a	26,57±0,86 ^a
H1T5	64,00±1,46	53,25±1,05	20,01±0,48 ^b	28,52±0,90	48,03±0,59	3,18±0,21 ^a	25,83±0,81 ^a
H1T6	66,63±1,12	55,91±0,63	19,60±0,36 ^b	29,69±0,31	47,50±0,32	3,32±0,19 ^a	25,00±0,62 ^a
H2T1	69,65±3,72	56,61±1,45	20,54±0,49 ^a	30,22±0,33	47,84±0,70	1,92±0,33 ^b	24,52±0,98 ^b
H2T2	63,56±0,90	53,74±0,88	21,09±0,38 ^a	29,78±0,31	46,86±0,53	2,25±0,15 ^b	24,73±0,85 ^b
H2T3	61,23±1,25	52,27±1,06	20,34±0,43 ^a	29,24±0,38	47,79±0,51	2,32±0,15 ^b	25,82±0,75 ^b
H2T4	63,38±1,84	52,98±0,84	20,66±0,42 ^a	29,59±0,53	48,73±0,72	2,45±0,16 ^b	26,59±0,83 ^b
H2T5	64,11±1,58	52,41±2,96	19,10±0,51 ^a	29,01±0,74	47,86±0,65	1,75±0,25 ^b	24,99±0,66 ^b
H2T6	62,52±1,13	53,54±0,60	20,88±0,32 ^a	29,49±0,33	46,76±0,80	2,45±0,21 ^b	23,64±0,70 ^b
H	0,977	0,330	0,012	0,053	0,231	<0,001	0,041
R	0,935	0,276	0,566	0,501	0,376	0,201	0,416
L	0,643	0,633	0,625	0,976	0,511	0,804	0,620
H×R	0,002	0,812	0,194	0,748	0,536	0,854	0,947
H×L	0,292	0,270	0,227	0,231	0,915	0,918	0,549
R×L	0,210	0,053	0,063	0,275	0,020	0,468	0,056
H×R×L	0,167	0,728	0,156	0,967	0,665	0,197	0,548

*Različita slova a i b u istom stupcu predstavljaju statistički značajnu razliku ($p \leq 0,05$).

**Podebljane vrijednosti su statistički značajne ($p \leq 0,05$).

***H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

Rezultati ovog istraživanja u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Ceylan i sur. (2011) gdje također nije bilo značajnih promjena u težini jaja nakon dodatka 1,5 i 3,0 % repičinog ulja. Slično tome, težina jaja nije bila značajno različita između skupina s 3 i 5 %

repičinog ulja (Rowghani i sur.,2007). Nadalje, Kralik i sur. (2007) u svom istraživanju o utjecaju različitih ulja u hranidbi nesilica na kakvoću jaja također nisu utvrdili statistički značajne razlike ($p > 0,05$) u masi svježih i 14 dana čuvanih jaja. Ipak, najveću masu svježih jaja imala je skupina s dodatkom 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % repičinog ulja u odnosu na kontrolnu skupinu s 5 % sojinog ulja te skupinu s dodatkom 3,5 % ribljeg ulja i 1,5 % repičinog ulja. Nakon 14 dana čuvanja jaja, rezultati nisu pokazali statistički značajnu razliku.

S druge strane, u istraživanju koje su proveli Yuan i sur. (2019) zaključeno je da dodatak 4 % repičinog ulja u odnosu na dodatak 2 % rezultira smanjenom težinom jaja. Ovi rezultati su u skladu s prethodnim studijama koje su također pokazale smanjenje težine jaja nakon dodavanja repičinog ulja u hranidbu kokoši nesilica (Nobakht i sur., 2011; Cherian 2008; Mazalli i sur., 2004). Istraživanje Gul i sur. (2012) o dodatku različitih razina repičinog ulja (0, 2, 4 i 6 %) na performanse kokoši nesilica pokazalo je smanjenje težine jaja s povećanim razinama repičinog ulja ($p < 0,05$). Ovo se također može objasniti činjenicom da nedostatak linolne kiseline u hranidbi, koje nema u velikom udjelu u repičinom ulju, može biti ograničavajući faktor koji doprinosi smanjenju težine jaja (Yuan i sur., 2019). Hu i sur. (2022) su u svom istraživanju utvrdili kako dodatak emulgatora lecitina nije pokazao statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u težini jajeta, što je u skladu s ovim istraživanjem. Međutim, u istraživanju Han i sur. (2010) dodavanje lizolecitina u hranidbu kokoši nesilica utjecalo je na povećanje težine jaja ($p < 0,01$) te je težina jajeta iznosila oko 55 g (Han i sur., 2010).

4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE LJUSKE JAJA I BOJE ŽUMANJKA

Boja ljuske kokošnjih jaja je različita. Dva tipa pigmenata određuju boju ljuske jajeta: protoporfirin IX, prethodnik hemoglobina, koji se taloži na površini te rezultira smeđom bojom i biliverdin IX, dobiven iz žuči koji daje plavo-zelenu pigmentaciju (Eleroğlu, 2016). Brojna istraživanja su pokazala da se protoporfirin IX, koji ima značajan utjecaj na boju jaja, sintetizira u žlijezdi ljuske jajeta unutar jajovoda položenih kokoši i uglavnom se taloži u kalcijevom sloju smeđe ljuske jajeta kao nefluorescentni poliagregati. Glavni čimbenici koji utječu na boju ljuske jajeta su pigmenti, genetika, hranidba, starenje, stres, bolest i okolišni uvjeti (Lu i sur., 2021). Genetske karakteristike naslijeđene od pijetla i kokoši određuju vrstu i intenzitet pigmenata, što dovodi do različitih boja ljuske jajeta među različitim pasminama. Nadalje, nedostatak nekih nutrijenata može utjecati na razvoj ljuske jajeta, dok primjena određenih lijekova poput nikarbazina može rezultirati blijedim jajima (Braak, 2023).

Iz Tablice 4. vidi se da hibrid kukuruza, repičino ulje i dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) na L^* i b^* vrijednosti boje ljuske, dok je jedino vrsta hibrida imala statistički značajnog utjecaja na a^* vrijednost ($p = 0,012$) pa su tako jaja kokoši hranjene hibridom Os403 imale veće a^* vrijednosti u odnosu na jaja kokoši hranjenje hibridom Bc572. Za boju ljuske L^* vrijednosti iznosile su između 52,27 - 56,61, vrijednosti a^* između 19,07 - 21,09, a vrijednosti b^* između 28,47 - 30,22.

U istraživanju Yuan i sur. (2019) o utjecaju različitih izvora i razina repičinog ulja na kvalitetu jaja kokoši nesilica L^* vrijednosti su iznosile oko 75, dok su a^* vrijednosti iznosile oko 4 te b^* vrijednosti oko 14. Dodatak repičinog ulja pokazao je statistički značajnu razliku ($p = 0,04$) u parametru b^* pa je tako dodatak 4 % repičinog ulja pokazao veće vrijednosti u usporedbi s dodatkom 2 % nakon 4 tjedna čuvanja što je suprotno rezultatima ovog istraživanja gdje različita razina repičinog ulja nije pokazala statistički značajnu razliku na b^* vrijednost ($p > 0,05$). Eleroğlu i sur. (2016) u svom istraživanju navode podatke kako jaja s tamnijom ljuskom pokazuju veće a^* i b^* vrijednosti te manje L^* vrijednosti u odnosu na jaja sa svjetlijom ljuskom.

Na boju žumanjka utječu mnogi čimbenici kao što su uzgoj, genetski čimbenici, zdravlje te fiziologija kokoši te prehrambeni čimbenici poput sadržaja masti, antioksidansa, kalcija, vitamina A i pigmenata u hrani. Kokoši nesilice nisu u stanju sintetizirati pigmente boje, ali imaju sposobnost transporta oko 20 – 60 % pigmenata u žumanjak iz pojedene hrane. Boja žumanjka rezultat je kombinacije žutih i crvenih karotenoida. Glavni karotenoidi koji doprinose pigmentaciji žumanjka jajeta su lutein i zeaksantin. Udio prehrambenog unosa karotenoida koji se apsorbiraju i talože u žumanjku jajeta, određuje njegovu boju koja varira od blijedožute do tamno narančaste. Boja žumanjka ovisi i o sustavu držanja kokoši nesilica. Rezultati različitih studija pokazali su da je žumanjak jaja iz organskog uzgoja manje intenzivno obojen nego od žumanjka iz uzgoja u kavezima (Bertoncelj i sur., 2019). Boja žumanjka osim što se povezuje se količinom i vrstom karotenoida u hranidbi, ovisi i o antioksidacijskoj aktivnosti pigmenata, kao što su karoteni i ksantofili. Važno je naglasiti da boja žumanjka također ovisi o karakteristikama pojedine kokoši i pasmini. S godinama, boja žumanjka postaje svjetlija (Milovanović i sur., 2021).

Za boju žumanjka vrijednosti L^* iznosile su između 46,76 - 49,07, vrijednosti a^* između 1,75 - 3,34, a vrijednosti b^* između 23,64 - 26,59. Hibrid kukuruza pokazao je statistički značajnu

razliku ($p < 0,05$) u a^* i b^* vrijednostima žumanjka pa su tako uzorci jaja s hibridom Bc572 pokazali veće a^* i b^* vrijednosti u odnosu na jaja s hibridom Os403. Repičino ulje i dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) na L^* , a^* i b^* vrijednosti. Interakcija repičinog ulja i lysoforte-a pokazala je statističku značajnu razliku u L^* vrijednosti žumanjka ($p = 0,020$) te su više L^* vrijednosti zabilježene kod uzoraka s dodatkom lysoforte-a i repičinog ulja.

Slično rezultatima ovog istraživanja gdje dodatak ulja nije imao utjecaja na boju žumanjka, Kralik i sur. (2007) navode kako dodatak ribljeg i repičinog ulja isto nije utjecao na boju žumanjka. S druge strane, Shang i sur. (2004) navode kako povećanje udjela ulja (repičino, riblje, suncokretovo ili laneno) s 1,5 % na 3,0 % u hrani za nesilice ima statistički značajnog utjecaja ($p < 0,05$) na boju žumanjka, koja je slabijeg intenziteta kod skupina nesilica koje su u hrani dobivale veći udio ulja. Slično tome, Yuan i sur. (2019) navode kako se s povećanjem razine dodatka repičinog ulja boja žumanjka smanjila na Rocheovoj skali boja ($p < 0,01$). Također, Gul i sur. (2012) navode kako je suplementacija s repičinim uljem u koncentracijama od 2, 4 i 6 % smanjila žutu boju u jajima prema Rocheovoj skali boja. Han i sur. (2010) navode kako u njihovom istraživanju suplementacija emulgatorom lizolecitinom nije imala statistički značajnog utjecaja na boju žumanjka. Ti rezultati se podudaraju s rezultatima ovog istraživanja gdje također dodatak emulgatora, konkretno lysoforte-a, nije imao utjecaja na boju žumanjka.

4.3. REZULTATI ODREĐIVANJA pH VRIJEDNOSTI JAJA

Određivanje unutarnje kvalitete jaja uključuje analizu pH vrijednosti bjelanjka i žumanjka, što predstavlja ključno fizikalno-kemijsko svojstvo. Glavna razlika između svježih i uskladištenih jaja manifestira se kroz promjene u pH vrijednosti i kvaliteti bjelanjka. Iako cijelo jaje kao namirnica ima relativno neutralan pH, bjelanjak jajeta se ističe kao jedan od rijetkih prehrambenih proizvoda koji prirodno posjeduje alkalna svojstva (Vendl, 2020). Svježe tekuće cijelo jaje ima pH vrijednost od otprilike 7,46 (Monfort i sur., 2012), dok bjelanjak svježeg jajeta ima visoku pH vrijednost između 8,2 - 9. Tijekom skladištenja pH se mijenja te doseže maksimalnu vrijednost od otprilike 9,7 zbog gubitka ugljičnog dioksida (Kwan i Yiu, 2002).

pH vrijednost bjelanjka nije podložna utjecaju starosti nesilica ili pasmine, što ga čini pouzdanim pokazateljem svježine jaja, međutim do povećanja pH vrijednosti bjelanjka dolazi već nakon dva dana skladištenja, neovisno o temperaturi (Jin i sur., 2011). Alkalnost bjelanjka

pokazuje se kao najosjetljiviji indikator promjena u jajetu tijekom vremena skladištenja. Osim temperature i razdoblja skladištenja, pH bjelanjka također je pod utjecajem plinovitog okoliša skladišnog prostora i propusnosti ljuske jajeta. Povećanje pH bjelanjka povezano je s gubitkom CO₂ iz jaja, a prolazak CO₂ kroz ljusku dovodi do narušavanja kemijske ravnoteže između plinova i otopljenih tvari, što rezultira promjenom koncentracije vodikovih iona (Vendl, 2020).

pH vrijednost žumanjka svježih jaja iznosi oko 6,0, ali tijekom skladištenja obično varira unutar raspona od 6,4 - 6,9 (Kwan i Yiu, 2002). Promjene u pH vrijednostima žumanjka su rezultat utjecaja vremena skladištenja i temperature. Povećanje pH vrijednosti žumanjka pripisuje se gubitku CO₂ iz jaja difuzijom. Iako su pH vrijednosti korisne za procjenu kvalitete jaja nakon skladištenja, važno je napomenuti da pH vrijednosti nisu povezane s razlikama u kvaliteti svježih jaja (Vendl, 2020).

U Tablici 5. se vidi kako vrsta hibrida kukuruza, različite razine repičinog ulja te dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u pH vrijednostima bjelanjka, žumanjka i cijelog jajeta. Jedino je interakcija repičinog ulja i lysoforte-a pokazala statistički značajnu razliku u vrijednostima pH cijelog jajeta ($p = 0,004$) pa su tako uzorci jaja s dodatkom lysoforte-a i repičinog ulja imali veće pH vrijednosti od jaja bez dodatka lysoforte-a. pH bjelanjka kretao se oko 8,00, pH žumanjka oko 5,85 te pH cijelog jajeta oko 6,90.

U istraživanju Dong i sur. (2017) pH bjelanjka kretao se između 8,08 i 10,11, dok je pH cijelog jajeta iznosio između 7,06 i 8,76. U istraživanju Atilgan i Unluturk (2008) rezultati pH vrijednosti na sobnoj temperaturi (25 °C) za bjelanjak iznosili su 9,14, za žumanjak 6,13, a za cijelo jaje 7,96. U navedena dva istraživanja korištena su tekuća cijela jaja, tekući bjelanjak i žumanjak bez dodanih ulja ili nekih drugih sastojaka. U usporedbi s tim, rezultati ovog istraživanja pokazuju niže pH vrijednosti s dodatkom repičinog ulja i emulgatora.

Vlaicu i sur. (2021) proveli su istraživanje o utjecaju dodatka različitih ulja u hranidbu kokoši nesilica na sastav jaja. U usporedbi s ovim istraživanjem gdje nije bilo statistički značajnog utjecaja dodatkom ulja na pH vrijednosti ($p > 0,05$), u spomenutom istraživanju utvrđene su statistički značajne razlike ($p \leq 0,05$). pH vrijednost bjelanjka jajeta bila je značajno niža u skupini s dodatkom 9 % lanenog ulja i 3 % ulja krkavine u odnosu na kontrolnu skupinu, dok je pH vrijednost žumanjka bila značajno niža u skupinama s 9 % lanenog ulja i 3 % ulja krkavine te 9 % repičinog ulja i 3 % ulja sjemenki grožđa u usporedbi s kontrolnom skupinom. Autori se

izjašnjavaju kako su niže pH vrijednosti u bjelanjku i žumanjku željeni učinak, što znači da su prirodni antioksidansi iz ulja koja su dodana u hranidbu djelovali protiv produkata oksidacije lipida u jajima. pH bjelanjka s dodanim uljima iznosio je oko 8,7, dok je pH žumanjka s dodanim uljima iznosio oko 6,20.

Tablica 5. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na pH bjelanjka, žumanjka i cijelog jajeta

Tretman	pH bjelanjak	pH žumanjak	pH cijelo jaje
H1T1	8,06±0,00	5,90±0,01	6,89±0,03
H1T2	8,01±0,00	5,85±0,00	6,89±0,00
H1T3	8,02±0,01	5,83±0,00	6,92±0,00
H1T4	8,04±0,00	5,82±0,00	6,92±0,00
H1T5	7,92±0,05	5,89±0,01	6,92±0,01
H1T6	7,98±0,03	5,85±0,00	6,86±0,02
H2T1	8,03±0,01	5,94±0,11	6,85±0,05
H2T2	8,07±0,00	5,89±0,00	6,95±0,00
H2T3	8,02±0,01	5,93±0,00	6,92±0,00
H2T4	8,08±0,00	5,83±0,00	6,96±0,00
H2T5	8,09±0,00	5,89±0,01	6,96±0,00
H2T6	8,03±0,00	5,86±0,01	6,90±0,00
Hibrid (H)	<i>0,152</i>	<i>0,143</i>	<i>0,060</i>
Repičino ulje (R)	<i>0,788</i>	<i>0,895</i>	<i>0,088</i>
Dodatak lysoforte (L)	<i>0,209</i>	<i>0,109</i>	<i>0,127</i>
H×R	<i>0,689</i>	<i>0,769</i>	<i>0,236</i>
H×L	<i>0,128</i>	<i>0,139</i>	<i>0,124</i>
R×L	<i>0,069</i>	<i>0,058</i>	<i>0,004</i>
H×R×L	<i>0,877</i>	<i>0,788</i>	<i>0,173</i>

*Podebljane vrijednosti su statistički značajne ($p \leq 0,05$).

**H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte, T-tretman; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

Nadalje, Kralik i sur. (2007) su u svom istraživanju utvrdili statistički značajno ($p < 0,05$) veće razlike u vrijednosti pH svježeg bjelanjka kod skupina s dodatkom 3,5 % ribljeg ulja i 1,5 % repičinog ulja i kontrolnih skupina sa sojinim uljem u odnosu na skupinu s dodatkom 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % repičinog ulja. Najmanje promjene u vrijednostima pH bjelanjka u razdoblju od 14 dana čuvanja zabilježene su u kontrolnoj skupini. Suprotno rezultatima svježih jaja, statistički značajno veće vrijednosti pH 14 dana čuvanih bjelanjaka imala je skupina s 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % repičinog ulja u odnosu na ostale skupine ($p < 0,05$). Autori su zaključili kako dodatak različitih ulja u količini već od 5 % u hranu za nesilice utječe na pH bjelanjka.

Suprotno rezultatima ovog istraživanja gdje dodatak lysoforte-a nije imao statistički značajnog utjecaja na pH vrijednost bjelanjka ($p > 0,05$), Klementavičiūtė i sur. (2016) su u svom istraživanju o utjecaju srednjelančanih masnih kiselina i emulgatora na kvalitetu parametara jaja kokoši nesilica utvrdili kako je pH vrijednost bjelanjka bila značajno niža ($p < 0,05$) u grupi s dodatkom 1 kg/t srednjelančanih masnih kiselina i 0,5 kg/t emulgatora lipidola u usporedbi s kontrolnom grupom.

4.4. REZULTATI ODREĐIVANJA REOLOŠKIH SVOJSTAVA

Reološka svojstva ispitivanih uzoraka bjelanjka, žumanjka i cijelog jajeta izražena su koeficijentom konzistencije i indeksom tečenja te su adekvatno opisana Ostwald de Waele-ovim zakonom budući da je koeficijent regresije (R^2) za navedene uzorke bio izrazito visok između 0,992 i 1,0. U ovom istraživanju indeks tečenja bio je veći od 1 ($n > 1$) za bjelanjak i cijelo jaje, dok je za žumanjak bio manji od 1 ($n < 1$). Određivanje reoloških svojstava u ovom istraživanju pokazalo je da suspenzije bjelanjaka te cijelog jajeta imaju nenenewtonski karakter, odnosno da ih karakterizira dilatantan tip tečenja zbog indeksa tečenja većeg od 1, dok s druge strane suspenzije žumanjka su imale indeks tečenja manji od 1 čime one pokazuju pseudoplastičan karakter (Režek Jambrak, 2008). Dilatantne tekućine su one koje, sve dok ne dostignu određenu kritičnu vrijednost smičnog naprezanja, se ponašaju kao newtonovske tekućine, a iznad te vrijednosti, viskoznost im raste s povećanjem brzine smicanja. Ovakvo ponašanje je znatno manje uobičajeno od pseudoplastičnog (Vrdoljak, 2016).

Suprotno rezultatima ovog istraživanja koji pokazuju da tekuća cijela jaja imaju indeks tečenja veći od 1 ($n > 1$) te veće vrijednosti koeficijenta konzistencije (K), u rasponu od 1,29 i 3,12 (Pa sn), u istraživanju Scalzo i sur. (1970) indeks tečenja (n) tekućih cijelih jaja pokazivao je vrijednosti između 0,929 i 0,988, što ukazuje na pseudoplastično ponašanje tekućih cijelih jaja ($n < 1$). Koeficijent konzistencije (K) je imao raspon od 0,021 do 0,038 (Pa sn) i opadao je s povećanjem temperature. Slično tome, Singh i sur. (2011) istraživali su ponašanje tekućih cijelih jaja koja su bila pohranjena pri sobnoj temperaturi i na 6°C. Primjenom Ostwald-de Waele-ovog zakona, rezultati su pokazali da tekuća cijela jaja skladištena pri sobnoj temperaturi pokazuju veći pseudoplastični karakter s vremenom skladištenja u usporedbi s uzorcima jaja pohranjenim na 6°C. Naime, vrijednost indeksa tečenja se mijenjala od 0,914 do 0,095 tijekom 28 dana skladištenja pri sobnoj temperaturi, dok je indeks tečenja pri 6°C varirao od 0,914 do 0,889. Svi uzorci su imali R vrijednost veću od 0,99. U istraživanju Vrdoljak (2016) reološka svojstva svih uzoraka pasteriziranih tekućih cijelih jaja s dodatkom limunske kiseline nakon 4 tjedna skladištenja pokazala su nenevtonski karakter, odnosno da ih karakterizira dilatantni tip tečenja ($n > 1$). Tjedni skladištenja su imali statistički značaj utjecaj ($p < 0,05$) na indeks tečenja i na koeficijent konzistencije dok dodatak limunske kiseline nije bio značajan. Prividna viskoznost nije se značajno mijenjala ($p > 0,05$).

U ovom istraživanju žumanjak je pokazao pseudoplastično ponašanje ($n < 1$) kao i u istraživanju Atilgan i Unluturk (2008) što su oni pripisali njegovoj kemijskoj teksturi. Gotovo svi lipidi u žumanjku prisutni su kao lipoproteini, koji se klasificiraju kao lipoproteini visoke gustoće, niske gustoće i vrlo niske gustoće, a takvi tipovi polimera visoke molekularne mase povećavaju viskoznost čak i pri vrlo niskim koncentracijama. Rezultati ovih autora također pokazuju da tekući bjelanjak, tekuće cijelo jaje i tekući žumanjak pokazuju blago pseudoplastično ponašanje na temperaturama od 4, 25 i 55,6/60 °C.

U Tablici 6. prikazani su rezultati određivanja reoloških svojstava cijelog jajeta, žumanjka i bjelanjka. Koeficijent konzistencije (K) za cijelo jaje iznosio je između 1,29 - 3,12, za žumanjak između 1,78 - 5,45 te za bjelanjak između 7,32 - 34,24 (Pa sn). Indeks tečenja za cijelo jaje iznosio je između 1,53 - 1,65, za žumanjak između 0,68 - 0,78 te za bjelanjak između 1,15 - 1,37. Prividna viskoznost kod 1290 1/s za cijelo jaje i bjelanjak iznosila je 0,01, dok je za žumanjak iznosila između 0,35 - 0,52. Koeficijent regresije (R) iznosio je od 0,992 do 1,000 (%).

Iz Tablice 6. se vidi kako je vrsta hibrida kukuruza pokazala statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u vrijednostima koeficijenta konzistencije, indeksa tečenja i prividne viskoznosti bjelanjka. Nadalje, različite razine repičinog ulja pokazale su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u vrijednostima indeksa tečenja bjelanjka, dok je dodatak lysoforte-a pokazao statistički značajan utjecaj ($p < 0,05$) na koeficijent konzistencije i indeks tečenja cijelog jajeta, koeficijent konzistencije, indeks tečenja i prividnu viskoznost bjelanjka i žumanjka. Hibrid Os403 pokazao je veće vrijednosti koeficijenta konzistencije bjelanjka, dok je hibrid Bc572 pokazao veće vrijednosti koeficijenta viskoznosti i indeksa tečenja bjelanjka. Dodatak repičinog ulja u koncentraciji od 3 % utjecao je na povećanje vrijednosti indeksa tečenja kod bjelanjka u odnosu na dodatak 2 i 4 % repičinog ulja. Dodatak lysoforte-a rezultirao je većim vrijednostima indeksa tečenja cijelog jajeta i žumanjka te većim vrijednostima koeficijenta konzistencije bjelanjka. S druge strane, tretmani koji nisu sadržavali lysoforte su pokazali veće vrijednosti koeficijenta konzistencije cijelog jajeta, koeficijenta konzistencije i prividne viskoznosti žumanjka te veće vrijednosti indeksa tečenja i prividne viskoznosti bjelanjka.

Interakcija hibrida kukuruza i repičinog ulja pokazala je statističku značajnu razliku ($p < 0,05$) na koeficijent konzistencije, prividnu viskoznost i indeks tečenja kod žumanjka te na koeficijent konzistencije bjelanjka. Interakcija hibrida i lysoforte-a pokazala je statističku značajnu razliku ($p < 0,05$) na koeficijent konzistencije i prividnu viskoznost bjelanjka. Interakcija repičinog ulja i lysoforte-a pokazala je statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) na indeks tečenja cijelog jajeta, koeficijent konzistencije, indeks tečenja i prividnu viskoznost žumanjka te indeks tečenja bjelanjka. Interakcija hibrida, repičinog ulja i lysoforte-a pokazala je statističku značajnu razliku ($p < 0,05$) na koeficijent konzistencije i indeks tečenja cijelog jajeta i bjelanjka.

Tablica 6. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i emulgatora na reološka svojstva cijelog jajeta, žumanjka i bjelanjka

Tretmani	CIJELO JAJE				ŽUMANJAK				BJELANJAK			
	koeficijent	indeks	prividna	R2 (%)	koeficijent	indeks	prividna	R2 (%)	koeficijent	indeks	prividna	R2 (%)
	konzistencije	tečenja	viskoznost		konzistencije	tečenja	viskoznost		konzistencije	tečenja (n)	viskoznost	
	K (Pasn)	(n)	kod 1290		K (Pasn)	(n)	kod 1290		K (Pasn)		kod 1290	
		1/s				1/s				s-1		
H1T1	1,69±0,07 ^x	1,60±0,00 ^y	0,01±0,00	1,00±0,00 ^b	3,27±0,29 ^x	0,73±0,01 ^y	0,45±0,01 ^x	1,00±0,00	11,22±0,62 ^{by}	1,26±0,03 ^{aCx}	0,01±0,00 ^{ax}	1,00±0,00
H1T2	1,71±0,09 ^x	1,61±0,01 ^y	0,01±0,00	1,00±0,00 ^b	3,82±0,10 ^x	0,71±0,00 ^y	0,48±0,01 ^x	1,00±0,00	7,32±0,21 ^{by}	1,37±0,00 ^{aAx}	0,01±0,00 ^{ax}	1,00±0,00
H1T3	2,32±0,20 ^x	1,56±0,01 ^y	0,01±0,00	1,00±0,00 ^b	3,66±0,02 ^x	0,72±0,00 ^y	0,47±0,00 ^x	1,00±0,00	8,34±0,48 ^{by}	1,35±0,01 ^{aBx}	0,01±0,00 ^{ax}	1,00±0,00
H1T4	1,72±0,10 ^y	1,61±0,01 ^x	0,01±0,00	1,00±0,00 ^b	1,78±0,49 ^y	0,78±0,03 ^x	0,35±0,04 ^y	1,00±0,00	8,28±0,51 ^{bx}	1,35±0,01 ^{aCy}	0,01±0,00 ^{ay}	1,00±0,00
H1T5	1,63±0,22 ^y	1,62±0,02 ^x	0,01±0,00	0,99±0,00 ^b	3,21±0,01 ^y	0,73±0,00 ^x	0,44±0,01 ^y	1,00±0,00	14,02±0,80 ^{bx}	1,28±0,00 ^{aAy}	0,01±0,00 ^{ay}	1,00±0,00
H1T6	1,62±0,13 ^y	1,62±0,01 ^x	0,01±0,00	1,00±0,00 ^b	3,43±0,05 ^y	0,72±0,00 ^x	0,45±0,00 ^y	1,00±0,00	21,18±1,93 ^{bx}	1,21±0,01 ^{aBy}	0,01±0,00 ^{ay}	1,00±0,00
H2T1	3,12±0,88 ^x	1,53±0,05 ^y	0,01±0,00	1,00±0,00 ^a	5,45±0,16 ^x	0,68±0,01 ^y	0,52±0,01 ^x	1,00±0,00	15,39±1,78 ^{ay}	1,26±0,02 ^{bCx}	0,01±0,00 ^{bx}	1,00±0,00
H2T2	1,55±0,03 ^x	1,61±0,00 ^y	0,01±0,00	1,00±0,00 ^a	3,22±0,01 ^x	0,72±0,01 ^y	0,42±0,02 ^x	1,00±0,00	16,62±2,39 ^{ay}	1,30±0,03 ^{bAx}	0,01±0,00 ^{bx}	1,00±0,00
H2T3	1,34±0,12 ^x	1,65±0,01 ^y	0,01±0,00	1,00±0,00 ^a	3,01±0,44 ^x	0,73±0,01 ^y	0,41±0,03 ^x	1,00±0,00	21,20±2,21 ^{ay}	1,22±0,01 ^{bBx}	0,01±0,00 ^{bx}	1,00±0,00
H2T4	1,30±0,09 ^y	1,64±0,01 ^x	0,01±0,00	1,00±0,00 ^a	2,85±0,84 ^y	0,74±0,03 ^x	0,41±0,03 ^y	1,00±0,00	34,42±1,21 ^{ax}	1,15±0,01 ^{bCy}	0,01±0,00 ^{by}	1,00±0,00
H2T5	1,29±0,02 ^y	1,65±0,00 ^x	0,01±0,00	1,00±0,00 ^a	2,73±0,12 ^y	0,72±0,01 ^x	0,36±0,01 ^y	1,00±0,00	26,88±1,33 ^{ax}	1,18±0,01 ^{bAy}	0,01±0,00 ^{by}	0,99±0,00
H2T6	2,01±0,17 ^y	1,58±0,02 ^x	0,01±0,00	1,00±0,00 ^a	2,96±0,73 ^y	0,73±0,02 ^x	0,41±0,03 ^y	1,00±0,00	21,19±0,99 ^{ax}	1,21±0,01 ^{bBy}	0,01±0,00 ^{by}	1,00±0,00
H	0,945	0,632	/	0,103	0,447	0,16	0,097	0,055	<0,001	<0,001	0,011	0,130
R	0,151	0,098	/	0,113	0,936	0,586	0,893	0,695	0,233	0,022	0,088	0,354
L	0,046	0,02	/	0,438	0,002	0,02	<0,001	1	<0,001	<0,001	<0,001	0,499
H×R	0,123	0,192	/	0,589	0,002	0,036	0,001	0,113	0,003	0,409	0,088	0,111
H×L	0,514	0,851	/	0,206	0,562	0,847	0,753	1	0,022	0,076	0,011	0,188
R×L	0,103	0,038	/	0,948	0,011	0,03	0,02	0,695	0,56	0,005	0,088	0,852
H×R×L	0,006	0,002	/	0,201	0,445	0,909	0,757	0,357	<0,001	<0,001	0,088	0,083

*Različita slova (a, b) u istom stupcu označavaju statistički značajnu razliku ($p \leq 0,05$) za utjecaj hibrida, (A, B, C) za utjecaj dodatka ulja i (x, y) za dodatak lysoforte-a.

**Podebljane vrijednosti su statistički značajne ($p \leq 0,05$).

***H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte, T-tretman; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

4.5. REZULTATI ODREĐIVANJA ZNAČAJKI PJENJENJA

Pjenjenje se smatra ključnom površinskom karakteristikom proteina. U bjelanjku jaja, globulin i albumin imaju značajnu ulogu u formiranju pjene, dok ovomucin i lizosomi doprinose njezinoj stabilnosti. Pjena koja nastaje tučenjem pokazuje visoku termodinamičku nestabilnost, a njezina stabilnost ovisi o različitim faktorima poput starosti jaja, vremena i intenziteta tučenja. Također, utjecaj na stabilnost pjene imaju predtretmani poput homogenizacije i pasterizacije, tretmani kao što su ultrazvuk i gama zrake, centrifugiranje, temperatura, pH vrijednost, dodaci poput soli, šećera, stabilizatora, zaslađivača, miješanje s žumanjkom te prisutnost metalnih kationa i proteolitičkih enzima (Lukač, 2016).

Iz Tablice 7. vidi se da hibrid kukuruza, repičino ulje i dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u kapacitetu pjenjenja bjelanjka jaja i na stabilnost pjene što je u skladu s očekivanjima jer bi dodatak ulja i emulgatora trebao imati više utjecaja na žumanjak, nego na bjelanjak. Kapacitet pjenjenja iznosio je između 425 – 545 %; izdvojena tekućina iznosila je između 10,85 -14,19 %; dok je stabilnost pjene iznosila između 87,12 - 93,39 %.

Rezultati ovog istraživanja u skladu su s istraživanjem Aro i sur. (2011) koji su istraživali moguće promjene u funkcionalnim svojstvima modificiranih jaja određujući kapacitet i stabilnost stvaranja pjene svježih i skladištenih jaja. Sastav masnih kiselina jaja mijenjano je dodavanjem lanenog ulja, repičinog ulja i ribljeg ulja u hranidbu kokoši. Također, ispitan je i nusproizvod obrade crnog ribiza kao izvor n-6 masnih kiselina u hranidbi. Volumeni pjena od bjelanjka varirali su između 900 – 950 ml u svim skupinama koje su dobivale dodatak ulja što su više vrijednosti u odnosu na ovo istraživanje. U usporedbi s vrijednošću kontrolne skupine (950 ml), podaci iz ovih eksperimenata ukazuju da dodatak repičinog ulja ili ribljeg ulja ili nusproizvoda obrade crnog ribiza ne utječe na sposobnost stvaranja pjene ili stabilnost pjene

svježeg bjelanjka ($p > 0,05$). Između svježih i pohranjenih jaja, u svim skupinama nisu nađene značajne promjene u volumenu pjene ($p > 0,05$). Volumeni pjena od cijelog jajeta pokazali su vrijednosti od 425 – 500 ml za svježja jaja u kontrolnoj skupini i u svim testnim skupinama.

Tablica 7. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na značajke pjenjenja bjelanjka jaja

Tretman	Kapacitet pjenjenja (%)		Stabilnost pjene (%)
	% povećanja pjene	% izdvojene tekućine	% stabilnosti
H1T1	545,00±5,00	10,85±0,38	89,89±3,95
H1T2	475,00±25,00	11,96±0,87	92,12±1,21
H1T3	505,00±45,00	11,67±0,29	90,80±1,51
H1T4	460,00±70,00	12,57±1,30	92,74±0,91
H1T5	470,00±20,00	11,83±0,37	90,37±0,54
H1T6	450,00±50,00	13,43±1,77	90,83±0,83
H2T1	425,00±25,00	13,82±0,18	90,45±0,45
H2T2	475,00±25,00	12,17±2,01	87,12±3,79
H2T3	460,00±10,00	12,79±1,21	89,25±1,98
H2T4	505,00±5,00	12,31±0,31	93,39±0,05
H2T5	465,00±55,00	13,36±1,74	93,03±1,09
H2T6	430,00±20,00	14,19±0,91	90,55±0,36
Hibrid (H)	0,263	0,134	0,651
Repičino ulje (R)	0,679	0,644	0,615
Dodatak lysoforte (L)	0,412	0,283	0,104
H×R	0,759	0,949	0,769
H×L	0,160	0,571	0,185
R×L	0,696	0,649	0,699
H×R×L	0,239	0,387	0,331

* H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte, T-tretman; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

Nadalje, promjena hranidbe kokoši nesilica uljem *Camelina sativa* nije pokazala statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u svojstvima pjenjenja (Rokka i sur., 2022) što je u skladu s rezultatima ovog istraživanja. U istraživanju Mattila i sur. (2003) jaja obogaćena vitaminom D pokazala su slična svojstva pjenjenja kao i jaja kontrolne skupine. S druge strane, postojale su naznake da bi unos selena u hranidbu kokoši nesilica mogao rezultirati poboljšanom sposobnošću stvaranja i očuvanja pjene kako u bjelanjku tako i u žumanjku. Organski oblici

selena, kao što su selenom obogaćeni kvasac i selenometionin, posebno su pokazali pozitivan učinak na stabilnost pjene i kapacitet stvaranja pjene u bjelanjku (Borilova i sur., 2019).

U ovom istraživanju emulgator lysoforte nije pokazao statistički značajan utjecaj ($p > 0,05$) na značajke pjenjenja, međutim u istraživanju Zhao i sur. (2019) korišten je glicerol monolaurat (GML), učinkoviti antimikrobni emulgator široko korišten u prehrambenoj industriji i uzgoju kokoši nesilica, koji je pokazao suprotne rezultate. Cilj navedenog istraživanja je bio identificirati učinke prehrambenog dodatka GML-a u tri koncentracije (150, 300 i 450 mg/kg) na funkcionalna svojstva proteina jaja. Dodatak emulgatora pokazao je statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u značajkama pjenjenja. Kapacitet pjenjenja je značajno povećan za 8,95, 44,43 i 44,82 % za grupe s dodatkom 150, 300 i 450 mg/kg emulgatora. Međutim, stabilnost pjenjenja je značajno povećana samo za 23,39 % u skupini s dodatkom 450 mg/kg u usporedbi s kontrolnom skupinom. Dakle, zaključak navedenog istraživanja je kako proteini bjelanjka pokazuju poboljšane značajke pjenjenja kada se kao dodatak hrani kokošima nesilicama daju visoke doze GML-a (450 mg/kg). Proteini jaja često se koriste kao sredstvo za stvaranje pjene u hrani kako bi se poboljšala i održala njena tekstura i volumen. Povećanje kapaciteta pjenjenja uzrokovano prehrambenim dodatkom GML-a povezano je s učincima GML-a na sastav i koncentraciju proteina jaja, što dovodi do izlaganja više hidrofobnih skupina te poboljšanih interakcija između proteina i zraka (Zhao i sur., 2019).

4.6. REZULTATI ODREĐIVANJA EMULGIRAJUĆIH SVOJSTAVA

Kapacitet i stabilnost emulzija su važna funkcionalna svojstva hrane s visokim udjelom proteina. Mnogi kemijski i fizikalni faktori sudjeluju u formiranju, stabilnosti i teksturalnim svojstvima emulzija. Kapacitet emulzije označava sposobnost otopine ili suspenzije proteina da emulzificira ulje, dok stabilnost emulzije predstavlja sposobnost emulzije da ostane stabilna i nepromijenjena kroz neki vremenski period. Kapacitet i stabilnost emulzije ovise o svojstvima stabilizatora te variraju s vrstom proteina, njegovom koncentracijom, pH vrijednošću, ionskom snagom i viskozitetom sustava (Zayas i Lin, 1989). Nadalje, stabilnost emulzije podložna je različitim čimbenicima: stupnju disperzije unutarnje faze, kvaliteti graničnih površinskih filmova, viskoznosti vanjske faze, omjeru volumena faza te specifičnoj masi faza. Emulzija se smatra stabilnom ako može zadržati svoju strukturu tijekom određenog vremenskog razdoblja, a da se kapljice dispergirane faze ne povezuju međusobno, niti se skupljaju na površini ili pri

dnu. Emulgatori su tvari koje se dodaju emulzijama kako bi smanjili površinsku napetost između faza, čime se olakšava rad i potiče proces emulgiranja (Marković, 2014).

Tablica 8. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na kapacitet i stabilnost emulzije

Tretman	Kapacitet emulzije (%)	Stabilnost emulzije (%)
H1T1	11,67±0,96 ^{bBx}	136,75±10,01 ^y
H1T2	12,22±0,56 ^{bAx}	126,79±4,93 ^y
H1T3	11,11±1,47 ^{bCx}	147,38±16,68 ^y
H1T4	8,89±0,56 ^{bBy}	175,56±4,44 ^x
H1T5	8,33±0,00 ^{bAy}	182,67±2,67 ^x
H1T6	12,78±0,56 ^{bCy}	123,93±6,31 ^x
H2T1	15,56±0,56 ^{aBx}	153,70±1,85 ^y
H2T2	21,67±1,67 ^{aAx}	133,33±0,00 ^y
H2T3	17,22±0,56 ^{aCx}	148,48±1,52 ^y
H2T4	16,67±0,00 ^{aBy}	150,00±0,00 ^x
H2T5	16,67±0,00 ^{aAy}	153,33±3,33 ^x
H2T6	15,00±0,00 ^{aCy}	166,67±0,00 ^x
Hibrid (H)	<0,001	0,577
Repičino ulje (R)	0,037	0,266
Dodatak lysoforte (L)	<0,001	<0,001
H×R	0,001	0,003
H×L	0,69	0,109
R×L	0,002	0,001
H×R×L	0,006	<0,001

*Različita slova (a, b) u istom stupcu označavaju statistički značajnu razliku ($p \leq 0,05$) za utjecaj hibrida, (A, B, C) za utjecaj dodatka ulja i (x, y) za dodatak lysoforte-a.

**Podebljane vrijednosti su statistički značajne ($p \leq 0,05$).

*** H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte, T-tretman; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

Iz Tablice 8. se vidi kako su hibrid kukuruza, dodatak repičinog ulja i lysoforte-a pokazali statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u kapacitetu emulzije. Također, dodatak lysoforte-a je pokazao statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) i u stabilnosti emulzije, dok hibrid i repičino ulje nisu imali statistički značajnog utjecaja ($p > 0,05$) na stabilnost emulzije. Kapacitet emulzije iznosio je između $8,33 \pm 0,00$ i $21,67 \pm 1,67$ %, a stabilnost emulzije između $123,93 \pm 6,31$ i $182,67 \pm 2,67$ %. Uzorci jaja s hibridom Os403 pokazali su veći kapacitet emulzije u odnosu na jaja s hibridom Bc572 ($p < 0,001$). Interakcije hibrida i repičinog ulja, repičinog ulja i lysoforte-a te hibrida, repičinog ulja i lysoforte-a su pokazale statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) na oba emulgirajuća svojstva.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su kako dodatak repičinog ulja ima utjecaj na kapacitet emulzije, međutim ne i na stabilnost emulzije. Dodatak 3 % repičinog ulja pokazao je veći kapacitet emulzije u odnosu na dodatak 2 i 4 % repičinog ulja ($p = 0,037$). U istraživanju Aro i sur. (2011) dodatak ribljeg ulja pokazao je statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) na stabilnost i aktivnost emulzije, dodatak lanenog ulja pokazao je statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) samo na stabilnost emulzije, dok dodatak repičinog ulja nije pokazao statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) na oba emulgirajuća svojstva. Nadalje, dodatak ulja od sjemenki *Camelina sativa* (Rokka i sur. 2002) te dodatak kolekalciferola (Mattila i sur.,2003) također nije imao utjecaja na svojstva emulzija.

U istraživanju Aro i sur. (2011) u uzorcima s dodatkom ribljeg ulja, rezultati su pokazali značajno smanjenu aktivnost i stabilnost emulzije ($p < 0,005$). Razlog tome su promjene u sastavu masnih kiselina koje mogu imati utjecaja na karakteristike emulzija ovih jaja. Lipoproteini niske gustoće (LDL) u žumanjcima, koji su uglavnom prisutni u žumanjčanoj plazmi, dokazano igraju ključnu ulogu u emulgirajućim svojstvima jaja putem interakcija između amfipatskih apoproteina i fosfolipida. DHA, česta masna kiselina u fosfolipidima, također sudjeluje u formiranju emulzije. Stoga su autori primijetili da je razina DHA bila viša u ovoj grupi u usporedbi s kontrolnom grupom jaja, što može utjecati na smanjenje emulzijske aktivnosti žumanjka. Sam žumanjak jaja smatra se jednim od najkompleksnijih sustava emulgatora baziranih na proteinima. Emulzije žumanjka uglavnom su stabilizirane niskom gustoćom lipoproteina (LDL). Ostali sastojci jajeta koji djeluju kao emulgatori uključuju lipoproteine visoke gustoće (HDL), fosvitin i livetin. S dodatkom lanenog ulja, glavna razlika u masnim kiselinama jaja jest povećanje α -linolenske kiseline. Dodatak repičinog ulja povećava udio oleinske kiseline, dok dodatak ribljeg povećava udio EPA i DHA. Vjerojatno je relativna distribucija masnih kiselina u različitim lipidnim komponentama jaja slična u jajima

obogaćenima n-3 masnim kiselinama i u kontrolnoj skupini jaja te stoga ima manji ili nikakav utjecaj na emulgirajuća svojstva jaja (Aro i sur., 2011).

U ovom istraživanju dodatak emulgatora lysoforte-a u količini od 0,5 g/kg smjese doveo je do povećanja stabilnosti emulzije što je i u skladu s očekivanjima pošto je uloga emulgatora da utječe na stvaranje i stabilnost emulzije. Međutim, dodatak lysoforte-a nije doveo i do povećanja kapaciteta emulzije. U istraživanju Shen i sur. (2019) stabilnost emulzije koju čine granule žumanjka prvotno se povećala s dodatkom emulgatora lecitina u koncentracijama od 0,10 i 0,25 %, a zatim smanjila s dodatkom lecitina u koncentracijama od 0,50 i 1,00 %. Dodavanje odgovarajuće količine lecitina (manje od 0,25 %) može pomoći u formiranju visoko stabilnih emulzija s malom veličinom čestica razbijanjem agregatne strukture, laganim smanjenjem kontaktnog kuta i povećanjem ukupnog naboja površine. Međutim, višak lecitina (više od 0,50 %) može izazvati pretjeranu zamjenu proteina granula zbog natjecateljske adsorpcije, što dovodi do nestabilnosti emulzija inducirane flokulacijom uzrokovanom surfaktantom.

U Tablici 9. prikazani su rezultati određivanja mutnoće. Vrijednosti za mjerenje mutnoće iznosile su između 532,89 - 766,01, dok su vrijednosti mutnoće nakon 24 sata bile između 480,65 - 532,66. Indeks aktiviteta emulzije iznosio je između 0,12 - 0,18.

Mutnoća se pokazala kao pouzdan pokazatelj denaturacije molekula, pružajući uvid u obrazac molekularne agregacije koji određuje specifična svojstva proizvoda, kao što su viskoznost i svojstva gela. Kada se zagrije otopina proteina, dolazi do formiranja mutne suspenzije ili gela, uzrokovane stvaranjem velikih koaguluma proteina denaturiranih toplinom te raspršivanjem svjetlosti od strane tih koaguluma. Bjelanjak jajeta poznat je po stvaranju mutnog gela prilikom zagrijavanja (Kitabatake, 1995).

Postupak određivanja svojstava emulgiranja proteina zasniva se na mjerenju apsorbancije emulzije na UV/VIS spektrofotometru na temelju koje se izračuna vrijednost mutnoće. Sposobnost proteina da se tijekom stvaranja emulzije velikom brzinom apsorbiraju na granici ulja i vode te sprječavaju time flokulaciju i ponovno povezivanje čestica ulja izraženo je indeksom aktiviteta emulzije. Sposobnost proteina da u određenom vremenskom razdoblju održava stabilnu emulziju prikazana je indeksom stabilnosti emulzije (Dautanec, 2022).

Tablica 9. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na mutnoću i indeks aktiviteta emulzije

Tretman	Mutnoća	Mutnoća nakon 24h	Indeks aktiviteta emulzije
H1T1	539,28±10,44 ^a	500,23±14,00	0,12±0,00 ^a
H1T2	532,89±11,65 ^a	480,65±21,38	0,12±0,00 ^a
H1T3	558,03±9,27 ^a	527,69±13,59	0,13±0,00 ^a
H1T4	533,43±18,14 ^a	492,57±25,38	0,12±0,00 ^a
H1T5	567,65±25,07 ^a	530,85±31,63	0,13±0,01 ^a
H1T6	543,50±18,71 ^a	484,90±28,97	0,13±0,00 ^a
H2T1	756,10±27,04 ^b	493,05±7,16	0,17±0,01 ^b
H2T2	656,63±100,62 ^b	512,41±23,29	0,15±0,02 ^b
H2T3	682,32±17,63 ^b	517,30±10,85	0,16±0,00 ^b
H2T4	670,89±13,73 ^b	532,66±2,21	0,15±0,00 ^b
H2T5	717,68±48,66 ^b	531,69±12,97	0,17±0,01 ^b
H2T6	766,01±4,57 ^b	519,31±8,26	0,18±0,00 ^b
Hibrid (H)	<0,001	0,196	<0,001
Repičino ulje (R)	0,757	0,764	0,723
Dodatak lysoforte (L)	0,562	0,372	0,518
H×R	0,688	0,982	0,651
H×L	0,722	0,368	0,518
R×L	0,179	0,153	0,211
H×R×L	0,251	0,287	0,164

*Različita slova (a, b) u istom stupcu predstavljaju statistički značajnu razliku ($p \leq 0,05$).

**Podebljane vrijednosti su statistički značajne ($p \leq 0,05$).

*** H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte, T-tretman; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2-Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

Vrsta hibrida kukuruza pokazala je statistički značajnu razliku u određivanju mutnoće i indeksa aktiviteta emulzije ($p < 0,001$), dok repičino ulje te dodatak lysoforte-a nisu pokazali statističku značajnu razliku ($p > 0,05$) u mutnoći i indeksu aktiviteta emulzije. Jaja s hibridom Bc572 imala su veće vrijednosti mutnoće i indeksa aktiviteta emulzije u odnosu na jaja s hibridom Os403. Za očekivati je bilo kako će dodatak emulgatora imati utjecaja na indeks aktiviteta emulzije.

Mjerenje mutnoće nakon 24 sata pokazalo je smanjene vrijednosti u odnosu na prvotno mjerenje što ukazuje na to da se s vremenom stajanja mutnoća emulzije od jaja smanjuje. U usporedbi s ovim istraživanjem gdje dodatak ulja i emulgatora nije imao utjecaja na mutnoću, u istraživanju Marušić Radovčić i sur. (2020) gdje je ispitivan dodatak limunske kiseline na pasterizirana cijela tekuća jaja nakon 4 tjedna skladištenja vrijednosti mutnoće su padale s dodatkom većih koncentracija limunske kiseline.

4.7. REZULTATI ODREĐIVANJA TEKSTURALNIH SVOJSTVAVA

Tekstura obuhvaća sve mehaničke, geometrijske, površinske i tjelesne karakteristike proizvoda koje se percipiraju putem različitih osjetnih organa (Rustagi, 2020). U ovom istraživanju određeno je šest parametra teksture: adhezivnost, kohezivnost, tvrdoća, konzistencija, indeks viskoznosti i rad smicanja. Adhezivnost se definira se kao rad potreban za prevladavanje privlačnih sila između proizvoda i određene površine. Kohezivnost je često korištena kao pokazatelj sposobnosti gela da održi netaknutu mrežnu strukturu, povezana je s time koliko dobro proizvod podnosi drugu deformaciju u odnosu na svoje ponašanje tijekom prve deformacije. Tvrdoća predstavlja silu potrebna da se deformira proizvod na zadanoj udaljenosti (Raikos, 2007).

U Tablici 10. prikazan je utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na teksturalna svojstva jaja. Hibrid kukuruza pokazao je statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u kohezivnosti i tvrdoći. Također, dodatak repičinog ulja i lysoforte-a pokazao je statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u kohezivnosti. Na ostala teksturalna svojstva (adhezivnost, konzistencija, indeks viskoznosti i rad smicanja) hibrid, repičino ulje i lysoforte nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$). Adhezivnost je iznosila između 7,40 - 13,39, kohezivnost između -1,10 i -0,83, konzistencija između 22,96 - 40,14, tvrdoća između 3,53 - 5,24, indeks viskoznosti između 7,40 - 13,39 te rad smicanja između 30,43 - 53,55. Jaja s hibridom Bc572 pokazala su veće vrijednosti kohezivnosti ($p = 0,001$), dok su jaja s hibridom Os403 imala veće vrijednosti tvrdoće ($p = 0,002$). Također, dodatak lysoforte-a pokazao je veće vrijednosti kohezivnosti u odnosu na jaja bez dodatka ($p = 0,018$). Interakcija hibrida i repičinog ulja pokazala je statističku značajnu razliku ($p < 0,05$) na adhezivnost, konzistenciju indeks viskoznosti i rad smicanja. Interakcija hibrida i lysoforte-a pokazala je statističku značajnu razliku ($p < 0,05$) u svim teksturalnim svojstvima osim tvrdoće. Interakcija hibrida, repičinog ulja i lysoforte-a pokazala je statističku značajnu razliku ($p < 0,05$) na kohezivnost i konzistenciju.

Tablica 10. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na teksturalna svojstva jaja

Tretman					Indeks	
	Adhezivnost (Nmm)	Kohezivnost (N)	Konzistencija (Nmm)	Tvrdoća (N)	viskoznosti (Nmm)	Rad smicanja (Nmm)
H1T1	7,40±2,48	-1,00±0,01 ^{aBy}	24,76±1,28	4,35±0,21 ^b	7,40±2,48	32,23±3,72
H1T2	8,66±0,41	-0,97±0,04 ^{aAy}	25,77±1,01	4,24±0,11 ^b	8,66±0,41	34,42±0,61
H1T3	11,23±1,06	-1,01±0,04 ^{aAy}	34,67±0,16	4,37±0,35 ^b	11,23±1,06	45,94±0,84
H1T4	12,45±0,45	-1,10±0,02 ^{aBx}	37,31±1,61	5,24±0,28 ^b	12,45±0,45	49,74±1,14
H1T5	12,03±0,19	-0,97±0,01 ^{aAx}	36,43±0,64	4,88±0,28 ^b	12,03±0,19	46,68±1,28
H1T6	12,04±0,19	-0,91±0,02 ^{aAx}	30,34±2,35	4,35±0,09 ^b	12,04±0,19	45,45±0,51
H2T1	13,39±0,22	-1,04±0,01 ^{bBy}	40,14±2,59	4,62±0,10 ^a	13,39±0,22	53,55±2,80
H2T2	10,10±3,12	-0,99±0,04 ^{bAy}	31,95±7,79	3,82±0,68 ^a	10,10±3,12	42,04±10,95
H2T3	8,00±0,16	-0,88±0,04 ^{bAy}	23,01±1,66	3,53±0,04 ^a	8,00±0,16	31,00±2,55
H2T4	10,35±1,79	-0,96±0,02 ^{bBx}	32,32±3,92	3,77±0,04 ^a	10,35±1,79	42,62±5,74
H2T5	7,45±1,10	-0,83±0,04 ^{bAx}	22,96±4,49	3,67±0,28 ^a	7,45±1,10	30,43±5,62
H2T6	7,44±0,80	-0,85±0,01 ^{bAx}	25,86±3,46	3,86±0,13 ^a	7,44±0,80	33,29±4,23
H	0,163	0,001	0,274	0,002	0,163	0,183
R	0,343	<0,001	0,096	0,114	0,343	0,132
L	0,543	0,018	0,672	0,426	0,543	0,564
H×R	0,032	0,49	0,04	0,863	0,032	0,02
H×L	0,007	0,018	0,013	0,057	0,007	0,007
R×L	0,897	0,078	0,802	0,869	0,897	0,881
H×R×L	0,247	0,01	0,018	0,083	0,247	0,056

*Različita slova (a, b) u istom stupcu označavaju statistički značajnu razliku ($p \leq 0,05$) za utjecaj hibrida, (A, B, C) za utjecaj dodatka ulja i (x, y) za dodatak lysoforte-a.

**Podebljane vrijednosti su statistički značajne ($p \leq 0,05$).

*** H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte, T-tretman; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2-Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju daje dodatak repičinog ulja imao utjecaja na svojstvo kohezivnosti. Dodaci s 3 i 4 % repičinog ulja pokazali su veće vrijednosti kohezivnosti u odnosu na dodatak 2 % ($p < 0,001$). U istraživanju Mu i sur. (2019) dodatak pamukovog ulja pokazao

je statistički značajnu razliku u parametrima teksture ($p < 0,001$). Povećanjem koncentracije pamukovog ulja tvrdoća, elastičnost, kohezivnost, otpornost i žilavost žumanjka su se povećali, dok se ljepljivost smanjila. Također, uvjeti čuvanja jaja značajno su utjecali na teksturalne parametre žumanjka ($p < 0,05$). Dva tjedna skladištenja na sobnoj temperaturi smanjila su tvrdoću i žilavost žumanjka, dok je hladno skladištenje povećalo elastičnost, kohezivnost, otpornost i žilavost. Stoga, primijećena je interakcija između pamukovog ulja i metode skladištenja ($p < 0,01$). Nadalje, Gao i sur. (2022) istraživali su utjecaj dodatka različitih ulja na parametre teksture kuhanih žumanjaka. Utvrđen je statistički značajan utjecaj ($p < 0,05$) razine dodatka ulja (koncentracije 1,5 ili 3 %) na tvrdoću, gumavost, žvakavost i elastičnost. Dodatak 3 % sojinog ulja, 3 % svinjske masti i 1,5 % mješavine ulja značajno je povećao tvrdoću kuhanih žumanjaka u usporedbi s kontrolnom skupinom ($p < 0,05$). Međutim, dodatak 1,5 % sojinog ulja nije utjecao na tvrdoću kuhanih žumanjaka u usporedbi s kontrolama. U usporedbi s kontrolnom skupinom, dodavanje različitih vrsta i koncentracija ulja značajno je smanjilo elastičnost jaja. Osim toga, 3 % sojinog ulja smanjilo je elastičnost, a 1,5 % sojinog ulja značajno je povećalo gumavost. Autori su zaključili kako dodatak visokih koncentracija ulja pogoršava strukturalna oštećenja kuhanog žumanjka. Rezultati istraživanja Raikos i sur. (2007) su pokazali da sva teksturalna svojstva (adhezivnost, kohezivnost i tvrdoća) gela od jaja su bila ovisna o pH-vrijednosti. Također, utvrdili su da dodatak šećera i soli nemaju značajan utjecaj na ove parametre povezane s teksturom.

4.8. REZULTATI ODREĐIVANJA UDJELA MASTI I SASTAVA MASNIH KISELINA

Dodavanje odgovarajućih ulja u hranidbu kokoši nesilica značajno utječe na udio masti, sastav i omjer masnih kiselina u žumanjku jaja. Masne kiseline obuhvaćaju zasićene masne kiseline (SFA), mononezasićene masne kiseline (MUFA) i polinezasićene masne kiseline (PUFA). Žumanjci jaja su posebno bogati PUFA-ma, podijeljenim u n-3 i n-6 masne kiseline. Od n-3 PUFA, DHA i EPA imaju najznačajniji utjecaj na ljudsko tijelo. Idealan omjer unosa n-6 PUFA i n-3 PUFA preporučuje se između 4:1 i 10:1 (Gao i sur., 2021). U jajima dobivenim standardnom hranidbom nesilica prevladavaju n-6 masne kiseline u ukupnom udjelu masti. Upotreba sirovina bogatih n-3 masnim kiselinama, poput lanenog ulja, u hranidbi nesilica povećava udio n-3 u odnosu na n-6 masne kiseline, čineći jaje funkcionalnom hranom s potencijalno povoljnim učincima na ljudsko zdravlje. No, promjene u vrsti i količini masti u hrani za nesilice moraju se provesti pažljivo kako bi se izbjegao negativan utjecaj na proizvodne parametre, uključujući tjelesnu masu nesilica, nesivost, masu jaja itd., dok se istovremeno

postiže povećanje sadržaja n-3 masnih kiselina i povoljan omjer n-6/n-3 masnih kiselina u proizvedenim jajima (Bašić i sur., 2021). Sastav i profil masnih kiselina u peradarskim proizvodima ovise o vrsti masnih kiselina prisutnih u hrani koja se koristi tijekom hranidbe. Smjese koje se najčešće koriste u tovu pilića obično se temelje na krmivima s visokim udjelom zasićenih masnih kiselina, u odnosu na nezasićene masne kiseline. U Hrvatskoj su suncokretovo i repičino ulje često upotrebljavani dodaci u hranidbi kokoši, što rezultira većim omjerom n6/n3 masnih kiselina. Budući da se promjenom hranidbe i izborom izvora masnih kiselina u hranidbi životinja može unaprijediti sastav masnih kiselina u peradarskim proizvodima, kao što su meso i jaja, istraživanja se usredotočuju na obogaćivanje jaja n-3 masnim kiselinama. Poznato je da su riblje brašno i ulje bogati izvori n-3 masnih kiselina EPA i DHA, no isto tako je poznato da preveliki udio ribljeg ulja u hranidbi kokoši nesilica može rezultirati nepoželjnim organoleptičkim svojstvima jaja. Stoga se alternativno koriste laneno i repičino ulje u kombinaciji s ribljim uljem kako bi se postigao željeni nutritivni profil jaja (Lešić i sur., 2015). Biljna ulja utječu na smanjivanje omjera PUFA n-6/PUFA n-3 putem omjera α -linolenske/linolne masne kiseline. S druge strane, korištenje stočne hrane i životinjskih ulja poboljšava omjer DHA/AA. Profil masnih kiselina u žumanjcima jaja varira ovisno o korištenim krmivima za nesilice, njihovom podrijetlu, dobi i razdoblju nesivosti. Optimalan profil masnih kiselina u jajima obogaćenima s PUFA n-3 postiže se upotrebom raznolikih kombinacija biljnih i životinjskih krmiva. Sadržaj zasićenih masnih kiselina (SFA) manje je osjetljiv na manipulaciju sastavom masnih kiselina u žumanjcima jaja (Škrčić i sur., 2006).

U Tablici 11. prikazani su rezultati određivanja udjela masti te masnih kiselina, dok su u Tablici 12. prikazane p-vrijednosti udjela masti i pojedinačnih masnih kiselina te utjecaja hibrida, dodatka repičinog ulja, lysoforte-a te njihovih interakcija Hranidba s dodatkom različitog hibrida, različite koncentracije repičinog ulja te dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u udjelu masti. Udio masti kretao se između $33,09 \pm 1,53$ % (H2T2) i $34,71 \pm 0,11$ % (H1T2). Suprotno ovim rezultatima, upotreba različite vrste ulja pokazala je statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu masti. U istraživanju Žepine (2022) cilj rada bio je ispitati utjecaj dodatka lanenog sjemena u hranidbi kokoši nesilica na udio masti te sastav masnih kiselina jaja. Udio masti u uzorcima kontrolnih jaja iznosio je $31,53 \pm 0,90$ %, dok je u uzorcima obogaćenih jaja lanenim uljem udio masti bio $29,22 \pm 0,65$ %. Razlika u hranjenju kokoši nesilica utjecala je na ukupni određeni udio masti u uzorcima kontrolnih i obogaćenih jaja, odnosno dovela je do smanjenja udjela masti u jajima gdje je dodano laneno ulje. Antruejo i sur. (2011) su u svom istraživanju htjeli utvrditi učinak različitih izvora hranidbe bogatih n-3

masnim kiselinama, uključujući lanene i chia sjemenke te sjemenke uljane repice, na sadržaj lipida u žumanjku i sastav masnih kiselina. Udio masti u uzorcima jaja kokoši nesilica hranjenih lanenim sjemenkama iznosio je 34,97 %, a uzorcima jaja kokoši nesilica hranjenih sa sjemenkama uljane repice bio je 34,14 % što je slično ovom istraživanju, a kod onih hranjenih s chia sjemenkama iznosio je 28,27 %. Međutim, sadržaj masti u žumanjku jajeta nije se statistički značajno razlikovao ($p > 0,05$) između pokusnih skupina. Milinsk i sur. (2003) izvijestili su u svom istraživanju kako je koncentracija lipida u žumanjku jaja bila najviša u skupini s repičinim uljem (39,8 %), dok najniža u skupini sa suncokretovim uljem (30,4 %).

Udio zasićenih masnih kiseline (SFA) kretao se od 32,75 - 35,27 %. Hibrid kukuruza, dodatak repičinog ulja te dodatak lysoforte-a pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu SFA (Tablica 12) pa su tako uzorci jaja hibrida Bc572 imali veći udio SFA od uzoraka jaja hranjenih hibridom Os403; dodatak većeg udjela repičinog ulja utjecao je na smanjenje SFA u svim uzorcima jaja dok je dodatak lysoforte-a utjecao na povećanje SFA. Suprotno ovim rezultatima, istraživanje Gul i sur. (2012) o dodatku različitih razina repičinog ulja (2, 4 i 6 %) nije pokazalo statistički značajne razlike ($p > 0,05$) u udjelu SFA. Repičino ulje sadrži oko 7 % SFA što je manje u odnosu na nezasićene masne kiseline pa samim time nije došlo do značajnog utjecaja (Škrtić i sur., 2006). Udio SFA u tom istraživanju se kretao između 33,46 – 34,59 % što je slično rezultatima ovog istraživanja. Također, u istraživanju Omidi i sur. (2015) dodatak ribljeg, maslinovog, repičinog i sojinog ulja te ulja sjemenki grožđa nije pokazao statistički značajne razlike u udjelu SFA u jajima. Međutim, istraživanje Cherian (2008) pokazalo je kako se s povećanjem dodatka ribljeg ulja povećava i udio SFA. U istraživanju Žepine (2022) dodatak lanenog sjemena doveo je do povećanja SFA u jajima u odnosu na kontrolu.

Udio mononezasićenih masnih kiselina (MUFA) kretao se od 40,46 – 44,05 %. Hibrid kukuruza te dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u udjelu MUFA, dok je dodatak repičinog ulja pokazao statistički značajnu razliku ($p < 0,001$) pa su tako uzorci jaja s dodatkom manjeg udjela repičinog ulja (2 %) imali veći udio MUFA. Ovi rezultati se slažu s istraživanjem Gul i sur. (2021) gdje je dodatak repičinog ulja pokazao statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu MUFA na način da se udio povećao u odnosu na kontrolnu grupu. Upravo je najveći udio MUFA pokazao dodatak najmanje količine repičinog ulja od 2 % u odnosu na 4 i 6 %. Udio MUFA se kretao između 46,21 – 47,58 %. Istraživanje Omidi i sur. (2015) pokazalo je da kako dodatak repičinog ulja u odnosu na druga ulja dovodi do najvećeg sadržaja MUFA, dok s druge strane, istraživanje Ceylan i sur. (2011) je pokazalo suprotne

rezultate gdje je dodatak repičinog ulja doveo do najmanjeg sadržaja MUFA. Repičino ulje sadrži relativno visok udio MUFA oko 64 % pa je bilo za očekivati kako će dodatak dovesti do povećanja (Strakova i sur., 2006).

Udio polinezasićenih masnih kiselina (PUFA) kretao se od 20,68 – 26,53 %. Hibrid kukuruza, dodatak repičinog ulja te dodatak lysoforte-a pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu PUFA (Tablica 12) pa su tako uzorci jaja hibrida Os403 imali veći udio PUFA od uzoraka jaja hranjenih hibridom Bc572; dodatak većeg udjela repičinog ulja (3 i 4 %) je utjecao na povećanje PUFA u svim uzorcima jaja dok je dodatak lysoforte-a utjecao na smanjenje PUFA. Repičino ulje sadrži visok udio PUFA oko 24 % što u skladu s rezultatima kojima je dodatak većih koncentracija doveo do povećanja udjela (Strakova i sur., 2009). U istraživanju Gul i sur. (2021) udio PUFA se kretao između 17,61 - 19,00 % što su nešto niže vrijednosti u odnosu na ovo istraživanje. Količina PUFA u skupinama s dodatkom repičinog ulja se smanjivala s povećanjem koncentracije repičinog ulja u usporedbi s kontrolnom skupinom ($p < 0,05$). U drugom istraživanju u kojem su se koristila različita ulja za hranjenje u količini od 3,0 % kod kokoši nesilica, utvrđeno je da je količina PUFA bila veća u skupinama s lanenim uljem i sojinim uljem i niža u skupini s repičinim uljem (Pita i sur., 2010).

Udio n6 masnih kiselina kretao se od 19,80 – 25,50 %. Hibrid kukuruza, dodatak repičinog ulja te dodatak lysoforte-a pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu PUFA pa su tako uzorci jaja hibrida Os403 imali veći udio n6 od uzoraka jaja hranjenih hibridom Bc572; dodatak većeg udjela repičinog ulja (3 i 4 %) je utjecao na povećanje n6 u svim uzorcima jaja dok je dodatak lysoforte-a utjecao na smanjenje n6. Prosječni udio n6 u repičinom ulju iznosi oko 17 % što je rezultat povećanja n6 masnih kiselina (Strakova i sur., 2009). U istraživanju Ceylan i sur. (2021) dodatak repičinog ulja pokazao je najveći udio n6 u jajima ($p < 0,05$) u usporedbi s drugim uljima. Udio n6 u jajima s repičinim uljem iznosio je oko 19 % dok je u istraživanju Gul i sur. (2021) dodatak repičinog ulja doveo je do smanjenja udjela n6 u odnosu na kontrolnu grupu te je udio n6 u jajima s dodatkom repičinog ulja iznosio oko 16%. Istraživanje Cherian (2008) pokazalo je kako dodatak veće koncentracije ribljeg ulja koje samim time sadržava više n3 je doveo do manjeg udjela n6 u odnosu na dodanu manju koncentraciju ribljeg ulja. Također, u istraživanju Žepine (2022) dodatak lanenog sjemena u hranidbu doveo je do manjeg udjela n6. U istraživanju Kralik i sur. (2007) statistički značajno manji ($p < 0,05$) udio ukupnih PUFA n6 masnih kiselina utvrđen je kod skupine s 3,5 % ribljeg ulja i 1,5 % repičinog ulja u odnosu na skupinu s 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % repičinog ulja.

Tablica 11. Utjecaj različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na udio masti i sastav masnih kiselina

MASNE KISELINE (%)	H1T1	H1T2	H1T3	H1T4	H1T5	H1T6	H2T1	H2T2	H2T3	H2T4	H2T5	H2T6
UDIO												
MASTI (%)	33,48±0,62	34,71±0,11	33,96±0,04	34,11±0,45	34,24±0,27	34,01±0,05	33,68±0,74	33,09±1,53	33,98±0,26	33,76±0,28	33,98±0,20	33,54±0,21
C14:0	0,37±0,00 ^A	0,32±0,00 ^B	0,31±0,01 ^C	0,34±0,00 ^A	0,31±0,00 ^B	0,31±0,01 ^C	0,36±0,01 ^A	0,30±0,01 ^B	0,31±0,01 ^C	0,34±0,01 ^A	0,38±0,02 ^B	0,30±0,01 ^C
C16:0	26,17±0,09 ^{aA}	25,33±0,11 ^{aB}	24,88±0,30 ^{aC}	26,07±0,33 ^{aA}	25,48±0,15 ^{aB}	24,60±0,31 ^{aC}	26,08±0,21 ^{bA}	24,15±0,18 ^{bB}	24,27±0,16 ^{bC}	25,82±0,27 ^{bA}	25,40±0,36 ^{bB}	24,34±0,21 ^{bC}
C16:1	2,58±0,02 ^A	2,02±0,02 ^B	2,07±0,06 ^C	2,48±0,07 ^A	2,12±0,05 ^B	1,91±0,07 ^C	2,62±0,06 ^A	1,86±0,06 ^B	2,03±0,04 ^C	2,67±0,11 ^A	2,36±0,10 ^B	1,56±0,03 ^C
C17:0	0,14±0,00 ^{bB}	0,14±0,00 ^{bA}	0,14±0,01 ^{bA}	0,13±0,00 ^{bB}	0,15±0,01 ^{bA}	0,15±0,01 ^{bA}	0,15±0,00 ^{aB}	0,17±0,00 ^{aA}	0,15±0,00 ^{aA}	0,14±0,00 ^{aB}	0,15±0,00 ^{aA}	0,16±0,00 ^{aA}
C18:0	8,26±0,13 ^{ay}	8,71±0,01 ^{ay}	8,13±0,31 ^{ay}	8,74±0,06 ^{ax}	8,80±0,13 ^{ax}	8,69±0,10 ^{ax}	8,21±0,05 ^{by}	8,13±0,03 ^{by}	8,09±0,07 ^{by}	8,41±0,07 ^{bx}	7,55±0,41 ^{bx}	8,82±0,15 ^{bx}
C18:1 cis	40,74±0,26 ^A	39,58±0,42 ^B	40,91±0,25 ^B	41,35±0,06 ^A	40,02±0,37 ^B	39,89±0,16 ^B	40,68±0,25 ^A	38,65±0,14 ^B	40,16±0,31 ^B	41,16±0,68 ^A	40,82±1,14 ^B	38,73±0,12 ^B
C18:2 cis n6	18,47±0,37 ^{bAx}	20,54±0,41 ^{bAx}	20,49±0,68 ^{bBx}	17,52±0,47 ^{bAy}	19,53±0,60 ^{bAy}	20,89±0,19 ^{bBy}	18,45±0,16 ^{aAx}	23,28±0,23 ^{aAx}	21,63±0,31 ^{aBx}	17,99±0,35 ^{aAy}	20,67±0,48 ^{aAy}	22,61±0,15 ^{aBy}
C18:3n6	0,14±0,00 ^y	0,15±0,00 ^y	0,16±0,00 ^y	0,16±0,01 ^x	0,15±0,01 ^x	0,18±0,00 ^x	0,18±0,01 ^y	0,13±0,01 ^y	0,14±0,01 ^y	0,16±0,00 ^x	0,17±0,01 ^x	0,15±0,01 ^x
C18:3n3 ALA	0,19±0,01 ^{bAx}	0,17±0,01 ^{bAx}	0,17±0,01 ^{bBx}	0,16±0,00 ^{bAy}	0,16±0,01 ^{bAy}	0,18±0,01 ^{bBy}	0,22±0,00 ^{aAx}	0,23±0,00 ^{aAx}	0,18±0,00 ^{aBx}	0,19±0,00 ^{aAy}	0,21±0,01 ^{aAy}	0,16±0,00 ^{aBy}
C20:1	0,19±0,00 ^A	0,20±0,00 ^C	0,20±0,01 ^B	0,22±0,00 ^A	0,19±0,01 ^C	0,18±0,01 ^B	0,19±0,00 ^A	0,20±0,00 ^C	0,20±0,00 ^B	0,19±0,01 ^A	0,19±0,01 ^C	0,17±0,00 ^B
C20:2	0,20±0,00 ^{bBx}	0,22±0,01 ^{bAx}	0,21±0,01 ^{bAx}	0,21±0,00 ^{bBy}	0,21±0,00 ^{bAy}	0,22±0,01 ^{bAy}	0,20±0,00 ^{aBx}	0,28±0,01 ^{aAx}	0,24±0,01 ^{aAx}	0,20±0,01 ^{aBy}	0,21±0,01 ^{aAy}	0,24±0,00 ^{aAy}
C20:3	0,16±0,00 ^y	0,18±0,00 ^y	0,17±0,00 ^y	0,18±0,00 ^x	0,18±0,00 ^x	0,18±0,00 ^x	0,18±0,00 ^y	0,18±0,00 ^y	0,17±0,00 ^y	0,19±0,01 ^x	0,17±0,01 ^x	0,19±0,01 ^x
C20:4n6	2,09±0,05	2,15±0,05	1,92±0,22	2,12±0,02	2,33±0,02	2,30±0,02	2,13±0,04	2,09±0,03	2,10±0,06	2,21±0,07	1,55±0,30	2,27±0,08
C22:6n3 DHA	0,30±0,01 ^A	0,29±0,01 ^B	0,24±0,03 ^B	0,32±0,01 ^A	0,36±0,02 ^B	0,31±0,01 ^B	0,35±0,01 ^A	0,34±0,00 ^B	0,31±0,02 ^B	0,34±0,01 ^A	0,18±0,06 ^B	0,29±0,01 ^B
SFA	34,94±0,10 ^{aAy}	34,50±0,11 ^{aBy}	33,47±0,58 ^{aCy}	35,27±0,35 ^{aAx}	34,74±0,28 ^{aBx}	33,76±0,24 ^{aCx}	34,80±0,23 ^{bAy}	32,75±0,15 ^{bBy}	32,82±0,18 ^{bCy}	34,71±0,26 ^{bAx}	33,48±0,61 ^{bBx}	33,62±0,08 ^{bCx}
MUFA	43,51±0,24 ^A	41,80±0,44 ^B	43,17±0,22 ^B	44,05±0,13 ^A	42,34±0,42 ^B	41,98±0,15 ^B	43,49±0,26 ^A	40,72±0,16 ^B	42,39±0,34 ^B	44,02±0,56 ^A	43,37±1,22 ^B	40,46±0,11 ^B
PUFA	21,55±0,32 ^{bBx}	23,70±0,48 ^{bAx}	23,36±0,45 ^{bAx}	20,68±0,46 ^{bBy}	22,92±0,64 ^{bAy}	24,26±0,23 ^{bAy}	21,71±0,21 ^{aBx}	26,53±0,25 ^{aAx}	24,79±0,35 ^{aAx}	21,28±0,44 ^{aBy}	23,16±0,64 ^{aAy}	25,92±0,14 ^{aAy}
n6	20,70±0,33 ^{bBx}	22,85±0,46 ^{bAx}	22,57±0,47 ^{bAx}	19,80±0,46 ^{bBy}	22,01±0,62 ^{bAy}	23,37±0,21 ^{bAy}	20,76±0,20 ^{aBx}	25,50±0,25 ^{aAx}	23,87±0,34 ^{aAx}	20,36±0,42 ^{aBy}	22,39±0,59 ^{aAy}	25,04±0,14 ^{aAy}
n3	0,49±0,01 ^{bA}	0,45±0,01 ^{bB}	0,41±0,02 ^{bB}	0,48±0,01 ^{bA}	0,53±0,02 ^{bB}	0,49±0,02 ^{bB}	0,57±0,01 ^{aA}	0,57±0,00 ^{aB}	0,50±0,01 ^{aB}	0,54±0,01 ^{aA}	0,39±0,05 ^{aB}	0,45±0,01 ^{aB}
n6/n3	42,59±0,84 ^C	50,64±0,41 ^B	56,83±4,43 ^A	41,13±0,88 ^C	41,94±0,58 ^B	48,16±1,55 ^A	36,30±0,50 ^C	44,81±0,50 ^B	48,17±1,09 ^A	38,11±0,68 ^C	63,83±9,13 ^B	55,30±0,87 ^A
MUFA/SFA	1,25±0,00	1,21±0,01	1,29±0,03	1,25±0,01	1,22±0,01	1,24±0,01	1,25±0,01	1,24±0,01	1,29±0,01	1,27±0,02	1,30±0,06	1,20±0,00
PUFA/SFA	0,62±0,01 ^{bCx}	0,69±0,02 ^{bBx}	0,70±0,03 ^{bAx}	0,59±0,02 ^{bCy}	0,66±0,02 ^{bBy}	0,72±0,01 ^{bAy}	0,62±0,01 ^{aCx}	0,81±0,01 ^{aBx}	0,76±0,01 ^{aAx}	0,61±0,01 ^{aCy}	0,69±0,01 ^{aBy}	0,77±0,01 ^{aAy}
MUFA/PUFA	2,02±0,04 ^{aA}	1,77±0,05 ^{aB}	1,85±0,03 ^{aB}	2,14±0,06 ^{aA}	1,86±0,07 ^{aB}	1,73±0,02 ^{aB}	2,00±0,03 ^{bA}	1,54±0,02 ^{bB}	1,71±0,04 ^{bB}	2,08±0,07 ^{bA}	1,89±0,10 ^{bB}	1,56±0,01 ^{bB}

*Različita slova (a, b) u istom stupcu označavaju statistički značajnu razliku ($p \leq 0,05$) za utjecaj hibrida, (A, B, C) za utjecaj dodatka ulja i (x, y) za dodatak lysoforte-a.

**H-hibrid, R-repičino ulje, L-lysoforte, T-tretman; H1T1- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T2-Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T3- Hibrid Bc572, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H1T4- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H1T5- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H1T6- Hibrid Bc572, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T1- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T2- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T3- Hibrid Os403, bez dodatka lysoforte-a, 4% repičinog ulja; H2T4- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 2% repičinog ulja; H2T5- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 3% repičinog ulja; H2T6- Hibrid Os403, dodatak 0,5g/kg lysoforte-a, 4% repičinog ulja.

Udio n3 masnih kiselina kretao se od 0,39 – 0,57 %. Hibrid kukuruza te dodatak repičinog ulja pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu n3 pa su tako uzorci jaja hibrida Os403 imali veći udio n3 od uzoraka jaja hranjenih hibridom Bc572; dodatak manjeg udjela repičinog ulja (2 %) utjecao je na povećanje n3 u svim uzorcima jaja. Dodatak lysoforte-a nije pokazao statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u udjelu n3. Prosječni udio n3 u repičinom ulju iznosi oko 6 % (Strakova i sur., 2009), što je u skladu s time da povećanjem koncentracije repičinog ulja nije došlo do povećanja n3 u uzorcima ovog istraživanja. Suprotno tome, u istraživanju Gul i sur. (2021) upravo dodatak veće koncentracije od 6 % repičinog ulja povećao je udio n3 u jajima u odnosu na dodatak 2 i 4 % ($p < 0,05$). Slične rezultate dobili su Rowghani i sur. (2007) gdje je dodatak 5 % repičinog ulja pokazao veće vrijednosti n3 u odnosu na dodatak 3 % repičinog ulja ($p < 0,05$). Spominju kao razlog tomu da kokoši mogu pretvoriti α -linolensku kiselinu u n-3 masnu kiselinu i pohraniti je u žumanjku jajeta te na temelju navedenih rezultata čini se da dodatak većih količina repičinog ulja u hranidbi kokoši koja se temelji na kukuruзу i sojinom brašnu može povećati sadržaj n-3 masnih kiselina u žumanjku jajeta što može imati korisne učinke na zdravlje ljudi. Nadalje, istraživanje Cherian (2008) pokazalo je kako dodatak veće koncentracije ribljeg ulja koje samim time i sadržava više n3 je doveo do većeg udjela n3 u odnosu na manju koncentraciju ribljeg ulja. Također, u istraživanju Žepine (2022) dodatak lanenog sjemena doveo je do većeg udjela n6. U istraživanju Omidi i sur. (2015) najveći udio n3 u jajima pokazao je dodatak ribljeg ulja pa zatim repičinog u odnosu na maslinovo, sojino i ulje sjemenki grožđa. Ceylan i sur. (2011) utvrdili su kako dodatak lanenog, suncokretovog, ribljeg te repičinog ulja u količinama od 1,5 % i 3 % u hranidbi za nesilice povećava udio n-3 masnih kiselina. U istraživanju Kralik i sur. (2007) statistički značajno veći ($p < 0,05$) udio ukupnih PUFA n3 utvrđen je kod skupine s 3,5 % ribljeg ulja i 1,5 % repičinog ulja u odnosu na skupinu s 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % repičinog ulja te kontrolnom skupinom.

Omjer n6/n3 iznosio je između 36,30 – 63,83. Hibrid kukuruza te dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u omjeru n6/n3, dok je dodatak repičinog ulja pokazao statistički značajnu razliku ($p < 0,001$) pa su tako uzorci jaja s dodatkom većeg udjela repičinog ulja (4 %) imali i veći omjer n6/n3. To je u skladu s već navedenim rezultatima kako je dodatak veće koncentracije repičinog ulja pokazao veći udio n6, a manji udio n3 i obratno jer repičino ulje općenito sadrži više n6 nego n3 masnih kiselina. Ti rezultati su u skladu i s istraživanjem Cherian (2008) gdje je dodatak većih koncentracija ribljeg ulja, koje i samo sadrži veće količine n-3 masnih kiselina, pokazalo manji omjer n6/n3. Isto tako, u istraživanju Žepine (2022) jaja obogaćena lanenim sjemenkama pokazala su isto manji omjer n6/n3 u odnosu na neobogaćena jaja. Stoga, upotreba hranidbi bogatih n-3 masnim kiselinama (npr. ribljim i lanenim uljem) smanjuje sadržaj n-6 masnih kiselina u žumanjku jaja te samim time i omjer n6/n3 (Omid i sur., 2015). U istraživanju Ceylan i sur. (2011) utvrđeno je kako laneno, suncokretovo, riblje i repičino ulje u količinama od 1,5 i 3 % u hrani za nesilice je smanjuje omjer n6/n3 masnih kiselina u žumanjku. U istraživanju Kralik i sur. (2007) statistički značajno manji ($p < 0,05$) omjer n6/n3 utvrđen je kod skupine s 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % repičinog ulja u odnosu na skupinu s 3,5 % ribljeg ulja i 1,5 % repičinog ulja te kontrolnom skupinom.

Omjer PUFA/SFA kretao se između 0,59 – 0,81 . Hibrid kukuruza, dodatak repičinog ulja te dodatak lysoforte-a pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u omjeru PUFA/SFA pa su tako uzorci jaja hibrida Os403 imali veći omjer PUFA/SFA od uzoraka jaja hranjenih hibridom Bc572, dok je dodatak većeg udjela repičinog ulja (4 %) utjecao na povećanje omjera PUFA/SFA u svim uzorcima jaja. Istraživanje Cherian (2008) o dodatku različitih koncentracija ribljeg ulja nije pokazalo statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u omjeru PUFA/SFA. Dodatak lysoforte-a utjecao je na smanjenje omjera PUFA/SFA u odnosu na tretmane bez dodatka lysoforte-a. Općenito su potrebna dodatna istraživanja o dodatku emulgatora u hranidbi kokoši nesilica te njihovom učinku na sastav masnih kiselina u jajima. Rezultati istraživanja Ahmadi-Sefat i sur. (2022) pokazali su da uključivanje mješavine emulgatora u hranidbi kokoši nesilica povećava udio SFA te smanjuje udio PUFA u mesu kokoši nesilica, rezultirajući nižim omjerom PUFA/SFA. U ovom istraživanju sličan učinak u sastavu jaja se pokazao s dodatkom lysoforte-a koji je također doveo do povećanja SFA, smanjenja PUFA te samim time i smanjenim omjerom PUFA/SFA. Nagađaju kako dodatak emulgatora može olakšati otapanje slobodnih masnih kiselina koje su teško topljive u žučnim solima micela, što rezultira povećanom probavljivošću zasićenih masnih kiselina i posljedično povećanim nakupljanjem masnih kiselina u tjelesnom tkivu pa posljedično i u jajima.

Tablica 12. Prikaz statistički značajnih razlika (p-vrijednosti) u analizi utjecaja različitog hibrida kukuruza, dodatka repičinog ulja i prirodnog emulgatora na udio masti i sastav masnih kiselina

MASNE KISELINE	Dodatak						
	Hibrid (H)	Repičino ulje (R)	lysoforte (L)	H×R	H×L	R×L	H×R×L
UDIO MASTI	0,230	0,823	0,709	0,527	0,874	0,774	0,422
C14:0	0,915	<0,001	0,915	0,030	0,005	<0,001	0,003
C16:0	0,004	<0,001	0,320	0,396	0,122	0,020	0,180
C16:1	0,743	<0,001	0,699	0,003	0,300	<0,001	0,001
C17:0	<0,001	<0,001	0,095	0,538	0,006	0,001	0,017
C18:0	0,001	0,481	0,015	0,001	0,189	0,002	0,230
C18:1 cis	0,145	<0,001	0,425	0,304	0,452	0,001	0,197
C18:2 cis n6	<0,001	<0,001	0,011	0,012	0,705	<0,001	0,105
C18:3n6	0,883	0,403	0,003	<0,001	1,000	0,130	<0,001
C18:3n3 ALA	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,020	0,010	0,427
C20:1	0,179	0,050	0,094	0,166	0,009	0,010	0,632
C20:2	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007
C20:3	0,453	0,923	0,017	0,449	0,573	0,003	0,377
C20:4n6	0,165	0,278	0,481	0,004	0,036	0,029	0,067
C22:6n3 DHA	0,945	0,017	0,873	0,001	<0,001	0,059	0,004
SFA	<0,001	<0,001	0,039	0,016	0,604	0,582	0,484
MUFA	0,135	<0,001	0,480	0,146	0,399	<0,001	0,083
PUFA	<0,001	<0,001	0,021	0,084	0,189	<0,001	0,021
n6	<0,001	<0,001	0,021	0,060	0,317	<0,001	0,028
n3	0,010	<0,001	0,120	0,020	<0,001	0,036	0,001
n6/n3	0,621	<0,001	0,388	0,014	<0,001	0,337	0,022
MUFA/SFA	0,232	0,611	0,520	0,063	0,764	0,006	0,348
PUFA/SFA	<0,001	<0,001	0,004	0,020	0,131	<0,001	0,032
MUFA/PUFA	0,001	<0,001	0,05	0,287	0,300	<0,001	0,064

*Podebljane vrijednosti su statistički značajne ($p \leq 0,05$).

Omjer MUFA/SFA iznosio je oko 1,25. Hibrid kukuruza te dodatak repičinog ulja i lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u omjeru MUFA/SFA. Omjer MUFA/PUFA

kretao se između 1,56 – 2,14. Hibrid kukuruza i dodatak repičinog ulja pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u omjeru PUFA/SFA pa su tako uzorci jaja hibrida Bc572 imali veći omjer MUFA/PUFA od uzoraka jaja hranjenih hibridom Os403; dodatak manjeg udjela repičinog ulja (2 %) je utjecao na povećanje omjera MUFA/PUFA u svim uzorcima jaja. Dodatak lysoforte-a nije pokazao statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u omjeru MUFA/PUFA.

Najzastupljenije masne kiseline u uzorcima ovog istraživanja su oleinska (38,65 – 41,16 %), palmitinska (24,15 – 26,17 %), linolna (17,99 - 23,28 %) i stearinska masna kiselina (7,55 – 8,82 %), dok su najmanje zastupljene masne kiseline su margarinska, γ -linolenska i eikozatrienska masna kiselina.

Udio miristinske masne kiseline (C14:0) iznosio je oko 0,35 %. Dodatak repičinog ulja pokazao je statistički značajnu razliku ($p < 0,001$) u udjelu miristinske masne kiseline pa je tako dodatak 2 % repičinog ulja imao veći udio C14:0 u odnosu na tretmane s 3 i 4 %. Također, u istraživanju Gul i sur. (2012) dodatak repičinog ulja pokazao je statistički značajnu razliku u udjelu miristinske masne kiseline te je upravo dodatak 2 % repičinog ulja imao veći udio C14:0 u odnosu na dodatak 4 i 6 % repičinog ulja.

Udio palmitinske masne kiseline (C16:0) kretao se od 24,15 – 26,17 %. Hibrid Bc572 pokazao je veći udio palmitinske masne kiseline u odnosu na hibrid Os403 ($p < 0,05$). Dodatak 2 % repičinog ulja imao je veći udio C16:0 u odnosu na dodatak 3 i 4 % ($p < 0,05$). Iste rezultate je pokazalo istraživanje Gul i sur. (2012) gdje je dodatak 2 % repičinog ulja imalo veći udio palmitinske masne kiseline u odnosu na dodatak 4 i 6 %. Prosječni udio palmitinske kiseline u repičinom ulju iznosi oko 4,5 % pa stoga i očekivano dodatak većih koncentracija repičinog ulja nije pokazao veće vrijednosti C16:0 (Matthaus i sur., 2016).

Udio palmitoleinske masne kiseline (C16:1) kretao oko 1,56 – 2,67 %. Dodatak 2 % repičinog ulja pokazao je veći udio C16:1 u odnosu na dodatak 3 i 4 % ($p < 0,05$). Udio margarinske masne kiseline (C17:0) kretao se oko 0,14 %. Hibrid Os403 pokazao je veći udio C17:0 u odnosu na hibrid Bc572, dok je dodatak 3 i 4 % repičinog ulja pokazao veće vrijednosti C17:0 u odnosu na dodatak 2 % ($p > 0,05$).

Udio stearinske masne kiseline (C18:0) kretao se od 7,55 – 8,82 %. Hibrid Bc572 pokazao je veći udio C18:0 u odnosu na hibrid Os403, dok je dodatak lysoforte-a pokazao veće vrijednosti C18:0 u odnosu na tretmane bez njegova dodatka ($p < 0,05$). Dodatak različitih koncentracija repičinog ulja nije pokazao statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u udjelu C18:0 što je u skladu s činjenicom da repičino ulje sadrži male količine stearinske masne kiseline u udjelu između 1,40 – 2,48 % (Matthaus i sur., 2016).

Udio oleinske masne kiseline ((C18:1 cis) u jajima iznosio je između 38,65 – 41,16 %. Dodatak 2 % repičinog ulja pokazao je veće vrijednosti oleinske masne kiseline u odnosu na dodatak 3 i 4 %, međutim za očekivati je bilo kako će upravo veće koncentracije dodanog repičinog ulja povećati udio oleinske masne kiseline iz razloga što ju repičino ulje sadrži oko 63,5 %. U odnosu na ostale masne kiseline, oleinska masna kiselina je najzastupljenija u repičinom ulju (Strakova i sur., 2009). Slične rezultate dobili su Gul i sur. (2012) koji su u svom istraživanju koristili različite razine repičinog ulja (2, 4 i 6 %) te je najmanja količina oleinske kiseline utvrđena u kontrolnoj skupini (36,05 %), dok je najveća količina bila u skupini s 6,0 % repičinog ulja (43,51 %). U usporedbi s drugim izvorima ulja za hranjenje (sojino, laneno i suncokretovo ulje) i kontrolnom skupinom, Milinsk i sur. (2003) izvijestili su da dodatak repičinog ulja povećava količinu oleinske kiseline ($p < 0,01$). U istraživanju Güçlü i sur. (2008) kojim su ispitani učinci različitih izvora ulja za hranjenje na sastav masnih kiselina u jajima kod kokoši nesilica, najviša razina oleinske kiseline utvrđena je u skupini s repičinim uljem zbog visoke razine oleinske kiseline u samom repičinom ulju (73,2 %). Istraživanje dodatka sojinog i repičinog ulja u hranidbi prepelica pokazalo je kako se dodatkom navedenih ulja povećava udio oleinske kiseline u prepeličjim jajima (Roll i sur., 2016). U istraživanju Vlaicu i sur. (2021) hranidba koja je sadržavala dodatak 9 % repičinog ulja s 3 % ulja grožđa je pokazala značajno statistički ($p < 0,05$) manji udio oleinske kiseline u žumanjcima jaja u odnosu na hranidbu koja je sadržavala 9 % lanenog ulja i 3 % ulja krkavine.

Udio linolne masne kiseline (C18:2 cis n6) u jajima iznosio je između 17,99 - 23,28 %. Vrsta hibrida, dodatak različitih razina repičinog ulja i lysoforte-a pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu linolne masne kiseline. Hibrid Os403 pokazao je veći udio linolne masne kiseline u odnosu na hibrid Bc572; dodatak 2 i 3 % repičinog ulja pokazao je veći udio linolne u odnosu na dodatak s 4 % te dodatak lysoforte-a pokazao je veći udio linolne u odnosu na tretmane bez dodatka. Prosječni udio linolne kiseline u repičinom ulju iznosi oko 22 % čime je ona druga najzastupljenije masna kiselina u repičinom ulju, nakon oleinske (Škrtić i sur.,

2006). U skladu s time za očekivati je da će se porastom koncentracije repičinog ulja povećati i udio linolne u jajima, međutim u istraživanju Gul i sur. (2012) najveća količina linolne pronađena je u kontrolnoj skupini (20,43 %), dok je najmanja količina linolne kiseline pronađena upravo u skupini s dodatkom 6 % repičinog ulja. Istraživanje dodatka sojinog i repičinog ulja u hranidbi prepelica pokazalo je kako se njihovim dodatkom smanjuje udio linolne kiseline u prepeličjim jajima (Roll i sur., 2016). Međutim, Halle i Schöne (2013) su izmjerili visoku koncentraciju linolne kiseline utvrđenu u lipidima jajeta uzrokovanu dodatkom 10 % repičinog kolača.

Udio α -linolenske masne kiseline (C18:3n3 ALA) iznosio oko 0,16 – 0,23 %. Vrsta hibrida, dodatak različitih razina repičinog ulja i lysoforte-a pokazali su statistički značajnu razliku ($p < 0,05$) u udjelu α -linolenske masne kiseline. Hibrid Os403 pokazao je veći udio ALA u odnosu na hibrid Bc572; dodatak 2 i 3 % repičinog ulja pokazao je veći udio ALA u odnosu na dodatak 4 % repičinog ulja te dodatak lysoforte-a pokazao je manji udio ALA u odnosu na tretmane bez dodatka. Prosječni udio ALA u repičinom ulju iznosi oko 7 % (Štrakova i sur., 2009). U istraživanju Gul i sur. (2012) najveća količina α -linolenske kiseline (0,93 %) pronađena je u kontrolnoj skupini, dok je najmanja količina ALA pronađena u skupini s 6,0 % repičinog ulja. Rowghani i sur. (2007) su u svom istraživanju koristili repičino ulje u koncentracijama od 3 % i 5 % koje je povećalo postotak ALA dajući razine od 3,43 % i 6,02 % od ukupnih masnih kiselina. U istraživanju Ceylan i sur. došlo je do značajne ($p < 0,05$) interakcije između izvora masti i razine uključivanja u hranidbu; sadržaj α -linolenske kiseline povećao se kada su kokoši hranjene hranidbom s lanenim i repičinim ulje u koncentracijama od 3 % u odnosu na 1,5 %. U istraživanju Kralik i sur. (2007) najveći udio ALA (2,31 %) u mastima žumanjaka imala je skupina s dodatkom 3,5 % ribljeg ulja i 1,5 % repičinog ulja, zatim skupina 1,5 % ribljeg ulja i 3,5 % repičinog ulja (1,21 %), dok je najmanji udio ALA (1,16 %) utvrđen kod kontrolne skupine ($p < 0,05$).

Udio γ -linolenske masne kiseline (C18:3n6) iznosio je oko 0,14 %. Dodatak lysoforte-a pokazao je veći udio γ -linolenske masne kiseline u odnosu na tretmane bez njegova dodatka ($p < 0,05$). Udio gadoleinske masne kiseline (C20:1) iznosio je oko 0,20 %. Dodatak 2 % repičinog ulja pokazao je veći udio C20:1 u odnosu na dodatak 3 i 4 % ($p < 0,05$). Udio eikozadienske masne kiseline (C20:2) iznosio je oko 0,23 %. Hibrid Os403 pokazao je veći udio C20:2 u odnosu na hibrid Bc572; dodatak 3 i 4 % repičinog ulja pokazao je veći udio C20:2 u odnosu na dodatak 2 %, dok je dodatak lysoforte-a pokazalo manji udio C20:2 u odnosu na tretmane s

dodatkom ($p < 0,05$). Udio eikozatrienske masne kiseline (C20:3) iznosio je oko 0,17 %. Dodatak lysoforte-a pokazao je veći udio C20:3 u odnosu na tretmane bez njegova dodatka ($p < 0,05$).

Udio arahidonske masne kiseline (C20:4n6) iznosio je oko 1,55 – 2,33 %. Vrsta hibrida kukuruza, dodatak različitih udjela repičinog ulja te dodatak lysoforte-a nisu pokazali statistički značajnu razliku ($p > 0,05$) u udjelu arahidonske masne kiseline. Prosječni udio arahidonske u repičinom ulju iznosi oko 0,18 % pa je i očekivano kako dodatak repičinog ulja neće imati utjecaja na udio arahidonske u ispitivanim jajima (Lewinska i sur., 2015).

Udio DHA iznosio je oko 0,18 – 0,36 %. Dodatak 2 % repičinog ulja pokazao je veće vrijednosti dokozaheksaenske masne kiseline (C22:6n3 DHA) u odnosu na dodatak 3 i 4 %. S druge strane, Gul i sur. (2012) nisu uočili statističke razlike među grupama za DHA dodatkom različitih razina repičinog ulja (2, 4 i 6 %). Rowghani i sur. (2007) su u svom istraživanju utvrdili kako je dodatak 3 i 5 % repičinog ulja postotak DHA povećao se 8,73 odnosno 9,8 puta u usporedbi s kontrolnom hranidbom ($p < 0,05$). Ceylan i sur. (2011) izvijestili su da je najveća količina DHA bila u skupini s lanenim uljem u usporedbi s drugim uljima (suncokretovo, riblje i repičino). Grobas i sur. (2001) izvijestili su kako su količine DHA povećane u skupinama koje su dodavale ulja za hranjenje (laneno, sojino, maslinovo ulje i loj) u usporedbi s kontrolnom skupinom ($p < 0,05$). U istraživanju Kralik i sur. (2007) veći udio DHA u mastima žumanjaka imale su skupine s dodatkom ribljeg i repičinog ulja u odnosu na kontrolnu skupinu ($p < 0,05$).

5. ZAKLJUČCI

1. Vrsta hibrida, dodatak repičinog ulja i lysoforte-a nisu imali statistički značajan utjecaj ($p > 0,05$) na težinu jaja, pH vrijednost, značajke pjenjenja i udio masti.
2. Dodatak repičinog ulja i lysoforte-a nisu imali statistički značajnog utjecaja ($p > 0,05$) na boju ljuske i boju žumanjka, dok je vrsta hibrida imala ($p < 0,05$) utjecaj te je hibrid Os403 pokazao je veće a^* vrijednosti ljuske, dok je hibrid Bc572 pokazao veće a^* i b^* vrijednosti žumanjka.
3. Od reoloških svojstava, hibrid kukuruza imao je statistički značajan utjecaj ($p < 0,05$) na koeficijent konzistencije, indeks tečenja i prividnu viskoznost bjelanjka; dodatak repičinog ulja utjecao je ($p < 0,05$) na indeks tečenja bjelanjka dok je dodatak lysoforte-a utjecao ($p < 0,05$) na koeficijent konzistencije i indeks tečenja cijelog jajeta, na koeficijent konzistencije, indeks tečenja i prividnu viskoznost bjelanjka i žumanjka.
4. Hibrid Os403 pokazao je veći kapacitet emulzije u odnosu na hibrid Bc572; dodatak 3 % repičinog ulja pokazao je veći kapacitet emulzije u odnosu na dodatak 2 i 4 %; dok je dodatak lysoforte-a pokazao je veću stabilnost emulzije, međutim manji kapacitet emulzije ($p < 0,05$). Vrsta hibrida i repičino ulje nisu imali statistički značajnog utjecaja ($p > 0,05$) na stabilnost emulzije.
5. Vrsta hibrida kukuruza pokazala je statistički značajnu razliku u određivanje mutnoće i indeksa aktiviteta emulzije ($p < 0,05$) pa je hibrid Bc572 pokazao veće vrijednosti mutnoće i indeksa aktiviteta emulzije. Dodatak repičinog ulja te dodatak lysoforte-a nisu utjecali na mutnoću ($p < 0,05$).
6. Od teksturalnih svojstava, vrsta hibrida kukuruza značajno je utjecala ($p < 0,05$) na kohezivnost i tvrdoću, dok su dodatak repičinog ulja i lysoforte-a utjecali ($p < 0,05$) na kohezivnost.
7. Hibrid kukuruza pokazao je statistički značajan utjecaj na SFA, PUFA te sadržaj n_3 i n_6 . Uzorci s hibridom Bc572 pokazali su niži sadržaj SFA, ali viši sadržaj PUFA, n_6 i n_3 . Dodavanje repičinog ulja utjecalo je na sadržaj gotovo svih masnih kiselina, pri čemu su uzorci koji su sadržavali 2% repičinog ulja sadržavali najviše udjele SFA i MUFA, dok su oni s 3% i 4% imali veći sadržaj PUFA, n_3 i n_6 . Dodatak prirodnog emulgatora rezultirao je povišenim sadržajem SFA, posebno C18:0, i smanjenim sadržajem PUFA i n_6 .

6. LITERATURA

- Agah MJ, Nassiri-Moghaddam H, Tahmasbi AM, Lotfollahian K (2010) Performance and fatty acid compositions of yolk lipid from laying hens fed with locally produced canola seed (*Brassica napus* L.). *Res J Bio Sci* **5**(2), 228–232. <https://doi:10.3923/rjbsci.2010.228.232>
- Ahmadi-Sefat AA, Taherpour K, Ghasemi HA, Gharaei MA, Shirzadi H, Rostami F (2022) Effects of an emulsifier blend supplementation on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, and muscle fatty acid profile of broiler chickens fed with different levels of energy and protein. *Poult Sci* **101**(11). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102145>
- Antruejo A, Azcona JO, Garcia PT, Gallinger C, Rosmini M, Ayerza R, i sur. (2011) Omega-3 enriched egg production: the effect of α -linolenic ω -3 fatty acid sources on laying hen performance and yolk lipid content and fatty acid composition. *Br Poult Sci* **52**, 750-760. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.638621>
- Aro H, Rokka T, Valaja J, Hiidenhovi J, Huopalahti R, Ryhänen EL (2011) Functional and sensory properties of hen eggs with modified fatty acid compositions. *Food Funct* **2**(11), 671. <https://doi:10.1039/c1fo10132c>
- Atilgan MR, Unluturk S (2008) Rheological Properties of Liquid Egg Products (LEPS). *Int J Food Prop* **11**(2), 296–309. <https://doi:10.1080/10942910701329658>
- Bašić M, Vilušić M, Mahmutović H, Memić E (2021) Utjecaj lanenog ulja u hrani za nesilice na proizvodne karakteristike i masnokiselinski sastav konzumnih jaja. *Meso* **23**(2), 133-145. <https://doi.org/10.31727/m.23.2.3>
- Bertoncelj J, Gašperlin A, Korošec M (2019) Yolk colour of eggs from different housing systems. *Meso* **21**(4), 378-385. <https://doi.org/10.31727/m.21.4.4>
- Biđin M (2010) Jaja domaće peradi – visokovrijedna namirnica u prehrani ljudi. *Meso* **12**(6), 356-359.
- Blatarić N (2018) Mikrobiološko onečišćenje ljuske kokošnjih jaja iz različitih proizvodnih uzgoja (diplomski rad), Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Borilova G, Fasiangova M, Harustiakova D, Kumprechtova D, Illek J, Auclair E, i sur. (2019) Effects of selenium feed supplements on functional properties of eggs. *J Food Sci Technol* **57**(1), 32-40. <https://doi:10.1007/s13197-019-04026-8>

- Braak T (2023) Eggshell color Eggsplained. *Hendrix Genetics Layers* 20230919.
- Brautigam DL, Li R, Kubicka E, Turner SD, Garcia JS, Weintraut ML, i sur. (2017) Lysolecithin as feed additive enhances collagen expression and villus length in the jejunum of broiler chickens. *Poult Sci* **96**(8), 2889-2898. <https://doi:10.3382/ps/pex078>.
- Campbell L, Raikos V, Euston S (2005) Heat stability and emulsifying ability of whole egg and egg yolk as related to heat treatment. *Food Hydrocoll* **19**(3), 533-539. <https://doi:10.1016/j.foodhyd.2004.10.031>
- Ceylan N, Ciftci 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 Sci* **20**(1), 71-83. <https://doi:10.22358/jafs/66159/2011>
- Cherian G (2008) Egg quality and yolk polyunsaturated fatty acid status in relation to broiler breeder hen age and dietary n-3 oils. *Poult Sci* **87**(6), 1131–11374. <https://doi:10.3382/ps.2007-00333>
- Dautanec T (2022) Analiza funkcionalnih svojstava izolata proteina boba (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Davis C, Reeves R (2002) High value opportunities from the chicken egg. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication, 02/094.
- Ding L, Xia M, Zeng Q, Zhao Q, Cai Z, Zhu Z (2022) Foaming properties and aggregation mechanism of egg white protein with different physical treatments, *LWT - Food Sci Technol* **153**(1) <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112505>
- Dong X, Dong J, Peng Y, Tang X (2017) Comparative study of albumen pH and whole egg pH for the evaluation of egg freshness. *Spectrosc Lett* **50**(9), 463–469. <https://doi:10.1080/00387010.2017.1360357>
- Eleroğlu H, Yıldırım A, Duman M, Okur N (2016) Effect of eggshell color on the egg characteristics and hatchability of guinea fowl (*Numida meleagris*) eggs. *Rev Bras Cienc Avic* **18**, 61–68. <https://doi:10.1590/1806-9061-2015-0154>
- Fouladi P, Nobar RSD, Ahmadzade A (2008) Effect of choline chloride supplement and Canola oil on the performance and feed efficiency in the broiler chickens. *Res J Poult Sci* **3**(2), 58–62.

- Garcia EA, Andrade END, Faitarone A, Vercese F, Ricardo HDA (2013) Cholesterol levels and nutritional composition of commercial layers eggs fed diets with different vegetable oils. *Rev Bras Cienc Avic* **15**(1), 31–37. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2013000100006>
- Gao X, Yao Y, Wu N, Xu M, Zhao Y, Tu Y (2020) The sol-gel-sol transformation behavior of egg white proteins induced by alkali. *Int J Biol Macromol* **155**, 588-597. <https://doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.03.209>
- Gao Z, Duan Z, Zhang J, Zheng J, Li F, Xu G (2022) Effects of Oil Types and Fat Concentrations on Production Performance, Egg Quality, and Antioxidant Capacity of Laying Hens. *Animals* **12**(3), 315. <https://doi.org/10.3390/ani12030315>
- Gao Z, Zhang J, Li F, Zheng J, Xu G (2021) Effect of Oils in Feed on the Production Performance and Egg Quality of Laying Hens. *Animals* **11**, 3482. <https://doi.org/10.3390/ani11123482>
- Gharbi N, Labbafi M (2019) Influence of treatment-induced modification of egg white proteins on foaming properties. *Food Hydrocoll* **90**, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.060>
- Gossett PW, Rizvi SSH, Baker RC (1984) Quantitative analysis of gelation in egg protein systems. *Food Technol*, **38**(5), 67-96.
- Gradiški I (2018) Procjena nutritivne gustoće ručkova u osnovnim školama s područja Grada Zagreba i Zagrebačke županije pomoću NRF6.3 indeksa (diplomski rad), Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Gray J, Griffin BA (2013) Eggs: Establishing the nutritional benefits. *Nutr Bull*, **38**(4), 438–449. <https://doi:10.1111/nbu.12066>
- Grčević M (2014) Obogaćivanje konzumnih jaja luteinom (doktorski rad), Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek.
- Grobas S, Mendez J, Lazaro R, Blas C, Mateos GG (2001) Influence of source and percentage of fat added to diet on performance and fatty acids composition of egg yolks of two strains of laying hens. *Poult Sci* **80**(8), 1171-1179. <https://10.1093/ps/80.8.1171>
- Gul M, Yoruk MA, Aksu T, Kaya A, Kaynar O (2012) The effect of different levels of canola oil on performance, egg shell quality and fatty acid composition of laying hens. *Int J Poult Sci* **11**(12), 769–776. <https://doi:10.3923/ijps.2012.769.776>

Güçlü BK, Uyanik F, Iscan KM (2008) Effects of dietary oil sources on egg quality, fatty acid composition on eggs and blood lipids in laying quail. *South Afr J Anim Sci* **38**(2), 91-100.

Halle I, Schöne F (2013) Influence of rapeseed cake linseed cake and hemp seed cake on laying performance of hens and fatty acid composition of egg yolk. *J Verbr Lebensm* **8**(3), 185–193. <https://doi:10.1007/s00003-013-0822-3>

Han YK, Jin YH, Lee WI, Lee KT, Thacker PA (2010) Influence of lysolecithin on the performance of laying hens, interior and exterior egg quality as well as fat soluble vitamin and cholesterol in the yolk. *Asian J Anim Vet Adv* **9**(20), 2583–2588. <https://doi:10.3923/javaa.2010.2583.2588>

Hartmann C, Wilhelmson M (2001) The hens egg yolk: a source of biologically active substances. *World's Poult Sci J* **57**(1), 13-28. <https://doi.org/10.1079/WPS20010003>

Herron KL, Vega–Lopez S, Conde K, Ramjiganesh T, Shachter NS, Fernandez ML (2003) Men classified as hypo- or hyper-responders to dietary cholesterol feeding exhibit differences in lipoprotein metabolism. *J Nutr* **133**(4), 1036-1042. <https://doi:10.1093/jn/133.4.1036>

Hu GL, Xiong J, Liu Y, Yang HJ, Hu LL, Chen P, i sur. (2022) Effects of Lecithin Supplementation in Feed of Different fat Levels on Serum Indexes and Liver Health of Laying Hens. *Front Physiol* **13**, 892585. <https://doi:10.3389/fphys.2022.892585>

IEC (2023) Global Egg Production Continues to Grow. IEC - International Egg Commission, <https://www.internationalegg.com/resource/global-egg-production-continues-to-grow/>
Pristupljeno 26. listopada 2023.

ISO 5508:1990 International standard of animal and vegetable oils and fats – Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids.

ISO 5509:2000 International standard of animal and vegetable oils and fats – Preparation of methyl esters of fatty acids.

Jin YH, Lee KT, Lee WI, Han YK (2011) Effects of Storage Temperature and Time on the Quality of Eggs from Laying Hens at Peak Production. *Asian-Aust J Anim Sci* **24**(2), 279-284. <https://doi:10.5713/ajas.2011.10210>

Jurić V, Jajić I, Bursić V, Jurić J (2005) Nutritivna i upotrebna vrednost jaja. *Letopis naučnih radova* **29**(1), 138-145.

Karolyi D (2007) Polinezasićene masne kiseline u prehrani i zdravlju ljudi. *Meso* **9**(3), 151-158.

Kemin (2023) LYISOFORTE[®] <https://www.kemin.com/na/enus/markets/animal/products/lysoforte/equine> Pristupljeno 10. studenog 2023.

Kitabatake N, Kinekawa Y (1995) Turbidity measurement of heated egg proteins using a microplate system. *Food Chem* **54**(2), 201-203. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00032-E](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00032-E).

Klementavičiūtė J, Gružauskas R, Šašytė V, Daukšienė A, Kliševičiūtė V, Racevičiūtė-Stupelienė A, i sur. (2016) Effect of medium chain fatty acids and emulsifier on quality parameters of laying hen's eggs. *Vet ir Zootech* **73**(95), 1-5.

Kralik G, Has-Schön E, Kralik D, Šperanda M (2008) Peradarstvo, Biološki i zootehnički principi, Sveučilišni udžbenik, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, str. 61-82.

Kralik G, Škrtić Z, Gajčević Z, Hanžek D (2007) Utjecaj različitih ulja u hrani za nesilice na kakvoću jaja i sadržaj masnih kiselina u žumanjku jajeta. *Krmiva* **49**(3), 115-125.

Kusum M, Verma RC, Renu M, Jain HK, Deepak S (2018) Chemical composition and utilization of egg. *Int J Chem Stud* **6**(3), 3186-3189.

Kuzmić I (2018) Udio, sastav i stupanj oksidacije masti u dimljenom pršutu (završni rad), Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Kwan H, Yiu A (2002) The effect of fresh, frozen and dehydrated eggs on sponge cake quality (dissertation), Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of Pretoria, Pretoria.

Lešić T, Vulić A, Cvetnić L, Kudumija N, Škrivanko M, Pleadin J (2015) Udio masti i sastav masnih kiselina u kokošnjim jajima hrvatskih proizvođača. *Vet stn* **46**(5), 349-358.

Lewinska A, Zebrowski J, Duda M, Gorka A, Wnuk M (2015) Fatty Acid Profile and Biological Activities of Linseed and Rapeseed Oils. *Mol* **20**(12), 22872-80. <https://doi:10.3390/molecules201219887>

Li-Chan ECY, Powrie WD, Nakai S (1995) The chemistry of eggs and egg products. U: Stadelmen WJ, Cotterill OJ (ured.) *Egg Science and Technology*, 1. izd, Food Products Press, New York, str. 105 – 175.

- Li X, Chen L, Hua Y, Chen Y, Kong X, Zhang C (2020) Effect of preheating-induced denaturation during protein production on the structure and gelling properties of soybean proteins. *Food Hydrocoll* **105**(11), 105846. [https://doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105846](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105846)
- Lu MY, Xu L, Qi GH, Zhang HJ, Qiu K, Wang J, i sur. (2021). Mechanisms associated with the depigmentation of brown eggshells: a review. *Poult Sci* **100**(8), 101273. [https://doi:10.1016/j.psj.2021.101273](https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101273)
- Lukač M (2016) Utjecaj dodatka limunske kiseline na funkcionalna svojstva tekućih pasteriziranih jaja (diplomski rad), Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Luo X, Wang Q, Wu Y, Duan W, Zhang Y, Geng F, i sur. (2022) Mechanism of effect of heating temperature on functional characteristics of thick egg white. *LWT* **154**, 112807. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112807>
- Marković T (2014) Utjecaj sastojaka i homogenizacije na reološka svojstva salatne majoneze s kašom banane (diplomski rad), Prehrambeno-tehnološki fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek.
- Marušić Radovčić N, Karlović S, Medić H, Režek Jambrak A (2020) Effect of citric acid addition on functional properties of pasteurized liquid whole eggs. *J Food Sci Technol* **8**(3), 985–995. [https://doi:10.1007/s13197-020-04613-0](https://doi.org/10.1007/s13197-020-04613-0)
- Matthaus B, Özcan MM, Al Juhaimi F (2016) Some rape/canola seed oils: fatty acid composition and tocopherols. *Z Naturforsch C J Biosci* **71**(3-4):73-7. [https://doi:10.1515/znc-2016-0003](https://doi.org/10.1515/znc-2016-0003).
- Mattila P, Rokka T, Könkö K, Valaja J, Rossow L, Ryhänen EL (2003) Effect of Cholecalciferol-Enriched Hen Feed on Egg Quality. *J Agric Food Chem* **51**(1), 283–287. [https://doi:10.1021/jf020743z](https://doi.org/10.1021/jf020743z)
- Mazalli MR, Faria DE, Salvador D, Ito DT (2004) A comparison of the feeding value of different sources of fats for laying hens: 1. performance characteristics. *J Appl Poult Res* **13**(2), 274–279. <https://doi.org/10.1093/japr/13.2.274>
- Milinsk MC, Murakami AE, Gomes STM, Matsushita M, Souza DE (2003) Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. *Food Chem* **83**, 287-292. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00094-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00094-3)

Milostić I (1962) Emulzije i emulgatori. *Mljekarstvo* **12**(2), 36-39.

Milovanović B, Tomović V, Djekic I, Solowiej BG, Lorenzo JM, Barba FJ, i sur. (2021) Color assessment of the eggs using computer vision system and Minolta colorimeter. *J Food Meas Charact* **15**(6). <https://doi:10.1007/s11694-021-01085-4>

Mine Y (1998) Emulsifying characterization of hens egg yolk proteins in oil-in-water emulsions. *Food Hydrocoll* **12**(4), 409–415. [https://doi:10.1016/s0268-005x\(98\)00054-x](https://doi:10.1016/s0268-005x(98)00054-x)

Ministarstvo poljoprivrede (2022) Godišnje izvješće o stanju poljoprivrede u 2021. godini. Ministarstvo poljoprivrede, Zagreb.

Monfort S, Mañas P, Condón S, Raso J, Álvarez I (2012) Physicochemical and functional properties of liquid whole egg treated by the application of pulsed electric fields followed by heat in the presence of triethyl citrate. *Food Res Int* **48**(2), 484–490. <https://doi:10.1016/j.foodres.2012.04.015>.

Mu Y, Zhu LY, Yang A, Gao X, Zhang N, Sun L, Qi D (2019) The effects of dietary cottonseed meal and oil supplementation on laying performance and egg quality of laying hens. *Food Sci Nutr* **7**(7), 2436-2447. <https://doi:10.1002/fsn3.1112>.

Narahari D (2003) Health-promoting and therapeutic uses of egg. *Int J Poult Sci*, **42**(10), 45-47.

Nobakht A, Safamehr A, Sozany S, Galandari I, Taghavi E, Ghaboli A (2011) Comparison of effects of using different levels of animal and vegetable fats and their blends on performance of laying hens. *J Basic Appl Sci Res* **1**(10), 1433-1437.

Oloyede OI, Ikuelogbon AO (2004) Cholesterol content and functional properties of products fractionated from egg yolk, *Biochem* **16**(1), 43-48.

Omidi M, Rahimi S, Torshizi MAK (2015) Modification of egg yolk fatty acids profile by using different oil sources. *Vet Res Forum* **6**(2), 137–141.

Petrović M (2012) Optimizacija proizvodnje konzumnih jaja obogaćenih s omega-3 masnim kiselinama te njihov utjecaj na karakteristike jaja tijekom čuvanja (doktorski rad), Prehrambeno – biotehnoški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Phillips LG, Haque Z, Kinsella JE (1987) A Method for the Measurement of Foam Formation and Stability. *J Food Sci* **52**(4), 1074–1077. <https://doi:10.1111/j.1365-2621.1987.tb14279.x>

Pita MCG, Carvalho PR, Neto EP, Mendonça Jr CX (2010) Effect of Marine Vegetal Sources on the Hen Diets on the PUFAs and PUFAs n-3 in Laying Hens Egg Yolk and Plasm. *Int J Poult Sci* **9**(2), 148-151. <http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2010.148.151>

Pravilnik (2006) Pravilnik o kakvoći jaja. Narodne novine 115, Zagreb, https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_10_115_2561.html, Pristupljeno 16. listopada 2023.

Raikos V, Campbell L, Euston SR (2007) Rheology and texture of hen's egg protein heat-set gels as affected by pH and the addition of sugar and/or salt. *Food Hydrocoll* **21**(2), 237–244. <https://doi:10.1016/j.foodhyd.2006.03.015>

Réhault-Godbert S, Guyot N, Nys Y (2019) The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients* **11**(3). <https://doi:10.3390/nu11030684>

Ren L, Liu J, Zhang X, Zhao S, Lv Y, Guo H (2020) Emulsion, gelation, physicochemical properties and microstructure of phosphorylated and succinylated egg yolk. *LWT - Food Sci* **131**. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00023-6)

Režek Jambrak A (2008) Utjecaj ultrazvuka na fizikalna i funkcionalna svojstva proteina sirutke (doktorski rad), Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Rokka T, Alén K, Valaja J, Ryhänen EL (2002) The effect of a *Camelina sativa* enriched diet on the composition and sensory quality of hen eggs. *Food Res Int* **35**(2-3), 253–256. [https://doi:10.1016/s0963-9969\(01\)00193-4](https://doi:10.1016/s0963-9969(01)00193-4)

Roll AAP, Hobuss CB, Del Pino FAB, Roll VFB, Dionello NJL, Xavier EG i sur. (2016) Canola oil and organic selenium in quail diets: Fatty acid profile, cholesterol content and external egg quality. *Semina Ciênc Agrár* **37**, 405-414. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n1p405>.

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. *Int J Poult Sci* **6**(2), 111–114. <https://doi:10.3923/ijps.2007.111.114>

Rustagi S (2020) Food Texture and Its Perception, Acceptance and Evaluation. *Biosci Biotech Res Asia* **17**(3). <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2869>

Samiullah S, Roberts JR, Chousalkar K (2015) Eggshell color in brown-egg laying hens — a review. *Poult Sci* **94**(10), 2566–2575. <https://doi:10.3382/ps/pev202>

Scalzo AM, Dickerson PW, Peeler JI, Reed RB (1970) The viscosity of egg and egg products. *Food Technol* 24, 1301.

Schwägele FC (2011) Egg quality assurance schemes and egg traceability. U: Nys Y, Bain M, Immerseel FV (ured.) *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*, 1. izd., Woodhead Publishing, str 62-80.

Shafey TM, Dingle JG, McDonald MW, Kostner K (2003) Effect of type of grain and oil supplement on the performance, blood lipoproteins, egg cholesterol and fatty acids of laying hens. *Int J Poult Sc.* 2(3), 200–206. <https://doi:10.3923/ijps.2003.200.206>

Shang XG, Wang FL, Li DF, Yin JD, Li JY (2004) Effects of dietary conjugated linoleic acid on the productivity of laying hens and egg quality during refrigerated storage. *Poult Sci* 83(10), 1688-1695. <https://doi:10.1093/ps/83.10.1688>

Shen Y, Chang C, Shi M, Su Y, Gu L, Li J i sur. (2019) Interactions between lecithin and yolk granule and their influence on the emulsifying properties. *Food Hydrocoll* 105510. <https://doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105510>

Singh J, Sharma HK, Premi M, Kumari K (2011) Effect of storage conditions of egg on rheological properties of liquid whole egg. *J Food Sci Technol* 51(3), 543-550. <https://doi:10.1007/s13197-011-0509-7>

Senčić Đ, Samac D (2017) Nutritivna vrijednost jaja u prehrani ljudi. Stručni rad, *Meso* 19(1), 68-72.

Stadelman WJ, Schmieder H (2002) Functional Uses of Eggs - An Overview. U: Watson RR (ured.) *Eggs and Health Promotion*, 1 izd., Iowa State Press. Iowa, str. 3-7.

Stojanović T (2021) Varijabilnosti fizikalnih i senzorskih svojstava jaja iz slobodnog uzgoja (diplomski rad), Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Straková E, Šerman V, Suchý P, Mas N, Staňa J, Večerek V (2009) Usporedba hranidbene vrijednosti ulja uljarica najviše korištenih u Europi. *Krmiva* 51(5), 243 – 261.

Surai PF, Sparks NHC (2001) Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food. *Trends Food Sci Tech* 12(1), 7-16. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00048-6)

Škrtić Z, Kralik G, Gajčević Z (2006). Obogaćivanje jaja s PUFA n-3. *Krmiva* 48 (2), 95-103.

Trpčić I, Njari B, Zdolec N, Cvrtila Fleck Ž, Fumić T, Kozačinski L (2010) Mikrobiološka kakvoća i ocjena svježine konzumnih jaja. *Meso* **12**(5), 286-293.

Vendl Igor (2020) Utjecaj hranidbe kokoši i temperature skladištenja na kvalitetu konzumnih jaja (specijalistički rad), Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek.

Vlaicu PA, Panaite TD, Turcu RP (2021) Enriching laying hens eggs by feeding diets with different fatty acid composition and antioxidants. *Sci Rep* **11**(1), 20707. <https://doi:10.1038/s41598-021-00343-1>.

Vrdoljak M (2016) Utjecaj dodatka limunske kiseline na svojstva tekućih pasteriziranih jaja tijekom 4 tjedna skladištenja (diplomski rad), Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Wang G (2007) Functionality of egg yolk lecithin and protein and functionality enhancement of protein by controlled enzymatic hydrolysis. Retrospective Theses and Dissertations, 15093 str. 13 – 27.

Webb MF, Maaem HA, Schmidt KA (2002) Food protein functionality in a liquid system: A Comparison of Deamidated Wheat Protein with Dairy and Soy Proteins. *J Food Sci* **67**, 2896-2902. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08835.x>

Xie Y, Wang J, Wang Y, Wu D, Liang D, Ye H, i sur. (2020) Effects of highintensity ultrasonic (HIU) treatment on the functional properties and assemblage structure of egg yolk. *Ultrason Sonochem* **60**. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104767>

Yang SC, Baldwin RE (1995) Functional Properties of Eggs in Foods. U: Stadelman WJ, Newkirk D, Newby L (ured.) Science and Technology, 4.izd, The Hogwarth Press, Inc., New York, str. 405 – 465.

Yuan N, Wang JP, Ding XM, Bai SP, Zeng QF, Su ZW, i sur. (2019) Effects of supplementation with different rapeseed oil sources and levels on production performance, egg quality, and serum parameters in laying hens. *Poult Sci* **98**(4), 1697–1705. <https://doi:10.3382/ps/pey494>

Zayas JF, Lin CS (1989) Emulsifying Properties of Corn Germ Proteins. *Cereal Chem* **66**(4), 263-267.

Zhao F, Li R, Liu Y, Chen H (2023) Perspectives on lecithin from egg yolk: Extraction, physicochemical properties, modification, and applications. *Front Nutr* **9**, 1082671. [https://doi:10.3389/fnut.2022.1082671](https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1082671)

Zhao M, Cai H, Liu M, Deng L, Li Y, Zhang H, i sur. (2019) Dietary glycerol monolaurate supplementation for the functional properties modification of egg white protein. *J Sci Food Agric* **99**(8), 3852-3859. [https://doi:10.1002/jsfa.9607](https://doi.org/10.1002/jsfa.9607)

Zhao W, Yang R, Tang Y, Lu R (2007) Combined Effects of Heat and PEF on Microbial Inactivation and Quality of Liquid Egg Whites. *Int J Food Eng* **3**(4). [https://doi:10.2202/1556-3758.1256](https://doi.org/10.2202/1556-3758.1256)

Žepina M (2022) Utjecaj dodatka lanenog sjemena u ishrani kokoši nesilica na sastav masnih kiselina jaja (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja LUCIJA VRHOVEC izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristila drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Lucija Vrhovec

Vlastoručni potpis