

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ZOOTEHNIKO

Mateja SOVIČ

**VPLIV DODANEGA KOENCIMA Q₁₀ IN LIPOJSKE
KISLINE V KRMO KOKOŠI NA FIZIKALNE LASTNOSTI
JAJC**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ZOOTEHNIKO

Mateja SOVIČ

**VPLIV DODANEGA KOENCIMA Q₁₀ IN LIPOJSKE KISLINE V
KRMO KOKOŠI NA FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**THE EFFECT OF COENZYME Q₁₀ AND LIPOIC ACID ADDED TO
THE FEED OF HENS ON PHYSICAL CHARACTERISTICS OF
EGGS**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2010

S tem diplomskim delom končujem študij kmetijstva - zootehniko. Delo je bilo opravljeno na Katedri za govedorejo, konjerejo, rejo drobnice, perutninarstvo, akvakulturo, etologijo in sonaravno kmetijstvo Oddelka za zootehniko Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Komisija za dodiplomski študij Oddelka za zootehniko je za mentorico diplomskega dela imenovala prof. dr. Antonijo Holcman in za somentorja asist. dr. Gregorja Gorjanca.

Recenzent: prof. dr. Janez SALOBIR

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Ivan ŠTUHEC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Članica: prof. dr. Antonija HOLCMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Član: prof. dr. Janez SALOBIR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Član: asist. dr. Gregor GORJANC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Mateja Sovič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 636.5.084/.087(043.2)=163.6
KG	perutnina/kokoši nesnice/pitovni piščanci/kokoši matere/prehrana živali/krmni dodatki/koencim Q ₁₀ /lipojska kislina/jajca/fizikalne lastnosti
KK	AGRIS L51/6100
AV	SOVIČ, Mateja
SA	HOLCMAN, Antonija (mentorica)/ GORJANC, Gregor (somentor)
KZ	SI-1230 Domžale, Groblje 3
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko
LI	2010
IN	VPLIV DODANEGA KOENCIMA Q ₁₀ IN LIPOJSKE KISLINE V KRMO KOKOŠI NA FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	IX, 47 str., 21 pregl., 8 sl., 50 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<p>Proučevali smo vpliv dodanega koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo kokoši nesnic provenience lohmann brown in kokoši mater pitovnih piščancev provenience ross na fizikalne lastnosti jajc. V začetku poskusa smo vselili po 48 živali vsake izmed provenienc. Poskus je trajal 12 tednov. V času preizkusa smo vsak teden na vseh zbranih jajcih tistega dne izmerili fizikalne lastnosti jajc. Dodatek koencima Q₁₀ je vplival na fizikalne lastnosti jajc kokoši nesnic (temnejšo barvo jajčne lupine, svetlejšo barvo rumenjaka, večji obseg krvnih in mesnih peg), ne pa tudi na fizikalne lastnosti jajc kokoši mater pitovnih piščancev. Lipojska kislina je vplivala na fizikalne lastnosti jajc obeh proizvodnih tipov, vendar različno na določene fizikalne lastnosti jajc. Dodatek lipojske kisline v krmo kokoši nesnic je povzročil, da so nesle jajca s trdnejšo jajčno lupino in boljšo kakovostjo beljaka. Pri materah pitovnih piščancev je povzročil nesenje lažjih jajc, s svetlejšo barvo lupine, večjo trdnostjo lupine, slabšo kakovostjo beljaka ter intenzivneje obarvanim rumenjacom. Skupni dodatek koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo je značilno vplival na več fizikalnih lastnosti jajc kokoši nesnic, kot kokoši mater pitovnih piščancev. Pri jajcih mater pitovnih piščancev je vplival na slabšo kakovost beljaka in intenzivnejše obarvanje rumenjaka. Pri jajcih kokoši nesnic je vplival na temnejše obarvanje lupine, večjo trdnost lupine pri isti debelini, boljšo kakovost beljaka in manjšo intenzivnost obarvanja rumenjaka.</p>

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 636.5.084/.087(043.2)=163.6
CX	poultry/laying hens/broiler breeders/animal nutrition/feed additives/coenzyme Q ₁₀ /lipoic acid/eggs/physical characteristics
CC	AGRIS L51/6100
AU	SOVIČ, Mateja
AA	HOLCMAN, Antonija (supervisor)/GORJANC, Gregor (co-supervisor)
PP	SI-1230 Domžale, Groblje 3
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Animal Science
PY	2010
TI	THE EFFECT OF COENZYME Q ₁₀ AND LIPOIC ACID ADDED TO THE FEED OF HENS ON PHYSICAL CHARACTERISTICS OF EGGS
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	IX, 47 p., 21 tab., 8 fig., 50 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	<p>During the course of our experiment, which lasted 12 weeks, we studied the effect of added coenzyme Q₁₀ and lipoic acid to the feed of lohmann brown laying hens and ross broiler mothers on physical characteristics of eggs. At the beginning of the experiment we placed 48 hens of each provenience into appropriate hen houses. Throughout the experiment we measured once a week the physical characteristics of eggs that were selected on a particular day. The addition of coenzyme Q₁₀ had effect on physical characteristics of laying hens' eggs in terms of causing darker eggshell colour, brighter egg yolk colour and higher incidence of blood and meat spots. However, it did not affect the physical characteristics of broiler mothers' eggs. Lipoic acid influenced the physical characteristics of eggs of both production types but differently with regard to certain physical characteristics. Due to added lipoic acid to their feed, laying hens were laying eggs with increased eggshell firmness and higher egg white quality. Whereas, as regards broiler mothers, the added lipoic acid caused the laying of lighter eggs, with brighter eggshell colour, increased eggshell firmness, lower quality of egg white and more intensive egg yolk colouration. The addition of coenzyme Q₁₀ and lipoic acid to the feed characteristically affected more physical properties of laying hens' eggs than of broiler mothers' eggs. In broiler mothers' eggs the addition caused lower quality of egg white and more intensive egg yolk colouration. As regards the laying hens' eggs the addition of coenzyme Q₁₀ and lipoic acid to the feed caused darker eggshell colouration, increased eggshell firmness at the same thickness, higher quality of egg white and less intensive egg yolk colouration.</p>

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD).....	IV
Kazalo vsebine.....	IV
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	IX
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 KOENCIM Q ₁₀	2
2.1.1 Sinteza koencima Q ₁₀	3
2.1.2 Absorbicija in prenos koencima Q ₁₀	4
2.1.3 Zgodovina koencima Q ₁₀	5
2.1.4 Delovanje ubikinona.....	5
2.1.5 Viri koencima Q ₁₀	6
2.1.6 Poskus s koencimom Q ₁₀	7
2.1.7 Preprečevanje in zdravljenje bolezni s koencimom Q ₁₀	8
2.2 LIPOJSKA KISLINA	9
2.2.1 Zgodovina lipojske kisline	10
2.2.2 Funkcije lipojske kisline.....	10
2.3 KOKOŠI NESNICE LOHMANN BROWN	12
2.4 STARŠI PITOJNIH PIŠČANCEV ROSS	13
2.5 FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC	15
2.5.1 Masa jajca	16
2.5.2 Oblika jajca	17
2.5.3 Fizikalne lastnosti jajčne lupine	18
2.5.4 Fizikalne lastnosti beljaka	20
2.5.5 Fizikalne lastnosti rumenjaka	20
2.5.6 Krvne in mesne pege	21
3 MATERIAL IN METODE	22
3.1 MATERIAL	22
3.2 METODE DELA	23
3.3 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	24
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	26

4.1	FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC KOKOŠI NESNIC LOHMANN	26
4.2	FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC KOKOŠI MATER PITOVNIH PIŠČANCEV ROSS	27
4.3	VPLIV DODATKA V KRMO KOKOŠI NA FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC KOKOŠI NESNIC IN MATER PITOVNIH PIŠČANCEV	29
4.3.1	Indeks oblike	29
4.3.2	Masa jajc	30
4.3.3	Barva lupine	31
4.3.4	Masa lupine	32
4.3.5	Debelina jajčne lupine	33
4.3.6	Trdnost lupine.....	34
4.3.7	Višina gostega beljaka	35
4.3.8	Haughove enote.....	36
4.3.9	Barva rumenjaka	37
4.3.10	Krvne in mesne pege	38
5	SKLEPI	39
6	POVZETEK	42
7	VIRI	44
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Vpliv načina reje na fizikalne lastnosti jajc (Šekeroğlu in sod., 2010: 1742)	13
Preglednica 2: Sestava jajca pri različni starosti kokoši proveniencie ross (Vieira in Moran, 1998: 373).....	14
Preglednica 3: Masa jajca, haughove enote ter nesnost pri različni starosti kokoši mater pitovnih piščancev proveniencie cobb (Tona in sod., 2004: 14)	15
Preglednica 4: Deli kokošnjega jajca (Zorko, 1995: 20).....	15
Preglednica 5: Vpliv indeksa oblike na maso jajca in debelino jajčne lupine (Altuntaş in Şekeroğlu, 2008: 609).....	17
Preglednica 6: Predvidena masa lupine iz ocene specifične masa jajca in mase jajca (Lesson in Summers, 2000: 318)	19
Preglednica 7: Oznake skupin kokoši glede na provenienco in na dodatek v krmi	22
Preglednica 8: Opisni statistični parametri fizikalnih lastnosti jajc po poskusnih skupinah pri kokoših nesnicah proveniencie lohmann brown	27
Preglednica 9: Opisni statistični parametri fizikalnih lastnosti jajc po poskusnih skupinah pri materah pitovnih piščancev ross	29
Preglednica 10: Indeks oblike (LSM) jajc lohmann in ross kokoši v poskusnih skupinah	30
Preglednica 11: Masa jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah	31
Preglednica 12: Barva lupine (LSM) jajc lohmann in ross kokoši po skupinah	32
Preglednica 13: Masa lupine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah.....	32
Preglednica 14: Masa lupine na enoto površine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah	33
Preglednica 15: Debelina jajčne lupine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah.....	34
Preglednica 16: Trdnost lupine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah	35
Preglednica 17: Trdnost lupine (LSM) pri isti debelini lohmann in ross kokoši po skupinah	35

Preglednica 18: Višina gostega beljaka jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah	36
Preglednica 19: Haughove enote jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah.....	37
Preglednica 20: Barva rumenjaka jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah	38
Preglednica 21: Povprečni delež jajc s krvnimi in mesnimi pegi (LSM) pri lohmann in ross kokoših po skupinah	39

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Formula ubikinona (Boyer, 2002).....	2
Slika 2: Redoks stanja koencima Q ₁₀ (Žmitek J. in Žmitek K., 2009).....	3
Slika 3: Prikaz biosinteze koencima Q in holesterola (Rus P. in Rus R. R., 2008).....	3
Slika 4: Shematski prikaz absorbcije in transporta koencima Q ₁₀ (Žmitek J. in Žmitek K., 2009).....	4
Slika 5: Lipojska kislina (oksidirana in reducirana oblika) (Encyclopedia ..., 2005)	9
Slika 6: Molekularna struktura lipojske kisline (Biewenga in sod., 1996).....	10
Slika 7: Kompleks piruvat - dehidrogenaza (Biewenga in sod., 1996).....	11
Slika 8: Primerjava mase jajc lohmann (modra črta) in ross (zelena črta) kokoši glede na starost (Leeson in Summers, 2000; Layer management ..., 2010).....	17

1 UVOD

Kokošje jajce je ena najpomembnejših sestavin človeške prehrane, zlasti kot vir živalskih beljakovin. Nič manj pomembna ni vsebnost rudnin in vitaminov, saj so zbrani v takem razmerju in tako lahko prebavljivi obliki kot v nobeni drugi hrani. Fizikalne metode ocenjevanja zunanje in notranje kakovosti jajca so v preteklosti temeljile predvsem na subjektivnem ocenjevanju. Sodoben sistem ocenjevanja temelji predvsem na elektronski objektivnosti. Oprema, ki so jo razvili na Yorški univerzi v Veliki Britaniji, je sestavljena iz kompleta instrumentov in omogoča merjenje naslednjih lastnosti: barva lupine, deformacija in trdnost lupine, masa jajca, višina beljaka, haughove enote in barva rumenjaka (Holcman in sod., 1996).

Koencim Q₁₀ (KoQ₁₀), poznan tudi kot ubikinon, je po načinu delovanja podoben vitaminom. Pomemben je pri sintezi adenozin trifosfata (ATP) v mitohondrijih in deluje kot v maščobah topni antioksidant. S svojim delovanjem ščiti telo pred prostimi radikali, ki lahko poškodujejo deoksiribonukleinsko kislino (DNA). Ima pomembno vlogo pri prenosu protonov preko membrane lizosomov in s tem ohranja optimalno pH ravnovesje v celicah. Pomemben je tudi kot stabilizator celičnih membran. V telesu nastane v procesu biosinteze, del pa ga zaužijemo s prehrano (Rus P. in Rus R.R., 2008).

Lipojska kislina je spojina, ki vsebuje dve žveplovi ali tiolni skupini. Koencim lipojska kislina, ki deluje kot prostetična skupina lipoamid, je vključen v reakcije prenosa acilnih skupin, povezanih z oksidoredukcijskimi reakcijami, in je hkrati pomemben antioksidant. Lipojska kislina je pomembna tudi zato, ker se veže v kelatne komplekse s kovinskimi ioni (Boyer, 2005). V 60-ih letih prejšnjega stoletja se je raziskovalno zanimanje za lipojsko kislino od fiziološke funkcije postopoma preusmerilo k njeni vlogi v farmakoterapiji (Biewenga in sod., 1996).

V zadnjih letih je veliko raziskav usmerjenih na področje antioksidantov in proučevanje njihove vloge v organizmu. Tako se je pri perutnini proučevalo tudi vpliv dodanega koencima Q₁₀ v krmo piščancev na njegovo vsebnost v tkivih (Penko, 2008; Halilović, 2008; Koren, 2009; David, 2007; Sečko, 2009; Lušnic, 2008).

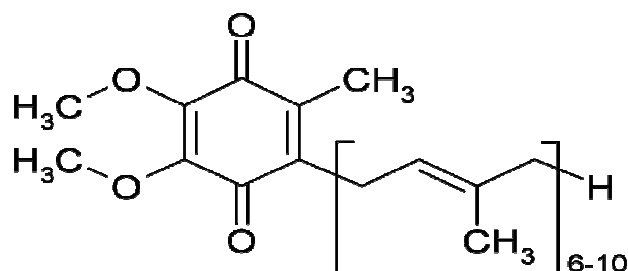
V okviru večjega raziskovalnega projekta, kjer so proučevali vpliv dodanega koencima Q₁₀ in lipojske kisline na ekonomičnost proizvodnje in zdravstveno stanje piščancev ter kokoši nesnic, je bil izveden poskus na kokoših nesnicah provenience lohmann brown in kokoših materah pitovnih piščancev provenience ross. V okviru tega preizkusa pa je bila izdelana tudi ta diplomska naloga, kjer nas je zanimal vpliv dodanega koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo na nekatere fizikalne lastnosti jajc kokoši lahkega in težkega tipa.

2 PREGLED OBJAV

2.1 KOENCIM Q₁₀

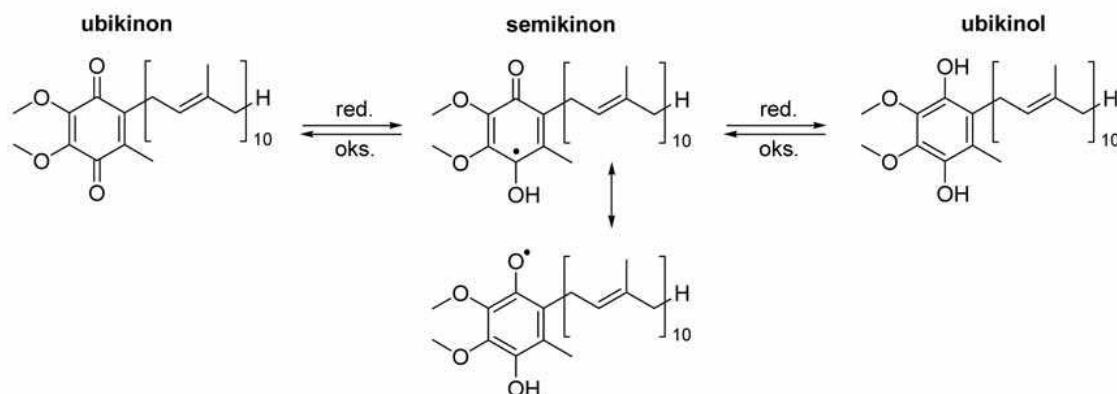
Koencim Q (ubikinon) je spojina v skupini sorodnih kinonovnih derivatov, ki delujejo kot prenašalci elektronov v verižnih reakcijah prenosa elektronov pri celičnem dihanju (Leksikon ..., 1996). Beseda koencim namiguje na besedo encim. V splošnem se koencimi vežejo na posebno mesto na encimu in omogočajo kemijsko reakcijo. Brez koencimov so encimi slabo ali pa sploh neaktivni. Sinonima za koencim Q₁₀ sta ubidekareon in mitokinon. Najpogosteje pa se uporablja sopomenka ubikinon (Hrvatini, 2002). Ime ubikinon je sestavljeno iz dveh delov: ubi, ki pomeni povsem prisoten in kinon, ki se nanaša na kemično sestavo snovi (Littarru, 1995, cit. po Rus P. in Rus R. R., 2008). V širšem pomenu so ubikinoni skupina lipofilnih benzokinonov, ki so strukturno analogni vitaminu K (Hrvatini, 2002).

Osnovni skelet ubikinonov predstavlja 2,3-dimetoksi-5-metilbenzokinon (slika 1), nanj pa so pripete različne terpenoidne stranske skupine, ki vsebujejo od 1 do 10 enkrat nasičenih transizoprenoidnih enot. Stranske verige s 6 do 10 enotami (Q - 6 do Q - 10) so prisotne pri živalih, pri čemer je stranska veriga z 10 izoprenoidnimi enotami (Q - 10) prisotna samo pri človeku. Prisotni so v večini aerobnih organizmov od bakterij do sesalcev (Hrvatini, 2002).



Slika 1: Formula ubikinona (Boyer, 2002)

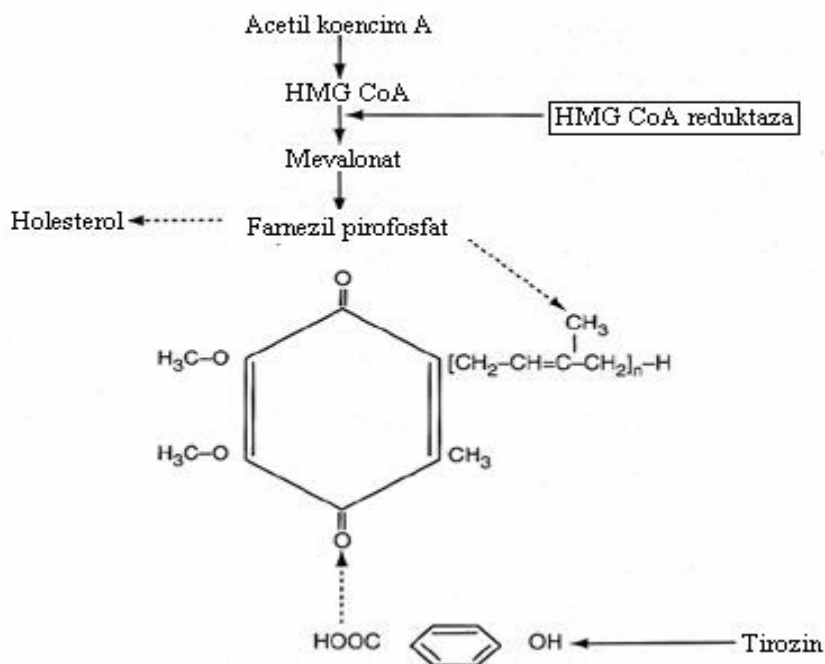
Koencim Q₁₀ je amfifilna molekula, ki ima zaradi dolge nepolarne stranske verige močno prevladujoč lipofilni značaj. Zato se v telesu pojavlja v treh oblikah: v micelnih agregatih, v lipidnih membranah ali pa je vezan na proteine. Večinoma se nahaja v membranah mitohondrijev, medtem ko je v citosolu le okrog 10 % skupnega koencima Q₁₀ (Lenaz in sod., 2007, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009). Vse biološke funkcije koencima Q₁₀ temeljijo na njegovem redoks ravnotežju, saj relativno enostavno prehaja med (popolnoma oksidirano) ubikinonsko, semikinonsko in (polno reducirano) ubikinolno obliko (slika 2), pri čemer redoks potencial ubikinon/ ubikinol [Em(7,0)] znaša okrog 0,1 V (Coenzyme Q ..., 1985, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009).



Slika 2: Redoks stanja koencima Q₁₀ (Žmitek J. in Žmitek K., 2009)

2.1.1 Sinteza koencima Q₁₀

V telesu nastaja koencim Q₁₀ v procesu biosinteze, del pa ga zaužijemo s hrano (Rus P. in Rus R. R., 2008). Sinteza vključuje tri glavne stopnje: iz tirozina ali fenilalanina poteka sinteza benzokinona; sinteza izoprenske verige poteka s pomočjo acetilkoencima A preko mevalonatne poti; tretji korak pa je sklopitev teh struktur (slika 3).

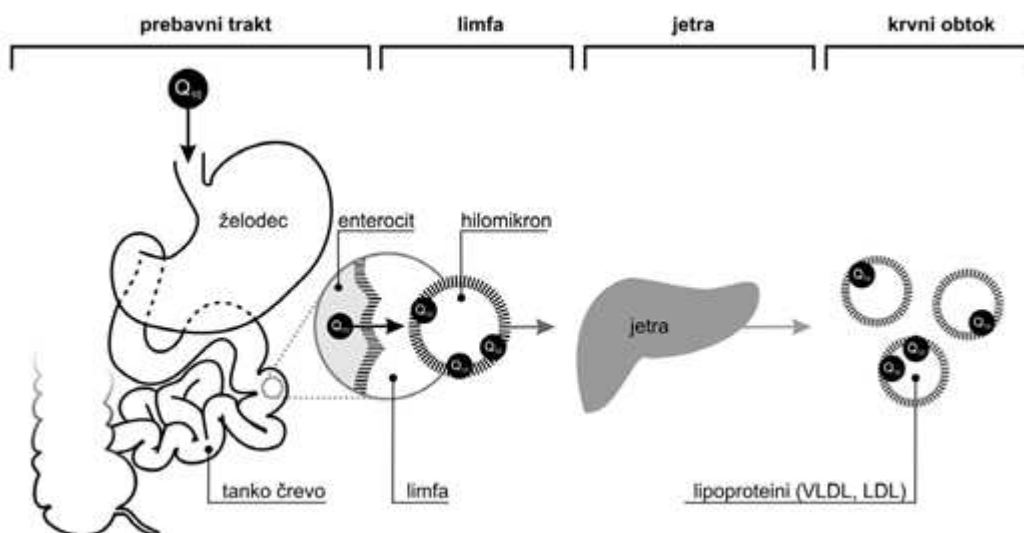


Slika 3: Prikaz biosinteze koencima Q in holesterola (Rus P. in Rus R. R., 2008)

2.1.2 Absorpcija in prenos koencima Q₁₀

Koencim Q₁₀ je rumena kristalinična snov s tališčem okoli 50°C in relativno veliko molekulsko maso ($M_r = 863$) (Coenzyme Q ..., 1985, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009). Zaradi svoje kemijske zgradbe je netopen v vodi, hkrati pa je omejena njegova topnost v lipidih. Posledično se zelo slabo absorbira iz prebavnega trakta. Učinkovitost absorpcije je odvisna od več dejavnikov, tudi od načina zaužitja in odmerka koencima Q₁₀. Absorpcijo lahko povečamo s hkratnim uživanjem hrane (Ochiai in sod., 2007, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009) in z delitvijo enega večjega odmerka na več manjših odmerkov koencima Q₁₀ preko dneva (Singh in sod., 2005, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009). Študije na glodavcih so pokazale le 2 - 3 % absolutno absorpcijo koencima Q₁₀ (Zhang in sod., 1995, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009), pri ljudeh pa je nekoliko večja – predvidoma nekje do 10 % (Weber, 2001, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009). Učinkovitost absorpcije je zelo odvisna tudi od oblike, v kateri učinkovino zaužijemo. Absorpcija koencima Q₁₀ je najučinkovitejša, če ga zaužijemo v vodotopni obliki (Žmitek J. in Žmitek K., 2009).

Mehanizem absorpcije in prenosa koencima Q₁₀ (slika 4) je zelo podoben kot pri vitaminu E, podobni lipofilni molekuli. Sama absorpcija temelji predvsem na emulzifikaciji s pomočjo žolčnih kislin v tankem črevesu; ni znano, da bi kateri del črevesa imel pri tem specifično vlogo. Med absorpcijo pride v enterocitih do naravne redukcije koencima, ki se v krvi pojavi predvsem v reducirani obliki (Bhagavan in Chopra, 2006, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009). Metabolizem koencima Q₁₀ pri človeku ni dobro raziskan; večina raziskav je bila narejena na živalih. Kot kaže, se koencim Q₁₀ metabolizira v vseh tkivih, izloča pa se predvsem z blatom (Bhagavan in Chopra, 2006, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009). Maksimalna koncentracija v krvni plazmi je dosežena v 2 - 6 urah po zaužitju (Žmitek in sod., 2008, cit. po Žmitek J. in Žmitek K., 2009), po prenehanju dodajanja pa se krvna koncentracija v nekaj dneh povrne na izhodiščno raven ne glede na obliko zaužite substance (Žmitek J. in Žmitek K., 2009).



Slika 4: Shematski prikaz absorpcije in transporta koencima Q₁₀ (Žmitek J. in Žmitek K., 2009)

2.1.3 Zgodovina koencima Q₁₀

Hrvatini (2002) in Langsjoen (1994) navajata, da je bil koencim Q₁₀ izoliran leta 1957. Rus P. in Rus R. R. (2008) navajata, da je bil izoliran iz mitohondrija srčne mišice. Izoliral ga je dr. Frederick Crane. Istega leta je profesor Morton opredelil spojino, pridobljeno iz vitamina A. Spojina je bila enaka kot koencim Q₁₀. Zaradi njenih značilnosti jo je poimenoval ubikinon. Leta 1958 je profesor Karl Folkers s sodelovalci določil kemijsko sestavo koencima, jo sintetiziral in je bil prvi, ki jo je pridobil s pomočjo fermentacije. Japonski profesor Yamamura je sredi 1960-ih prvi uporabil koencim Q₇ za zdravljenje človeških bolezni. Leta 1966 sta Mellors in Tappel dokazala, da je reducirana oblika koencima Q₆ odličen antioksidant. Gian Paolo Littarru iz Italije je leta 1972 skupaj s profesorjem Karlom Folkersom dokazal pomanjkanje koencima Q₁₀ pri srčnih bolnikih. Sredi 1970-ih so na Japonskem začeli proizvajati čisti koencim Q₁₀ v večji količini. Dr. Peter Mitchell je leta 1978 dobil Nobelovo nagrado za proučitev delovanja koencima Q in določitev njegove vloge v organizmu (Mitchell, 1976, 1991, cit. po Rus P. in Rus R. R., 2008). Že na začetku 1980-ih so pospešeno preizkušali koencim Q₁₀. S pomočjo ločljive tekočinske kromatografije so merili količino koencima Q₁₀ v krvi in tkivih. Lars Ernster iz Švedske je ugotovil pomembnost koencima Q₁₀ kot antioksidanta ter lovilca prostih radikalov (Ernster, 1977, cit. po Langsjoen, 1994). Pri raziskovanju koencima Q ima pomembno vlogo tudi Kemijski inštitut iz Ljubljane, saj mu je leta 2005 na podlagi večletnih raziskav uspelo razviti vodotopno obliko koencima Q₁₀, kar omogoča njegovo lažje dodajanje živilom, kot sta na primer mleko in jogurt (Stražišar, 2005, cit. po Rus P. in Rus R. R., 2008).

2.1.4 Delovanje ubikinona

Ubikinon skrbi za nastanek 95 % celotne telesne energije in brez njega ni življenja, saj je od ubikinona odvisno funkcioniranje celic. Mitohondriji so nekakšne tovarne celice, ki proizvajajo adenzintrifosfat (ATP), ki oskrbuje z energijo mnogo celičnih funkcij. ATP je kot gorivo za vsako celico in je zanj življenjskega pomena. Ubikinon je ključna komponenta v verigi reakcij nastanka ATP - to je v procesu, ki ga imenujemo oksidativna fosforilacija (Ernster in Dallner, 1995, cit. po David, 2007). Koencim Q₁₀ je v organizmu del elektronske transportne verige, ki se nahaja na notranji membrani mitohondrijev, in s tem sodeluje v verigi reakcij, kjer nastaja energija v obliki ATP (Rus P. in Rus R. R., 2008).

Deluje kot v maščobah topni antioksidant (Rus P. in Rus R. R., 2008). Antioksidanti so naravne ali sintetične snovi, ki imajo sposobnost, da že v majhnih koncentracijah preprečujejo ali zavirajo nezaželene oksidativne spremembe v bioloških sistemih. Z biološkimi sistemi so mišljena živila oziroma hrana in živi organizmi (Frankič in Salobir, 2007). Rudan-Tasič (2000) navaja, da prištevamo k antioksidantom vse snovi, ki hitro reagirajo s kisikom, še preden kisik lahko oksidira neko določeno komponento. Ker koencim Q₁₀ nima aktivnega vodikovega atoma, ne preseneča, da ta spojina ne kaže takega antioksidativnega delovanja kot npr. fenoli ali amini, ki so tipični primarni živilski antioksidanti. Raziskave so pokazale, da je koencim Q₁₀ potencialni antioksidant le v

prisotnosti substance, ki ga lahko reducira, npr. vitamina C (dispergirano v lipidni fazi s pomočjo emulgatorja, npr. lecitina).

Antioksidanti preprečujejo in zadržujejo vstop nastalih prostih radikalov v verižne reakcije ter tako zavirajo oksidacijske verižne reakcije, ne da bi se sami vključili vanje. S tem preprečujejo oksidacijo biološko pomembnih molekul v organizmu, kot so lipidi, beljakovine in nukleinske kisline, ki so tarče prostih radikalov. Poškodbe teh molekul povzročijo direktne napake ali slabše delovanje organov in sistemov (npr. imunskega sistema) ali pa povzročijo tvorbo toksičnih produktov, ki imajo negativen vpliv na delovanje organizma (Frankič in Salobir, 2007).

Žlender (2000) navaja, da koencim Q₁₀ vpliva na stabilnosti rdečega mesa, vendar njegova vloga še ni povsem jasna.

Koencim Q₁₀ ima pomembno vlogo pri prenosu protonov preko membrane lizosomov in s tem ohranja optimalno vrednost pH v celicah. Lizosomi so celični organeli s pomembno vlogo pri prebavi odpadnih snovi. Vsebujejo prebavne encime, ki pa lahko v lizosomu delujejo le pri določeni vrednosti pH. Membrane lizosomov, ki ločujejo ostalo celico od teh prebavnih encimov, vsebujejo veliko koencima Q₁₀ (Rus P. in Rus R. R., 2008).

Rus P. in Rus R. R. (2008) navajata, da je koencim Q₁₀ pomemben kot stabilizator celičnih membran. Ubikinol (reducirana oblika koencima Q₁₀) regenerira vitamin E iz oksidirane stanja z redukcijo (Hrvatini, 2002).

2.1.5 Viri koencima Q₁₀

Koencim Q₁₀ najdemo v rastlinah in v različnih tkivih živali. Nastaja v večini človeških tkiv, nekaj pa ga zaužijemo tudi s hrano. Največ koencima Q nastaja v tistih tkivih, ki proizvajajo veliko energije (Rus P. in Rus R. R., 2008).

Viri, ki vsebujejo veliko koencima Q₁₀, so meso, zlasti govedina, perutnina, drobovina in ribe. Precej koencima Q₁₀ pa najdemo tudi v soji, zemeljskih in v drugih oreških. Tudi v sadju, zelenjavi, jajcih in mlečnih izdelkih najdemo zmerno količino koencima Q₁₀. Živila, ki vsebujejo veliko maščob, so bogatejša s koencimom Q₁₀. Kuhanje ne vpliva na vsebnost koencima Q₁₀ v hrani, s pečenjem pa izgubimo precej koencima Q₁₀ iz nje (Rus P. in Rus R. R., 2008).

Žmitek J. in Žmitek K. (2009) navajata, da je na slovenskem tržišču dostopnih precej izdelkov z različnimi oblikami koencima Q₁₀. Na podlagi podatkov o sestavi izdelkov lahko izdelke glede na dostopne podatke o njihovi potencialni biodostopnosti razdelimo v pet razredov:

- Izdelki z kristaliničnim koencimom Q₁₀, za katerega je značilna slaba absorpcija (NOW Koencim Q₁₀, Sensilab Koencim Q₁₀, GOGO Q10 Energy).
- Izdelki z oljno suspenzijo ubikinona, katere biodostopnost ni bila preverjena, vendar je verjetno boljše od kristaliničnega koencima Q₁₀ (Fidi Koencim 10, Natural Wealth Koencim Q₁₀, Koencim Q₁₀).

- Izdelki z oljno suspenzijo ubikinona, katerih biodostopnost je z objavljenimi študijami dokazano boljša od kristaliničnega koencima Q₁₀ (Pharma Nord Bio – Qinone Q10).
- Izdelki z oljno suspenzijo ubikinona, katerih biodostopnost je boljša od kristaliničnega koencima Q₁₀ (NOW Ubiquinol CoQH-FC).
- Izdelki z vodotopno obliko koencima Q₁₀, katere biodostopnost je z objavljenimi študijami dokazano boljša od oljne suspenzije ubikinona (Quvital forte sirup, Quvital tablete, Sensilab Q10 koencim mladosti).

Znižanje koncentracije koencima Q₁₀ v telesu je lahko posledica pomanjkljivega vnosa s hrano, motnje v biosintezi (inhibitorji HMG-CoA reduktaze-statini,...), prevelike porabe koencima v telesu (velik napor, povečan metabolizem, stanje akutnega šoka,...) ali kombinacije vseh treh vzrokov (Rus P. in Rus R. R., 2008).

2.1.6 Poskus s koencimom Q₁₀

Prošek in sod. (2007) so izvedli preizkus, v katerem so ugotavljali vpliv dodatka koencima Q₁₀ v krmo na vsebnost v piščančjem mesu in drobovini. Piščance so razdelili v kontrolno skupino in štiri poskusne skupine, ki so bile oblikovane glede na čas krmljenja s krmo z dodano vodotopno obliko koencima Q₁₀. Priprava krme je potekala večstopenjsko. Upoštevan je bil režim krmljenja pitovnih piščancev med samo vzrejo. Izračun je izhajal iz predpostavke, da bodo pitovni piščanci ves čas krmljenja prejeli približno 5 mg koencima Q₁₀ dnevno. Pripravljena je bila mešanica, ki je vsebovala 0,0042 % koencima Q₁₀. Poskusne skupine so bile oblikovane glede na dolžino krmljenja piščancev z vodotopno obliko koencima Q₁₀ (0 dni, 10 dni, 20 dni, 30 dni, 40 dni). Ob zakolu so bili vsi piščanci stari 41 dni in trupi razrezani na posamezne kose (prsna, bedra in peruti). Dodatek koencima Q₁₀ v krmi pitovnih piščancev je statistično značilno vplival na vsebnost koencima Q₁₀ v vseh proučevanih kosih, najbolj pa v prsih. Poleg že omenjenih kosov so v analizo dali tudi piščančja srca in jetra. V krmo piščancev dodani koencim Q₁₀ je statistično značilno vplival le na vsebnost koencima Q₁₀ v srcih, ne pa tudi v jetrih. V srcih pitovnih piščancev, ki so bili v poskusnih skupinah, so določili značilno več koencima Q₁₀ in manj holesterola kot pri pitovnih piščancih, ki so bili v kontrolni skupini (Halilovič, 2008; Penko, 2008).

Pitovni piščanci, ki so dobivali obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so hitreje pridobivali na masi in tudi izkoristek krme je bil boljši. V njihovih tkivih je koncentracija koencima Q₁₀ precej narasla (v prsih tudi do 50 %). Poraba krme pitovnih piščancev, ki so dobivali obogateno krmo, je bila približno za 5 % manjša kot v kontrolni skupini. Tudi končna masa pitovnih piščancev, ki so dobivali obogateno krmo, je bila približno za 15 % večja kot pri pitovnih piščancih v kontrolni skupini. Koncentracija holesterola se je v mesu tkiv nekoliko zmanjšala, kar dodatno poveča koencim Q₁₀/holesterol indeks. Frakcionacija celice je pokazala, da se je večina eksogenega koencima Q₁₀ akumulirala v membranah in ne v mitohondrijih (Prošek in sod., 2007; Halilovič, 2008; Penko, 2008).

Prošek in sod. (2008) so izvedli še en preizkus s koencimom Q₁₀. Tudi v tem poskusu so imeli pitovne piščance provenience ross. Pitovni piščanci so bili razdeljeni v dve skupini.

Prva skupina je dobivala dodatek koencima Q₁₀ v krmo, druga skupina pa samo osnovno krmo. V vsaki skupini je bilo 37.000 pitovnih piščancev. Pitovni piščanci v testni skupini so bili 20 dni krmljeni s krmo, obogateno z dodatkom vodotopnega koencima Q₁₀. Ustrezna količina vodotopnega pripravka s 7,5 % koencimom Q₁₀ je bila mešana v zaporednih korakih v krmo, dokler ni dosežena končna koncentracija 0,01 %. Meso pitovnih piščancev je služilo za pripravo funkcionalne hrane. Razen originalne biološke obogatitve izdelkov so pripravili tudi izdelke iz piščančjega mesa, pri katerih so povečali vsebnost koencima Q₁₀ z direktnim dodajanjem vodotopnega koencima Q₁₀ med samo končno pripravo izdelka.

Rezultati študije so pokazali, da tudi v tem preizkusu, enako kot v prejšnem, vzredimo pitovne piščance s povečano vsebnostjo koencima Q₁₀. Frakcionacija celic je pokazala, da dobimo povečano koncentracijo koencima Q₁₀ v celičnih membranah in ne v mitohondrijih. Eksogeni (s hrano zaužiti) koencim Q₁₀ se primarno kopiči v celičnih membranah. S tem so potrdili, da primarno koencim Q₁₀ ne sodeluje pri transformaciji energije (fosforilacija), ampak ščiti organizem pred oksidativnim stresom. Krmljenje pitovnih piščancev s krmo, obogateno s koencimom Q₁₀, je pozitivno vplivalo na splošno stanje živali, zato je bilo opaziti v testni skupini manjši pogin kot v kontrolni skupini. Izvedeni preizkus je pokazal, da je uporaba krme, obogatene s koencimom Q₁₀, smiselna, ker povečuje vsebnost koencima Q₁₀ v mesu in mesnih izdelkih. Kot smo že omenili, je večja vsebnost koencima Q₁₀ v posameznem izdelku zaželena predvsem zato, ker ta eksogeni koencim s svojim antioksidativnim delovanjem varuje holesterol in nenasičene maščobne kisline pri njihovem prenosu po organizmu. Povečano razmerje med koencimom Q₁₀ in holesterolom lahko pomeni boljšo zaščito pred oksidativnim stresom (Prošek in sod., 2007; Prošek in sod., 2008; Koren, 2009; Halilović, 2008; Penko, 2008).

2.1.7 Preprečevanje in zdravljenje bolezni s koencimom Q₁₀

Strokovna literatura omenja koencim Q₁₀ predvsem v zvezi s kongestivno srčno boleznijo, srčno aritmijo, hipertenzijo in hipoksično poškodbo miokarda, kjer priporočajo uporabo koencima Q₁₀ kot podporno terapijo. Poleg tega naj bi bili drugi učinki koencima Q₁₀ še: povečevanje sposobnosti za fizični napor, stimulacija imunskega sistema in upočasnjevanje procesov staranja. Študije na podganah so pokazale, da koncentracija koencima Q₁₀ in citohrom C reduktaze narašča med fizično vadbo. To povečanje je opazno v nekaterih mišicah, v drugih pa ne. Porast v rdečih mišicah predstavlja pozitivno prilagoditev na fizični napor (Hrvatini, 2002).

Kadar pride v določenem tkivu najprej do zmanjšane prekrvavljenosti in potem do ponovne prekrvavljenosti, se še posebej intenzivno tvorijo prosti radikali. V takšnih tkivih najverjetneje deluje koencim Q₁₀ kot lovilec teh radikalov in stabilizator membran. Do te domneve so prišli z eksperimenti na zajčji srčni mišici. Kot sestavni del mitohondrijskih membran je koencim Q₁₀ udeležen v prenosu elektronov. Zaradi te lastnosti predstavlja potencialno zdravilno učinkovino pri ishemiji srca, kroničnem srčnem popuščanju, kardiopatiji zaradi toksinov in mogoče celo pri hipertenziji. To so indikacije, ki jih je potrebno še potrditi. Znano pa je, da med operacijo srca koencim Q₁₀ ščiti ishemično srčno mišico. Na številnih živalskih mišicah je koencim Q₁₀ izkazal zaščitno vlogo na

mitohondrijih pred oksidativnimi poškodbami lipidnih membran. Zaščitni učinek koencima Q₁₀ na membranskih fosfolipidih bi bil lahko posledica zmanjševanja aktivnosti fosfolipaze (Hrvatini, 2002).

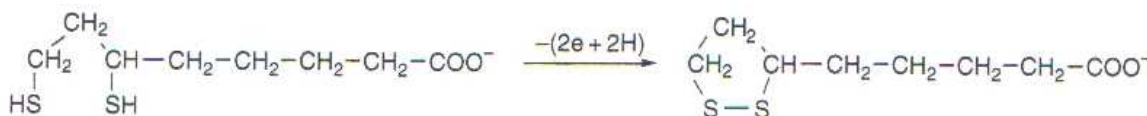
Rus P. in Rus R. R. (2008) ter Hrvatini (2002) navajajo, da ima koencim Q₁₀ minimalne stranske učinke kot dopolnilo k hrani. Ti stranski učinki so izguba teka, slabost, diareja, bruhanje, občutki nelagodja v trebuhu. Opisali so tudi glavobol, srbenje kože, izpuščaje, nespečnost in razdražljivost. Hrvatini (2002) navaja, da so se v zelo obsežni študiji, v katero je bilo vključenih 5.000 ljudi, omenjeni stranski učinki pojavili skoraj pri 1 % sodelujočih.

2.2 LIPOJSKA KISLINA

Lipojska kislina je naravno prisotna spojina, ki se pojavlja v večini prokariotskih in evkariotskih celic. V naši prehrani je lipojska kislina prisotna v številnih prehrabnih izdelkih, zlasti v mesu, jetrih in srcu. Posebej piščančja jetra, mišičevje divjačine in konjsko srce vsebujejo veliko količino lipojske kisline (Biewenga in sod., 1996). Boyer (2005) navaja, da se lipojska kislina nahaja še v špinaci in pivskem kvasu. V človeškem organizmu je prisotna v vseh delih telesa kot del več multiencimskih kompleksov, ki so vključeni v ustvarjanje energije (Biewenga in sod., 1996).

Čeprav je sprva kazalo, da je lipojska kislina vitamin, so novejšje študije pokazale, da jo naše celice sintetizirajo, vendar v zelo majhni količini (Boyer, 2005). Sintetizirana je iz maščobnih kislin (Biewenga in sod., 1996).

Lipojska kislina je spojina, ki vsebuje dve žveplovi ali tiolni skupini. Lipojska kislina obstaja kot kofaktor tako v oksidirani (disulfid) kot reducirani obliki (slika 5). V oksidirani obliki se imenuje lipojska kislina (LA), v reducirani obliki pa dihidrolipojska kislina (DHPLA) (Encyclopedia ..., 2005).

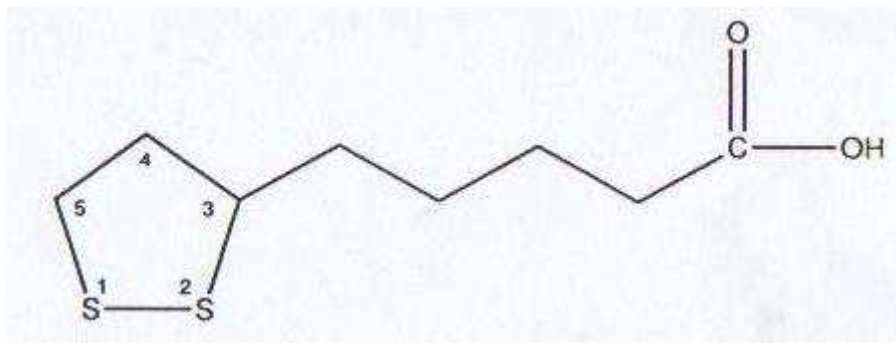


Slika 5: Lipojska kislina (oksidirana in reducirana oblika) (Encyclopedia ..., 2005)

Biewenga in sod. (1996) navajajo, da so v poznih 40-ih letih prejšnjega stoletja uporabljali za lipojsko kislino razna trivialna imena (acetat-nadomestni faktor, piruvat-oksidacijski faktor in protogen A). Ta imena je lipojska kislina dobila na podlagi svojih značilnosti kot rastni kofaktor in pogoj za oksidacijo piruvata v nekaterih mikroorganizmih.

Spojina je bila označena kot 1,2-ditiolan-3-pentaoična kislina. Kiralni center ima na C3 ogljikovem atomu, ki je v R konfiguraciji (slika 6). Zaradi njene lipofilnosti in kislosti je bila spojina poimenovana s trivialnim imenom α -lipojska kislina. Slednja se razlikuje od β -lipojske kisline, ki je bil drugi izolirani faktor s šibkejšo biološko aktivnostjo. Predlagano je bilo tudi trivialno ime 6,8-tioktična kislina, ki poudarja prisotnost dveh žveplovih atomov. Pozneje je Ameriško združenje biokemikov dalo prednost imenu lipojska kislina,

čprav še vedno uporabljajo tudi prej omenjena trivialna poimenovanja. Prizadevanja bi sicer morala iti v smeri redne uporabe imena lipojska kislina in opustitve ostalih imen (Biewenga in sod., 1996).



Slika 6: Molekularna struktura lipojske kisline (Biewenga in sod., 1996)

2.2.1 Zgodovina lipojske kisline

Različni avtorji navajajo različne podatke o odkritju lipojske kisline, vendar pa so vsi avtorji mnenja, da je lipojsko kislino izoliral Reed. Tako Karlson (1980) navaja, da je bila odkrita leta 1950, Biewenga in sod. (1996) navajajo, da je bila odkrita 1951, Boyer (2005) pa, da je bila prvič izolirana leta 1953. Tudi glede količine jeter, potrebne za izolacijo 30 mg očiščene lipojske kisline, si niso enotni. Boyer (2005) navaja, da so potrebovali 10 ton jeter, Biewenga in sod. (1996) pa samo 100 kg.

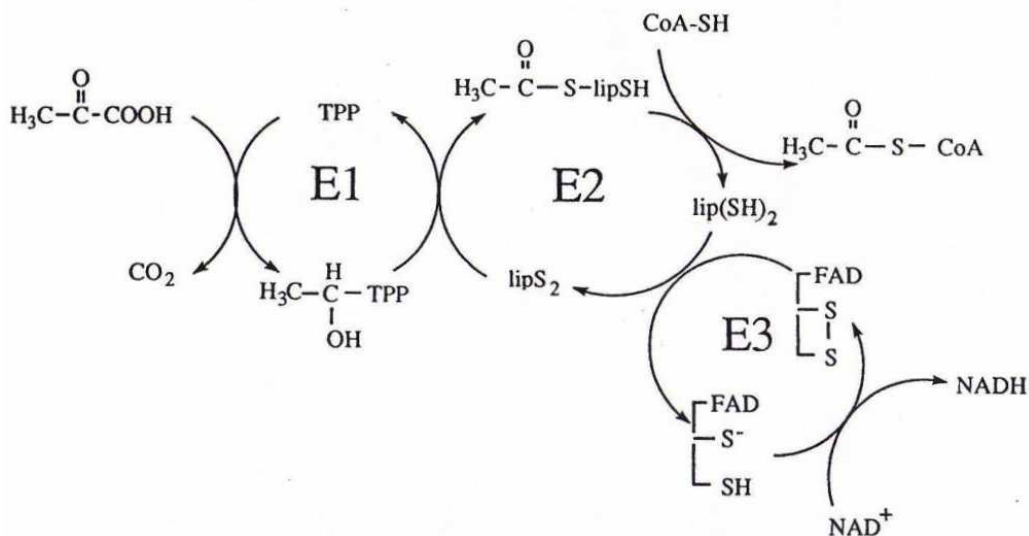
2.2.2 Funkcije lipojske kisline

2.2.2.1 Kofaktor

Koencim α -lipojska kislina, ki deluje kot prostetična skupina - lipoamid, je vključen v reakcije prenosa acilnih skupin, povezanih z oksidoredukcijskimi reakcijami (npr. kompleks piruvat-dehidrogenaza). Kompleks piruvat-dehidrogenaza je tipični primer multiencimskega kompleksa (slika 7). V kompleksu sodelujejo trije encimi (piruvat-dehidrogenaza (E1), dihidrolipoil-transacetilaza (E2), dihidrolipoil-dehidrogenaza (E3)) in pet koencimov (tiaminpirofosfat (TPP), lipoamid, koencimA (CoA-SH), flavinadenindinukleotid (FAD), nikotinamidadenindinukleotid (NAD⁺)). Reakcije, ki potekajo v piruvat-dehidrogenaznem kompleksu, najboljše razkrivajo kofaktorsko funkcijo lipojske kisline (Encyclopedia of ..., 2005).

Disulfidna oblika oksidira aktivni acetaldehid vezan na TPP sočasno s prenosom acetatnega produkta k eni od -SH skupin sedaj reducirane lipojske kisline. Acetatna skupina je kasneje kot tioester prenesena h koencimu A, s čimer se oblikuje acetyl-CoA in regenerira prosta -SH skupina na lipojski skupini. Reducirana lipojska kislina, ki še vedno vsebuje elektrone, se nato oksidira s FAD, pri čemer se obnovi disulfidna skupina lipojske kisline za naslednji krog katalize. V končni fazi FADH₂ prenese elektrone na NAD⁺, ki se poveže z elektronsko transportno verigo mitohondrija. Lipojska kislina je torej oksidirajoči agent in prenašalec acetata v reakciji. Predstavljamo si lahko dolgo roko kofaktorja, ki niha

med mestoma podenot piruvat-dehidrogenaznega kompleksa z namenom izvedbe multiplih reakcij, v sinhronizaciji s potekajočim katalitičnim procesom (Encyclopedia of ..., 2005). Gledano v celoti, pride do nastanka acetilkoencima A in NADH. Obe spojini sta pomembni za energijsko stanje celice. V splošnem lahko lipojska kislina in njena reducirana oblika (dihidrolipojska kislina) delujeta kot redoks par, ki prenaša elektrone z ene spojine (npr. 2-okso kisline, glicina) k drugi (npr. NAD⁺) (Biewenga in sod., 1996).



Slika 7: Kompleks piruvat - dehidrogenaza (Biewenga in sod., 1996)

2.2.2.2 Antioksidant

Antioksidativno delovanje lipojske kisline je bilo ugotovljeno že leta 1959. Lipojsko kislino včasih imenujemo tudi univerzalni antioksidant, ker bolje zavira oksidacijske procese, ki so za celico škodljivi, kot katerikoli drugi bolj znani antioksidant (vitamina C in E). Poleg tega lipojska kislina lahko obnavlja aktivni obliki obeh vitaminov v procesu, ki ga imenujemo oksidoredukcijsko kroženje (Boyer, 2005).

Lipojska kislina je topna tako v lipidih kot v vodi, medtem ko je vitamin C topen predvsem v vodi, vitamin E pa samo v lipidih. Antioksidanti delujejo tako, da preprečujejo poškodbe celičnih molekul zaradi oksidacije. Z oksidoredukcijskimi reakcijami antioksidanti nevtralizirajo posebno reaktivne proste radikale, ki nastanejo iz kisika in vodikovega peroksida v običajnih fizioloških razmerah. Nekatere od teh prostih radikalov, kot so superoksidni anion ali peroksil (O_2^{\cdot}), hidrokasil (HO^{\cdot}), hidroperoksil (HOO^{\cdot}) in peroksinitril (OONO^{\cdot}), imenujemo tudi reaktivne kisikove snovi (ROS). ROS so vključene v proces peroksidacije lipidov, v katerem se nenasičene maščobne kisline membran kemijsko modificirajo (Boyer, 2005).

2.2.2.3 Vezava kovinskih ionov

Lipojska kislina je pomembna tudi zato, ker se veže v kelatne komplekse s kovinskimi ioni. Tako lahko veže bakrove, železove, cinkove, kadmijeve in živosrebrne ione. Med oksidativnim stresom se kovinski ioni, posebno železovi, ki lahko povzročijo oksidativne poškodbe, sprostijo iz proteinov in se razstrupijo z oksidoredukcijskimi reakcijami, v katerih sodeluje lipojska kislina (Boyer, 2005).

2.2.2.4 Farmakoterapija

V 60-ih letih prejšnjega stoletja se je raziskovalno zanimanje za lipojsko kislino od fiziološke funkcije postopoma preusmerilo k njeni vlogi v farmakoterapiji. Leta 1966 so nemški zdravniki začeli uporabljati lipojsko kislino pri pacientih z jetrno cirozo ter v primerih zastrupitve z gobami ali težkimi kovinami, kasneje pa tudi pri bolnikih z diabetično polinevropatijo. Tovrstni pristop k zdravljenju je temeljil na opažanju, da je nivo lipojske kisline pri pacientih z jetrno cirozo, diabetes mellitusom, aterosklerozo, psoriazom, nevrodermatitisom, aknami in polinevropatijo nižji. Z dodajanjem lipojske kisline naj bi se odpravil primanjkljaj te snovi v telesu in ponovno vzpostavilo 2-oksokislinsko oksidacijo. Ob tem je treba upoštevati, da se pri uporabi lipojske kisline bistveno zviša nivo njene nevezane oblike. Tako ne pride samo do izboljšanja 2-oksokislinske oksidacije, temveč se začnejo kazati tudi terapevtski učinki prostega lipoata. Podroben molekularni mehanizem in farmakologija lipojske kisline za prej omenjene zdravstvene motnje še nista razjasnjena. Pri jetrni cirozi je izboljšanje funkcije lipojske kisline kot sestavine multiencimskih kompleksov lahko pomembno. Kompleksacija kovin z lipojsko kislino naj bi predstavljala molekularno osnovo terapevtskih učinkov pri zastrupitvah. Pri diabetični polinevropatiji so bili ugotovljene indikacije za prostoradikalne oksidativne procese. Ugotovljeno je bilo, da lahko v primeru te bolezni tako lipojska kislina kot njena reducirana oblika, dihidrolipojska kislina, delujeta kot antioksidant (Biewenga in sod., 1996).

Boyer (2005) navaja, da lahko lipojska kislina pomaga pri zdravljenju že naštetih bolezni, poleg njih pa še navaja katarakte in glavkoma. Rezultati nekaterih študij kažejo na to, da lipojska kislina inhibira reverzno transkriptazo HIV.

Človeške celice verjetno sintetizirajo dovolj lipojske kisline za potrebe metabolizma. Nekateri strokovnjaki za prehrano pa kljub temu priporočajo povečano uživanje te spojine, če hočemo, da deluje kot antioksidant in kelator kovinskih ionov (Boyer, 2005).

2.3 KOKOŠI NESNICE LOHMANN BROWN

Lohmann brown kokoš je komercialna križanka. Pri nesnicah običajno spremljamo naslednje parametre: pogin, masa kokoši ob določeni starosti, starost pri 50 % nesnosti, število jajc na uhlevljeno in na povprečno kokoš, skupna masa jajc na uhlevljeno kokoš, povprečna masa jajc ter poraba krme za eno jajce in za kilogram jajc. Poleg navedenih

lastnosti ugotavljajo še, koliko jajc je bilo razporejenih v najboljše utežne razrede, kolikšna je bila trdnost lupine in kolikšna je notranja kakovost jajca (Ločniškar, 1984).

Kokoši nesnice lohmann brown znesejo do 72. tedna starosti 316,6 jajc na kokoš s povprečno maso jajc 63,2 g. Izkoristljivost krme od 21. do 72. tedna je 2,07 kg krme za kg jajčne mase. Telesna masa pri 16. tednih naj bi bila 1380 g, pri 18. tednih pa 1500 g (Lohmann Brown ..., 2007). Vitalnost v času vzreje je 97 – 98 % (Lohmann Brown ..., 2007, Layer Management ..., 2010), v času nesnosti pa 93 – 96 % (Lohmann Brown ..., 2007) oz. 94 – 96 % (Layer Management ..., 2010). Kokoši nesnice lohmann brown dosežejo 50 % nesnost pri starosti 140 - 150 dni. Vrh nesnosti dosežejo pri 92 - 94 %. Barva jajčne lupine je privlačno rjava, trdnost lupine je večja kot 35 N (Layer Management ..., 2010). Preglednica 1 prikazuje vpliv načina reje na fizikalne lastnosti jajc (masa jajca, haughove enote, barva rumenjaka, debelina lupine, indeks oblike, trdnost ter prisotnost peg).

Preglednica 1: Vpliv načina reje na fizikalne lastnosti jajc (Šekeroğlu in sod., 2010: 1742)

Način reje	Masa jajca (g)	Haughove enote	Barva rumenjaka (Roche)	Debelina lupine (mm)	Indeks oblike	Trdnost (kg/cm ²)	Pege (%)
Reja v kletkah	66,44	92,42	10,23	0,36	77,27 ^b	2,37	30,10
Prosta reja	59,93	92,53	10,24	0,36	76,05 ^a	2,37	26,04
Talna reja na nastilu	60,91	91,92	10,31	0,36	76,46 ^a	2,29	15,63
Standardni odklon	2,13	0,44	0,05	0,13	0,16	0,04	2,74
P-vrednost	0,4	0,85	0,5	0,79	0,00	0,68	0,08

^{a,b} vrednosti z različnimi črkami se statistično značilno razlikujejo ($p < 0,05$)

Torges in sod. (1974, cit. po Šekeroğlu in sod., 2010) so ugotovili, da kokoši nesnice, ki so v reji v kletkah, nesejo jajca s temnejšo barvo rumenjaka, mnogi drugi raziskovalci pa navajajo, da kokoši nesnice v prosti reji nesejo jajca s temnejšim rumenjacom (Dutta, 1993, cit. po Šekeroğlu, 2010; Pavlovski in sod., 1994, 2004, cit. po Šekeroğlu, 2010). Šekeroğlu in sod. (2010) v raziskavi niso ugotovili statistično značilnih razlik v barvi rumenjaka jajc iz različnih načinov reje (preglednica 1). Vpliv reje na indeks oblike je statistično značilen, saj so kokoši, rejene v kletkah imele večji indeks oblike jajc. Tako kot Sauveur (1991, cit. po Šekeroğlu, 2010) in Šekeroğlu (2002, cit. po Šekeroğlu, 2010) so tudi Šekeroğlu in sod. (2010) ugotovili, da način reje ne vpliva na mesne in krvne pege v jajcih kokoši nesnic.

2.4 STARŠI PITOJNIH PIŠČANCEV ROSS

Starši pitovnih piščancev so selekcionirani na hitro rast, dobro izkoriščane krme, vitalnost, močne noge ter na zanesljiv kardiovaskularni sistem (Parent stock ..., 2006). Pri reji pitovnih piščancev provenience ross strmijo k veliki masi klavnega trupa.

Starši pitovnih piščancev so selekcionirani na maksimalno število živahnih dan starih piščancev. Maksimalno število dan starih piščancev dosežejo z dobro nesnostjo mater in njihovo vitalnostjo ter dobro valilnostjo. Parijo dobro rastne peteline, ki dobro izkoriščajo

krmo, s kokošmi, ki znesejo veliko število jajc (Parent stock ..., 2006). Leeson in Summers (2000) poleg vseh že navedenih lastnosti navajata še selekcijo na maso jajc, prilagajanje na temperaturne šoke, operjenost (hitrost operjenja in barva perja).

Telesna masa staršev pitovnih piščancev pri 25. tednih je 2,975 kg, pri 64. tednih pa njihova telesna masa naraste do 3,95 – 4,05 kg. Pri starosti 25. tednov dosežejo 5 % nesnost. Vrh nesnosti dosežejo pri 85,3 %. Valilnost jajc je 84,8 %. V času vzreje sta pogin ter izločitve 4 - 5 %, v času nesnosti pa je pogin 8 %. Do 40. tedna znesejo 180 jajc, od tega je 175 jajc valilnih (Parent stock Performance ..., 2007).

Med 22. in 35. tednom so znesena jajca manjša, z debelejšo lupino in višjim beljakom. Od 35. do 45. dne ima jajce optimalno velikost, tudi debelina lupine in beljaka je optimalna. Od 45. do 65. dne pa je jajce večje, s tanjšo lupino in nižjim beljakom (Lesson in Summer, 2000).

Barva lupine pri jajcih mater pitovnih piščancev variira od svetlo krem do temno rjave barve. Pigment v jajčni lupini je naravni porfirin (Klose in sod, 1937, cit. po Joseph in sod., 1999). Na barvo lupine vpliva več genov. Barva lupine pri F1 kokoših je vmesna barva barve lupine jajca njenih staršev. Barva jajčne lupine je spolno vezana lastnost (Hall, 1944, cit. po Joseph in sod., 1999).

Vieira in Moran (1998) sta izvedla poskus s kokošmi materami pitovnih piščancev provenience ross. Kokoši sta razdelila v dve skupini. Prva skupina je bila stara 27 tednov, druga skupina kokoši je bila stara 62 tednov. Iz vsake skupine kokoši sta vzela trideset naključno izbranih jajc. Jajca sta stehala ter jim določila delež rumenjaka, beljaka in lupine (preglednica 2).

S starostjo kokoši se masa jajca veča (Vieira in Moran, 1998; Tona in sod., 2004). Na začetku nesnosti je masa jajca približno 55,5 g (Leeson in Summers, 2000; Vieira in Moran, 1998), na koncu nesnosti pa se masa jajca dvigne do 67,5 g (Vieira in Moran, 1998) oz. 67,1 g (Leeson in Summers, 2000). S starostjo mater pitovnih piščancev se veča tudi delež rumenjaka v jajcu. Delež beljaka in jajčne lupine v jajcu se s starostjo mater pitovnih piščancev zmanjšuje (preglednica 2). Haughove enote jajc mater pitovnih piščancev so pri starosti 35. tednov 88,56 oz. pri starosti 45. tednov 82,06 (preglednica 3).

Preglednica 2: Sestava jajca pri različni starosti kokoši provenience ross (Vieira in Moran, 1998: 373)

STAROST KOKOŠI (teden)	MASA JAJCA (g)	RUMENJAK (%)	BELJAK (%)	LUPINA (%)
27	55,5	30,6	55,8	12,9
62	67,5	34,7	53,1	11,6

Tudi Tona in sod. (2004) so v svoji raziskavi ugotavljali, kako starost mater pitovnih piščancev vpliva na lastnosti jajc ter nesnost. Preizkus so izvedli na materah pitovnih piščancev provenience cobb (preglednica 3).

Preglednica 3: Masa jajca, haughove enote ter nesnost pri različni starosti kokoši mater pitovnih piščancev provenience cobb (Tona in sod., 2004: 14)

STAROST KOKOŠI (teden)	MASA JAJCA (g)	HAUGHOVE ENOTE	NESNOST (%)
35	66,4	88,56	92,37
45	70,56	82,06	91,75

2.5 FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC

Fizikalne lastnosti jajca imajo pomembno vlogo v procesih razvoja zarodka in pri finančnem uspehu prireje jedilnih jajc. Najpomembnejše lastnosti jajca so: masa jajca, debelina in poroznost lupine, indeks oblike in razmerje rumenjaka : beljak. Povprečne vrednosti fizikalnih lastnosti jajca večinoma zadostijo potrebam za razvoj zarodka. Pri tistih jajcih, katerih lastnosti se ne gibljejo v povprečnem razponu, je proces valjenja uspešnejši, če je njihova lupina debelejša od povprečja, če so bolj okrogla in njihova vsebina čvrsta. Rezultati, pridobljeni pri raziskavah valilnih jajc, katerih masa ni dosegala povprečne vrednosti, so si nasprotujoči. V povprečju debelejša lupina in čvrstost vsebine jajca vodita k večji masi jajca, zaradi česar je verjetno valilnost uspešnejša pri težjih jajcih (Narushin in Romanov, 2002).

Jajca prištevamo med zelo kakovostna živila, ki so zaradi svoje velike biološke prehranske vrednosti pomembna sestavina v prehrani ljudi. Predstavljajo kompleksen biološki sistem z izredno bogato sestavo beljakovin, maščob, mikroelementov, vitaminov in drugih snovi. S stališča zdrave prehrane in varnih živil je pomembna zdravstvena ustreznost jajc, njihova svežost in kakovost v celoti (Doganoc in Komar, 2001).

Za večino porabnikov pojem kakovost jajc vključuje predvsem fizikalno-kemijske lastnosti rumenjaka, beljaka in lupine. Kakovost jajc določajo tiste lastnosti, ki vplivajo na njihovo sprejemljivost za porabnika. To so predvsem svežost, vonj ter barva lupine in rumenjaka. V Sloveniji lahko porabniki kupujejo le jajca v lupini. Lupina sicer predstavlja naravno embalažo, a jajčna vsebina ostane porabniku neznan do trenutka uporabe (Holcman, 2004).

Kakovostne značilnosti jajca, ki jih merimo, so po Zorko (1995) razdeljene v dve skupini. Prva skupina opisuje zunanje značilnosti (masa jajca, oblika jajca, barva lupine in trdnost lupine), druga skupina pa notranje značilnosti (snovna sestava in hranilna vrednost, lastnosti za predelavo in senzorične lastnosti). V preglednici 4 je prikazana sestava jajca pri različni masi.

Preglednica 4: Deli kokošnjega jajca (Zorko, 1995: 20)

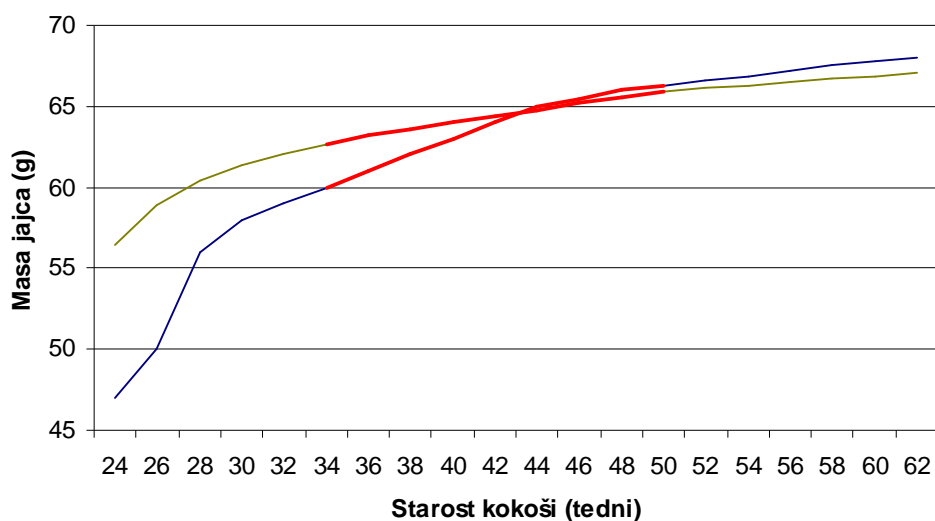
Masa (g)	50	60	70
Delež (%)			
Lupina	10	10	10
Rumenjak	32	30	28
Beljak	58	60	62

2.5.1 Masa jajca

Na maso jajca vplivajo različni dejavniki. Masa jajca je genetsko pogojena lastnost. Različne pasme kokoši ali različne križanke nesejo jajca različne velikosti (Holcman, 2004). Ker ločimo pasme tudi po barvi jajčne lupine, je pomembno dejstvo, da so jajca z belo lupino praviloma lažja od jajc z rjavo lupino (Curtis in sod., 1986, cit. po Holcman, 1990). S starostjo kokoši se masa jajc povečuje, vendar ne enakomerno. V prvem delu nesnega obdobja se masa posameznega jajca hitreje povečuje (slika 7). Čim pozneje jarčka spolno dozori, tem večja jajca nese v nesnem obdobju in obratno: čim mlajša je jarčka ob spolni dozorelosti, bolj drobna so njena jajca. Kokoši nesejo jajca v serijah. To pomeni, da nesejo nekaj dni zapored, nato prenehajo za dan ali več in potem spet nesejo nekaj dni. Prvo jajce v seriji je običajno največje, zatem pa se masa jajca postopno zmanjšuje. Najboljše nesnice nesejo bolj drobna jajca. Temperatura posredno vpliva na maso jajc. Kokoši pri visoki temperaturi zaužijejo manj krme, kar vpliva na zmanjšanje mase jajc (Holcman, 2004). S staranjem jajc (med skladiščenjem) voda iz jajca izhlapeva, povečuje se zračni mehurček in jajcu se zmanjšuje specifična masa. Empirično ugotovljeno se specifična masa zmanjša za 0,0017 g/cm³ na dan (Doganoc in Komar, 2004).

Maso jajc ugotovimo s tehtanjem na analitski tehtnici z natančnostjo najmanj 0,1g. Služi za razvrščanje jajc v razrede glede na maso jajca, kot določa zakonodaja (Doganoc in Komar, 2001).

S starostjo kokoši se masa jajca povečuje, vendar ne enakomerno. Na začetku narašča hitreje. Od 24. do 44. tedna nesejo matere pitovnih piščancev provenience ross težja jajca kot kokoši nesnice provenience lohmann brown. Od 44. tedna naprej pa je masa jajc kokoši nesnic provenience lohmann večja od mase jajc matere pitovnih piščancev provenience ross (slika 8).



Slika 8: Primerjava mase jajc lohmann (modra črta) in ross (zelena črta) kokoši glede na starost (Leeson in Summers, 2000; Layer management ..., 2010)

2.5.2 Oblika jajca

Jajce je ovaloidne oblike, ki jo izražamo z indeksom oblike. Pri podolgovatih jajcih je indeks oblike manjši, pri okroglih pa večji. Pomemben je pri pakiranju in transportu jajc ter pri valjenju piščancev (Zorko, 1995).

Posamezna kokoš nese jajca s precej stalno obliko. Obliko jajca izrazimo z indeksom, ki ga izračunamo iz širine in dolžine (širina / dolžina x 100). Vrednost indeksa je pri tipičnih jajcih med 70 in 74. Jajca, pri katerih se vrednost indeksa ne nahaja med 70 in 74, so manj privlačna ter bolj podvržena poškodbam lupine pri pakiranju ter prevozu (Holcman, 2004).

Altuntaş in Şekeroğlu (2008) sta izvedla poskus s kokošmi nesnicami provenience lohmann. Kokoši nesnice so bile v reji v kletkah. V analizo je bilo vključenih 270 jajc. Proučevala sta vpliv indeksa oblike na nekatere fizikalne lastnosti jajc (preglednica 5). Velikost jajca in debelina jajčne lupine sta zelo povezani med seboj (Harms in sod., 1990, cit. po Altuntaş in Şekeroğlu, 2008). Jajca z manjšim indeksom oblike so težja in obratno: jajca z večjim indeksom oblike so lažja. Jajca z manjšim indeksom oblike imajo tanjšo jajčno lupino.

Preglednica 5: Vpliv indeksa oblike (IO) na maso jajca in debelino jajčne lupine (Altuntaş in Şekeroğlu, 2008: 609)

	IO < 72			IO = 72 - 76			IO > 76		
	Povp.	max	min	Povp.	max	min	Povp.	max	min
MASA JAJCA (g)	72,34	83,43	60,36	70,40	83,25	57,77	70,31	83,10	56,87
DEBELINA LUPINE (mm)	0,344	0,407	0,253	0,351	0,417	0,258	0,351	0,403	0,260

Lourens in sod. (2006, cit. po Abudabos, 2010) ter Abudabos (2010) so ugotovili, da starost kokoši vpliva na velikost jajc. Poskus so naredili na materah pitovnih piščancev provenience cobb 500 in ross 308. Starejše kot so kokoši, večja jajca nesejo (Abudabos, 2010). Poleg že napisanega je Abudabos (2010) potrdil razlike v nesnosti in kakovosti jajc med različnimi proveniencami mater pitovnih piščancev. Deeming in Van Middelkoop (1999, cit. po Abudabos, 2010) sta ugotovila, da nesejo matere pitovnih piščancev provenience ross 308 jajca, za katere je značilna večja neoplojenost in zgodnja embrionalna smrtnost zarodkov kot za jajca, ki jih nesejo matere pitovnih piščancev provenience cobb 500. Vpliv genotipa bi lahko pripisali razliki v masi jajc in jajčnim komponentam, kot so delež rumenjaka in beljaka, debelina lupine ter valilnost jajc (Suarez in sod., 1997, cit. po Abudabos, 2010; Joseph in Moran, 2005b, cit. po Abudabos, 2010). Različne provenience kokoši imajo različne fizikalne lastnosti jajc.

2.5.3 Fizikalne lastnosti jajčne lupine

Jajčna lupina je trda, porozna membrana, sestavljena iz anorganskih snovi, v glavnem Ca-karbonata (94 %), 1 % Mg-karbonata in 1 % Ca-fosfata. Vsebuje tudi 4 % organskih snovi (Doganec in Komar, 2001). Jajčna lupina predstavlja približno 11 % celotne mase jajca. Lupina je na zunanji strani pokrita s proteinsko povrhnjico (kutikulo) (Doganoc in Komar, 2001). Zorko (1995) navaja, da kutikula tvori zaščitni sloj preko jajčne lupine in zapira številne pore. Ta zaščitna sposobnost se s staranjem jajca izgublja, tako da imajo bakterije in plesni neomejeno možnost vdora v notranjost jajca. Podobno se dogaja, če jajca mehanično očistimo ali umijemo. V jajčni lupini so mikroskopsko majhne pore, skozi katere poteka izmenjava plinov, skozi pa v jajce prodrejo tudi bakterije in plesni. Membrani na notranji strani lupine pa predstavljata obrambo pred njimi (Doganoc in Komar, 2001). Jajčna lupina predstavlja naravno embalažo jajca in je hkrati najvidnejša lastnost jajca.

Lupina jajca mora biti dovolj močna, da ne počí, hkrati mora biti tudi dovolj šibka, da lahko piščanec zlomi jajčno lupino ob izvalitvi. Prav tako mora biti dovolj tanka, da lahko skozi njo prodirajo plini (De Ketelaere in sod., 2002, cit. po Altuntaş in Şekeroğlu, 2008).

Washburn (1990, cit. po Holcman, 1990) navaja, da je barva lupine genetsko pogojena lastnost, ki pri kokošnjih jajcih variira od bele do temno rjave, lahko je tudi modra oz. zelenkasta. S starostjo jajca barva jajčne lupine blede. Na začetku nesnosti je temneje pigmentirana. Običajno se intenzivnost rjave barve lupine povečuje do 32. ali 33. tedna starosti in se nato zmanjšuje. Na intenzivnost obarvanja jajčne lupine vpliva tudi čas znesenja jajca oz. čas zadrževanja jajca v uterusu. Jajčna lupina se obarva zadnjih tri do pet ur, preden je jajce zneseno in če je to predčasno, je lupina svetlejša (Holcman, 2004).

Z maso jajca in s specifično maso jajca masa lupine narašča (preglednica 6). Jajce, ki tehta 50 g in ima specifično maso 1,065, ima maso jajčne lupine 2,96 g. Jajce, ki tehta 70 g in ima specifično maso jajca 1,095, ima maso jajčne lupine 7,70 g.

Preglednica 6: Predvidena masa lupine iz ocene specifične masa jajca in mase jajca (Lesson in Summers, 2000: 318)

Masa jajca (g)	Specifična masa						
	1,065	1,070	1,075	1,080	1,085	1,090	1,095
50	2,96	3,39	3,82	4,25	4,67	5,08	5,50
52	3,08	3,53	3,97	4,42	4,85	5,29	5,71
54	3,20	3,66	4,13	4,59	5,04	5,49	5,94
56	3,31	3,80	4,28	4,79	5,23	5,69	6,16
58	3,43	3,94	4,43	4,93	5,41	5,90	6,38
60	3,55	4,07	4,59	5,10	5,60	6,10	6,60
62	3,67	4,21	4,47	5,27	5,79	6,31	6,82
64	3,79	4,34	4,89	5,43	5,98	6,51	7,04
66	3,91	4,48	5,04	5,61	6,16	6,71	7,26
68	4,02	4,61	5,20	5,78	6,35	6,92	7,48
70	4,14	4,75	5,35	5,95	6,54	7,11	7,70

Za rejce kokoši nesnic je posebnega pomena trdnost lupine, saj lahko predstavlja večja količina počenih ali zlomljenih jajc ekonomsko škodo (Zorko, 1995). Trdnost lupine je odvisna od debeline lupine in strukture kalcitnih kristalov (Holcman, 2004). Bolj kot je lupina trdna, manj je elastična. Curtis in sod. (1986, cit. po Holcman, 1990) so ugotovili, da imajo jajca z belo lupino večjo maso lupine, večji odstotek lupine in večjo maso lupine na enoto površine kot jajca z rjavo lupino.

Trdnost jajčne lupine merimo z instrumentom instron. S prehrano lahko vplivamo na trdnost lupine. Predvsem dodatki kalcija, fosforja in vitamina D pozitivno vplivajo na kakovost jajčne lupine. Heritabiliteta za trdnost jajčne lupine je majhna in znaša 0,2 - 0,3, kar pri selekciji ne obeta hitrega napredka. Med nesnostjo in trdnostjo lupine obstaja negativna korelacija, prav tako med velikostjo jajc in trdnostjo lupine (Zorko, 1995).

Terčič in sod. (1993) so ugotovili, da kokoši, ki dobijo dodatek salbutamol sulfat, nesejo jajca s statistično značilno temnejšo barvo lupine v primerjavi z jajci kokoši, ki navedenega beta agonista niso dobile.

Povezava med barvo lupine in kakovostjo lupine še vedno ni povsem jasna. Kakovost jajčne lupine je določena s specifično maso lupine, debelino lupine in trdnostjo lupine. S selekcijo lahko izboljšamo maso jajca, debelino lupine, višino beljaka in teksturo lupine z vsako prihodnjo generacijo (Grover in sod., 1980, cit. po Joseph in sod., 1999). Godfrey (1949, cit. po Joseph in sod., 1999) je naredil poskus z jajci kokoši provenience new hampshire. Meril je barvo jajčne lupine, specifično maso lupine, debelino lupine in trdnost lupine. Prišel je do sklepa, da je korelacija med specifično maso in trdnostjo jajčne lupine večja, kot je korelacija med barvo jajčne lupine in trdnostjo jajčne lupine. Obe korelaciji pa sta statistično značilni. Temnejša rjava jajca imajo debelejšo jajčno lupino in je potrebna večja moč za zlom jajčne lupine kot pri rjavih jajcih, ki imajo svetlejšo jajčno lupino. Godfrey in Jaap (1940, cit. po Joseph in sod. 1999) sta ugotovila, da ostaja povezava med barvo jajčne lupine in specifično maso jajca, vendar je povezava premajhna, da bi lahko bila barva jajčne lupine večji pokazatelj trdnosti lupine kot specifična masa jajca. Prav tako

Briggs in Teulings (1974, cit. po Joseph in sod. 1999) nista mogla dokazati, da lahko po barvi jajčne lupine sklepamo o njeni trdnosti.

2.5.4 Fizikalne lastnosti beljaka

Beljak predstavlja 58 % celotne mase jajca, pri masi jajca 50 g (preglednica 4). Beljak je gosta tekočina, ki je sestavljena iz treh slojev. Zunanji in notranji del sta manj viskozna kot srednji sloj, ki je želatinast in čvrst. Želatinasti beljak vsebuje mnogo mucina in postaja s staranjem bolj tekoč, tako da je začetno razmerje med želirastim in redkim beljakom 2:1, sčasoma pa se spremeni v razmerje 1:1. Ves beljak ovija notranja ovojnica (Zorko, 1995). Beljak vsebuje večje število snovi, ki so potrebne kot gradbena snov za embrio, kot baktericidne snovi ali kot regulacijski agensi za encime. Lastnosti beljaka, ki so pomembne za porabo in predelavo, pripisujemo predvsem beljakovinom (ovalbumin, globulin, ovomucin, konalbulin, lisocim).

Holcman (2004) navaja, da na kakovost beljaka vplivajo različni dejavniki: genetski (obstajajo razlike med pasmami, linijami, križankami), starost kokoši in starost jajc (s staranjem kokoši in staranjem jajc se slabša kakovost beljaka), trajanje in pogoji skladiščenja, letni čas (posebno škodljiva je visoka temperatura) ter prehrana (tudi spremembe v prehrani kokoši se pokažejo na beljaku). Zaradi visoke koncentracije amoniaka v hlevu ali kužnega bronhitisa je beljak bolj voden. To je pogostejša težava pri starejših kokoših.

Na kokošji beljak vpliva tudi način reje. Tako sta Pavlovski in Mašić (1988, cit. po Holcman, 1990) ugotovila pri jajcih iz reje v izpustih višji beljak in večje število haughovih enot kot iz baterijske reje. Kakovost beljaka lahko izboljšamo s selekcijo na to lastnost.

Obstajajo različni kriteriji ocenjevanja kakovosti beljaka. Pogosto ocenjujemo delež gostega in redkega beljaka ter višino gostega beljaka. Delež gostega beljaka naj bi bil večji, višina gostega beljaka med 8 in 10 mm pa kaže na zelo dobro ali kar odlično notranjo kakovost jajca (Holcman, 2004).

Višino gostega beljaka merimo s tripodnim mikrometrom, s pomočjo elektronske konice na vzmet. Ko mikrometer prebode čvrst beljak in se dotakne merilne površine, se višina beljaka avtomatsko zabeleži (Keener in sod., 2006, cit. po Strelec, 2008). Splošno merilo kakovosti beljaka so haughove enote (HE), ki so izračunane po formuli, osnovani na višini gostega beljaka in masi jajca (formula 2). Večja kot je vrednost, boljša je kakovost beljaka. Obstajajo lestvice razvrščanja jajc v kakovostne razrede po številu haughovih enot (tako npr. HE pod 55 pomenijo za porabnika nespremenljivo kakovost in nad 90 odlično kakovost) (Holcman, 2004).

2.5.5 Fizikalne lastnosti rumenjaka

Rumenjak predstavlja 32 % celotne mase jajca, pri masi jajca 50 g (preglednica 4). Rumenjak je krogla, ki je ovita s tanko vitelinsko ovojnico. Rumenjakova masa je sestavljena iz svetlejšega tvornega rumenjaka, ki leži v petih slojih temnejšega hranilnega

rumenjaka. Tvorni rumenjaki so jajčaste oblike (latebra), na njem je zarodkova ploščica. Ker je rumenjak zaradi tolšče, ki jo vsebuje, specifično lažji kot beljak, teži vedno navzgor. Tvorni rumenjak pa je zopet lažji od hranilnega in se pri vsakem položaju jajca obrača navzgor, da bi bila zarodkova ploščica usmerjena proti viru toplote (koklji). Rumenjak je glavna hranilna snov za rastoči embrio in kot vsrkana rumenjaka vrečica za izvaljenega piščanca (Zorko, 1995). Maščobe v rumenjaku v glavnem sestavljajo trigliceridi (okoli 62 %), fosfolipid lecitin (okoli 20 %), holesterol (okoli 4 %) in proste maščobne kisline (0,5 %).

Porabniki posvečajo veliko pozornost barvi jajčnega rumenjaka. Želijo predvsem zlato rumene ali celo oranžne rumenjake. Rumenjaki obarvajo barvila, ki jih vsebujejo nekatere rastline, vključene v krmne obroke. V manjši meri vplivajo na obarvanost še drugi dejavniki, npr. genetski, pa tudi maščobe in antioksidanti v krmi ter količina vitamina A in kalcija v obroku. Prevelika količina vitamina A in kalcija v obroku razbarva rumenjake. Dodatek maščob povzroči intenzivnejšo obarvanost, vendar morajo biti pri večji količini dodani antioksidanti, sicer bodo oksidacijski produkti maščob razbarvali rumenjak (Holcman, 2004). Barva rumenjaka je za porabnike zelo pomembna lastnost, čeprav je bilo ugotovljeno, da je med barvo in hranljivo vrednostjo jajca zelo majhna odvisnost (Zorko, 1996). Barvo rumenjaka ocenimo vizualno pri dnevni svetlobi in jo s pomočjo barvne pahljače po Rochevi pahljači ovrednotimo s številkami. Izmerimo jo lahko tudi s kolorimetrom, ki barvo izrazi s številko z Rocheve lestvice. Barva rumenjaka se giblje od številke 1 (najsvetlejša) do 15 (najtemnejša). Jajca v Sloveniji imajo najpogosteje 12 in 13 enot po Rochevi lestvici (Holcman, 1990).

2.5.6 Krvne in mesne pege

Krvne pege nastanejo ob ovulaciji, to je ob sprostitvi dozorelega folikla (rumenjaka) iz jajčnika. Včasih pri tem počijo kapilare, s tem se pojavijo komaj zaznavne manjše ali večje krvne pege. Gre za rdeče krvave madeže v rumenjaku, redkeje v beljaku. Na obseg krvnih peg vplivajo različni dejavniki, kot so nizka raven vitamina A in vitamina K v obroku (lahko poveča delež krvnih peg), antagonisti vitamina K, toksini, svetlobni program (trajna osvetlitev ali svetlobni programi s kratkimi prekinjenimi svetlimi obdobji), stres, epidemični tremor in pasma kokoši. Jajca nesnic z rjavo lupino imajo običajno več krvnih peg, povprečno 5 % (Holcman, 2004).

Mesne pege so madeži različnih barv (od rjave do bele) in različnega izvora, ki se pojavijo predvsem v beljaku. To so degenerirane krvne pege ali delčki odluščenega tkiva jajcevoda. Obseg mesnih peg je odvisen od starosti in pasme kokoši. S staranjem kokoši se povečuje obseg mesnih peg in več jih je v jajcih z rjavo lupino. Obseg mesnih peg v jajcih z belo lupino je manjši kot 1 %, v jajcih z rjavo lupino pa je precej večji, povprečno okrog 20 %, pri nekaterih linijah oziroma pasmah lahko celo trideset ali več odstotkov (Holcman, 2004).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

V preizkus smo vključili 48 mater pitovnih piščancev provenience ross in 48 kokoši nesnic provenience lohmann brown. Vse živali so bile v talni reji. Pri starosti 36 tednov (ross) in 33 tednov (lohmann brown) smo jih vselili v individualne kletke trinadstropne baterije. Sprva smo izvedli 14-dnevno privajanje kokoši na novo okolje. Matere pitovnih piščancev provenience ross so bile v poskusu od 38. do 50. tedna starosti. Kokoši nesnice provenience lohmann so bile v poskusu od starosti 35 do 47 tednov. Kokoši obeh proizvodnih tipov so bile izpostavljene enakim dejavnikom okolja.

Kokoši obeh proizvodnih tipov smo razdelili v štiri skupine, in sicer: kontrolna skupina (K), skupina, ki je dobivala dodatek Q₁₀ (Q), skupina, ki je dobivala dodatek lipojske kisline (L) ter skupina, ki je dobivala oba dodatka (QL). V vsaki skupini je bilo na začetku poskusa po 12 živali. Živali in kletke so bile označene z oznako, sestavljeno iz dveh črk in številke. Prva črka je pomenila provenienco živali (R - ROSS, L - LOHMANN), druga črka pa je označevala krmo, ki jo je žival dobivala (preglednica 7). Znotraj vsake skupine smo kokoši ločili z zaporednimi številkami.

Preglednica 7: Oznake skupin kokoši glede na provenienco in na dodatek v krmi

	K	Q	L	QL
LOHMANN BROWN	LK n=12	LQ n=12	LL n=12	LQL n=12
ROSS	RK n=12	RQ n=12	RL n=12	RQL n=12

K- kontrola (brez dodatka), Q - koencim Q₁₀, L - lipojska kislina, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

Kokoši so imele neomejen dostop do vode. Matere pitovnih piščancev provenience ross smo krmili omejeno, v skladu z normativom, ki velja za živali te provenience in starosti. Kokoši nesnice provenience lohmann brown smo krmili po volji, tako da so vsak dan dobile 125 g krme/žival, enkrat tedensko pa so prejele še dodatek 60 g krme/žival in tako imele zagotovljeno krmo po volji. Osnovna krmna mešanica za matere pitovnih piščancev provenience ross je bila NS-val, za kokoši nesnice provenience lohmann brown pa NSK. Dodatka (koencim Q₁₀ in lipojsko kislino) smo v krmo vmešavali sami. Za obe osnovni krmni mešanici smo vmešali dodatke enako. Za skupino z dodatkom Q₁₀ smo vmešali 2 g Amil Q/kg krme, za skupino z dodatkom lipojske kisline 0,4 g ALA/kg krme, za skupino z dodatkom Q₁₀ in lipojske kisline pa 2 g Amil Q + 0,4 g ALA/kg krme.

Predposkusno obdobje je bilo namenjeno prilagoditvi živali na novo okolje in je trajalo 14 dni. Poskus je trajal 12 tednov. Ob koncu poskusa so bile matere pitovnih piščancev provenience ross stare 50 tednov, kokoši nesnice lohmann brown pa 47 tednov. Poskus je potekal od novembra 2009 do februarja 2010.

3.2 METODE DE LA

V času poskusa smo vsakih sedem dni na vseh zbranih jajcih tistega dne izmerili naslednje lastnosti: širino in dolžino jajca, barvo lupine, maso jajca, trdnost lupine, višino gostega beljaka in barvo rumenjaka. Zabeležili smo tudi prisotnost krvnih in mesnih peg. Jajčne lupine smo oprali pod tekočo vodo, jih sušili pri sobni temperaturi vsaj štiri tedne, jih nato stehali in na njih izmerili debelino lupine.

S kljunastim merilom smo merili širino jajca na ekvatorialnem delu in dolžino jajca med obema poloma. Ta podatka sta nam služila za izračun indeksa oblike jajca, ki smo ga izračunali po formuli (1).

$$\text{Indeks oblike (IO)} = (\text{širina jajca} / \text{višina jajca}) * 100 \quad \dots(1)$$

Barvo jajčne lupine smo merili s pomočjo reflektometra. Reflektometer meri odbito količino svetlobe od površine jajca. Pred vsakim merjenjem smo morali reflektometer umeriti z dvema vzorčnima ploščicama črne (vrednost 0,00 %) in bele barve (82,10 %). Ploščici sta bili umerjeni po glavni beli površini v državnem fizikalnem laboratoriju v Veliki Britaniji, ki ima vrednost 100. Barva jajčne lupine je izražena v odstotkih. Merili smo jo na čistem in nepoškodovanem topem delu jajca (Holcman, 1990). Čim manjša je vrednost, tem temnejša je lupina in obratno.

Maso jajca smo izmerili s pomočjo elektronske tehtnice, ki je merila do 0,01 g natančno. Elektronska tehtnica je bila povezana z mikroprocesorjem, ki je podatke shranjeval za izračun HE.

Trdnost lupine smo izmerili s pomočjo instrumenta instron. S pritiskom na ekvatorialna dela jajca smo merili silo (Newton - N), ki je potrebna za zlom jajčne lupine.

Nato smo jajce na ekvatorialnem delu previdno razbili na stekleno površino z zrcalno podlago. Zabeležili smo tudi prisotnost krvnih in mesnih peg. S tripodnim mikrometrom smo izmerili višino gostega beljaka (v mm), približno 1 cm od roba rumenjaka. Pri merjenju smo pazili, da višine gostega beljaka nismo merili na področju halaz ali zračnih mehurčkov. Iz izmerjene in zapisane mase jajca ter višine gostega beljaka so bile za posamezno jajce avtomatsko izračunane HE po formuli (2).

$$\text{HE} = 100 \times \log \quad x \quad [\quad H - (\sqrt{G} \times (30 \times W^{0,37} - 100)) / 100 + 1,9 \quad] \quad \dots(2)$$

HE - število haughovih enot;

H - višina gostega beljaka;

G - težnostna konstanta (32,2);

W - masa jajca v g

Barvo jajčnega rumenjaka smo merili s kolorimetrom, ki omogoča objektivno določanje barve. Kolorimeter razdeli barvo rumenjaka po Rochevi lestvici v 15 odtenkov. Intenzivnost obarvanosti, izražena v Rochevih enotah, se giblje med 1 (najmanj intenzivna

obarvanost) in 15 (najbolj intenzivna obarvanost). Za to meritev smo morali ločiti rumenjaki od beljaka. Rumenjak je ostal v posebni skodelici kolorimetra, beljak pa je odtekel v zbirno posodo pod njo.

Jajčno lupino smo po vsakem merjenju oprali pod tekočo vodo, da smo odstranili beljak, pazili pa smo, da nismo odstranili notranjih membran. Pri sobni temperaturi smo jajčne lupine sušili najmanj 30 dni. Ko so bile posušene, smo jih stekali z elektronsko tehtnico, katere natančnost je bila 0,01 g. Na podlagi izmerjene mase lupine smo izračunali še delež lupine od mase jajca (%) in maso lupine na enoto površine (v mg/cm²). S formulo 3 po Holcman (1990) smo izračunali površino jajca:

$$P \text{ (cm}^2\text{)} = 4,6 \times (\text{MJ})^{2/3} \quad \dots(3)$$

P - površina jajčne lupine v cm²
MJ – masa jajca v g

S pomočjo podatka o površini jajca smo lahko po formuli 4 izračunali še maso lupine na enoto površine.

$$\text{ML} / \text{EP} = (\text{ML} \times 1000) / P \quad \dots(4)$$

ML - masa lupine (mg)
EP - enota površine lupine v cm²
P - površina lupine v cm²

Z mehanskim mikrometrom so izmerili debelino lupine na 0,01mm natančno. Meritve smo opravili na treh koščkih lupine, ki smo jih odlomili na treh različnih mestih ekvatorialnega predela jajca ter izračunali povprečje. Holcman (1990) navaja, da je lupina na ekvatorialnem delu najmanj variabilna. Pozorni smo morali biti, da na mestu merjenja lupina ni bila umazana, da sta bili prisotni membrani in da ni bilo ostankov beljaka, saj bi to vplivalo na izmerjeno vrednost.

3.3 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Osnovne statistične parametre (povprečje, standardni odklon, najmanjša in največja vrednost) smo statistično izračunali s programskim paketom SAS/STAT (2000).

Nadaljnjo obdelavo podatkov smo opravili s programom R (R Development ..., 2010) in dodatnimi paketi lme4 (Bates in Maechler, 2010), Multcomp (Hothorn in sod., 2008) in Zelig (Imai in sod., 2008). V rezultatih so predstavljene pričakovane vrednosti po skupinah (K – kontrola, L – lipojska kislina, Q – koencim Q₁₀ in QL – koencim Q₁₀ in lipojska kislina) s pripadajočimi 95 % intervali zaupanja po metodi, ki so jo predstavili Imai in sod. (2008). Razlike med skupinami so označene kot značilne na podlagi Tukey-Kramerjevega multiplega testa pričakovanih vrednosti (Hothorn in sod., 2008).

Pri obdelavi podatkov smo uporabili statistične modele, ki so predstavljeni v nadaljevanju. V modelih je opazovana lastnost označena z y_{ijk} (j-ta žival v i-ti skupini na k-ti dan poskusa), srednja vrednost z α , vpliv skupine z G_i , starost kokoši z x_{ijk} , vpliv kokoši s h_{ij} .

Za meritve indeksa oblike, mase jajca, barve lupine, trdnosti lupine, višine gostega beljaka, haughove enote in barve rumenjaka smo predpostavili normalno porazdelitev in uporabili model 5, pri čemer smo pri masi in debelini jajčne lupine v model 6 vključili še regresijo na maso izmerjenega jajca (z_{ijk}).

$$\begin{aligned} y_{ijk} &\sim \text{Normal}(\mu_{ijk}, \sigma_e^2), \\ \mu_{ijk} &= \alpha + G_i + b_x(x_{ijk} - \bar{x}) + h_{ij}, \\ h_{ij} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_h^2) \end{aligned} \quad \dots(5)$$

$$\begin{aligned} y_{ijk} &\sim \text{Normal}(\mu_{ijk}, \sigma_e^2), \\ \mu_{ijk} &= \alpha + G_i + b_x(x_{ijk} - \bar{x}) + b_z(z_{ijk} - \bar{z}) + h_{ij}, \\ h_{ij} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_h^2) \end{aligned} \quad \dots(6)$$

Pri statistični obdelavi podatkov za krvne in mesne pege smo predpostavili, da je porazdelitev za lastnost Bernoullijeva. Pri obdelavi podatkov je vrednost 0 označevala jajce brez peg, vrednost 1 pa jajce s pego. Za Bernoullijevo porazdelitev smo uporabili model 7. V modelu je y_{ijk} vrednost 0 ali 1, p_{ijk} je ocenjen delež za j-to žival i-te skupine na k-ti dan poskusa, $\text{logit}(p_{ijk})$ je vezna funkcija, ki veže verjetnosti in linearni model v drugi vrstici, α je srednja vrednost, G_i je vpliv skupine, x_{ijk} je starost kokoši, h_{ij} je vpliv kokoši.

$$\begin{aligned} y_{ijk} &\sim \text{Bernoulli}(p_{ijk}), \\ \text{logit}(p_{ijk}) &= \alpha + G_i + b(x_{ijk} - \bar{x}) + h_{ij}, \\ h_{ij} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_h^2) \end{aligned} \quad \dots(7)$$

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC KOKOŠI NESNIC LOHMANN

V preglednici 8 so prikazani opisni statistični parametri fizikalnih lastnosti jajc po poskusnih skupinah pri kokoših nesnicah provenience lohmann brown.

Največji indeks oblike (77,8) so imela jajca kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, zatem jajca kokoši nesnic v kontrolni skupini (77,7), za njimi pa jajca kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (77,6). Najmanjši indeks oblike jajca (77,3) so imele kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino.

Najtežja jajca (60,1 g) so nesle kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, najlažja jajca (58,9 g) pa kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino. Kokoši v kontroli so nesle jajca, težka povprečno 59,1 g, kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino, so nesle 59,4 g težka jajca.

Jajca z najtemnejšo lupino (33,9 %) so nesle kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, najsvetlejšo barvo lupine (37 %) pa so imele kokoši nesnice v kontrolni skupini. Vse kokoši, z izjemo tistih, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so imele maso lupine enako, in sicer 5,7 mg. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so imele za 0,1 mg težjo maso lupine. Debelina lupine je bila pri vseh jajcih kokoši nesnic, ne glede na dodatek, enaka. Jajca z najtršo lupino so nesle kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino. V preglednici vidimo, da so imela najtršo lupino jajca iz skupine, ki je dobivala krmo z dodano lipojsko kislino. Potrebni je bilo 41,3 N, da se je lupina natrla. Kokoši nesnice v kontrolni skupini so nesla jajca, za katera je bilo potrebno 39 N, da se je njihova lupina natrla.

Kakovost jajčnega beljaka lahko ocenimo na podlagi haughovih enot in višine gostega beljaka. Jajca kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so imele najvišji gosti beljak jajc (7,9 mm). Jajca kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino in obogateno krmo s koencimom Q₁₀ ter lipojsko kislino, so imele višino gostega beljaka 7,6 mm, jajca z najnižjim gostim beljakom (7,5 mm) pa so imele kokoši nesnice v kontrolni skupini. Haughove enote so izračunane iz višine gostega beljaka, pri čemer imajo njihove vrednosti enak trend kot višina gostega beljaka. Največje število HE (86,2) so imela jajca kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino, najmanjše število HE (83,6) pa so imela jajca kokoši nesnic v kontrolni skupini.

Najsvetlejšo barvo rumenjaka (11,8 enot po Rochevi lestvici) so imela jajca kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in obogateno krmo s koencimom Q₁₀ ter lipojsko kislino (11,8 enot po Rochevi lestvici). Najtemnejšo barvo rumenjaka (12,0 enot Rochevi lestvici) so imela jajca kokoši nesnic v kontrolni skupini.

Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so nesle jajca z največjim obsegom krvnih in mesnih peg (46,5 %). Jajca z najmanjšim deležem krvnih in mesnih peg (29,1 %) so nesle kokoši v kontrolni skupini.

Preglednica 8: Opisni statistični parametri fizikalnih lastnosti jajc po poskusnih skupinah pri kokoših nesnicah provenience lohmann brown

Lastnost Skupina	IO	MJ (g)	BL (%)	ML (g)	DL (mm)	TL (N)	VGB (mm)	HE	BR (Roche)	Pege (%)	
K	N	141	141	141	141	141	140	139	141	141	
	Pov	77,7	59,1	37,0	5,7	0,39	39,0	7,5	83,6	29,1	
	SD	2,9	4,1	5,6	0,4	0,03	6,8	4,5	10,1	45,6	
	Min	64,1	51,6	22,0	4,5	0,32	13,2	1,5	13,0	0,0	
	Max	84,3	70,8	52,0	7,3	0,46	52,5	58,0	104,0	13,0	100
L	N	130	130	130	130	134	130	130	130	130	
	Pov	77,3	58,9	36,5	5,8	0,38	41,3	7,6	85,8	36,2	
	SD	3,1	4,6	9,1	0,6	0,07	7,6	1,4	11,4	48,2	
	Min	69,5	47,4	19,0	4,2	0,31	16,4	4,0	9,3	10,0	0,0
	Max	84,6	70,8	75,0	7,4	0,48	52,5	11,1	103	14,0	100
Q	N	155	155	155	155	158	155	154	155	155	
	Pov	77,8	60,1	33,9	5,7	0,38	40,3	7,9	84,8	46,5	
	SD	3,1	4,5	6,4	0,5	0,06	6,3	5,9	104	0,7	50,0
	Min	69,8	49,6	23,0	4,1	0,30	14,3	4,3	13,0	10,0	0,0
	Max	96,6	77,8	68,0	7,3	0,43	52,1	79,0	106	13,0	100
QL	N	148	149	149	149	149	149	149	149	149	
	Pov	77,6	59,4	34,2	5,7	0,38	40,1	7,6	86,2	38,3	
	SD	2,7	5,1	4,7	0,5	0,02	6,1	1,5	8,7	0,7	48,8
	Min	71,7	49,7	24,0	4,6	0,32	17,3	4,8	65,0	10,0	0,0
	Max	86,5	76,1	47,0	7,4	0,45	52,5	11,9	108,0	13,0	100

K – kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL – koencim Q₁₀ in lipojska kislina, N - skupno število opazovanj, Pov. – povprečna vrednost, SD – standardni odklon, Min – minimalna vrednost, Max – maksimalna vrednost, IO – indeks oblike, MJ – masa jajca, BL – barva lupine, ML – masa lupine, DL – debelina lupine, TL – trdnost lupine, VGB – višina gostega beljaka, HE - haughove enote, BR – barva rumenjaka

4.2 FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC KOKOŠI MATER PITOVIH PIŠČANCEV ROSS

V preglednici 9 so prikazani opisni statistični parametri fizikalnih lastnosti jajc po poskusnih skupinah pri materah pitovnih piščancev provenience ross.

Največji indeks oblike (77,3) jajc so imele kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, najmanjši indeks oblike jajca (76,0) pa so imele kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so imele indeks oblike jajca 77,2. Kokoši v kontrolni skupini so imele indeks oblike jajca 76,4.

Največjo maso jajc (66,2 g) so imele kokoši v kontrolni skupini. Najmanjšo maso jajc (63,3 g) so imele kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so imela le za 0,1 g lažjo maso jajc od mase jajc kontrolne skupine.

Najsvetlejšo barvo lupine jajc (61,4 %) so imele kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, najtemnejšo barvo lupine jajc (58,2 %) pa so imele kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ ter lipojsko kislino. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, in kokoši v kontrolni skupini so imele največjo maso lupine (5,7 g). Le za 0,1 g lažjo maso lupine so imele kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, ter kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so imele najtanjšo debelino lupine (0,3 mm), ostale tri skupine pa so imele za 0,1 mm debelejšo lupino. Kokoši, ki so nesle jajca z najtršo lupino, so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino. Potrebno je bilo 34,9 N, da se je lupina natrla. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino, so nesle jajca, za katera je bilo potrebno 34,1 N, da se je jajčna lupina natrla. Kokoši v kontrolni skupini so nesle jajca z lupino najmanjše trdote. Potrebno je bilo 33,2 N, da se je jajčna lupina natrla.

Najvišji gosti beljak (7,5 mm) in največje število HE (84) so imele kokoši v kontrolni skupini, sledijo kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ (6,9 mm in 79,2 HE). Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino, so imele višino gostega beljaka 6,2 mm ter 73,9 HE. Najnižji gosti beljak (6,0 mm) ter najmanjše število HE (72,1) so imele kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino.

Najsvetlejšo barvo rumenjaka (8,3 enot po Rochevi lestvici) so imela jajca kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, ter jajca kokoši v kontrolni skupini. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so nesla jajca z najtemnejšo barvo rumenjaka (8,7 enot po Rochevi lestvici).

Povprečni odstotek krvnih in mesnih peg v jajcih se nahaja med 47,5 % in 58,9 %. Najmanjši delež krvnih in mesnih peg je bil v jajcih kokoši v kontrolni skupini, največji delež mesnih in krvnih peg pa v jajcih kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino.

Preglednica 9: Opisni statistični parametri fizikalnih lastnosti jajc po poskusnih skupinah pri materah pitovnih piščancev ross

Lastnost	IO	MJ	BL	ML	DL	TL	VGB	HE	BR	Pege	
Dodatek		(g)	(%)	(g)	(mm)	(N)	(mm)		(Roche)	(%)	
K	N	101	101	101	101	103	93	101	101	101	101
	Pov	76,4	66,2	58,6	5,7	0,35	31,8	7,5	84,0	8,3	47,5
	SD	3,1	5,6	5,6	0,6	0,06	8,2	1,3	8,1	0,5	50,2
	Min	66,9	55,5	42,0	4,4	0,30	8,4	4,2	57,0	0,8	0,0
	Max	85,7	84,5	70,0	7,3	0,45	50,0	11,3	103	10,0	100
L	N	113	113	113	113	117	113	113	113	113	113
	Pov	77,3	63,3	61,4	5,6	0,35	34,9	6,0	72,1	8,7	49,6
	SD	2,8	8,5	6,7	0,7	0,07	7,2	1,9	18,8	0,7	50,2
	Min	69,9	5,9	40,0	3,2	0,29	5,8	2,0	8,0	8,0	0,0
	Max	87,5	83,5	78,0	7,9	0,43	48,6	10,6	100	10,0	100
Q	N	129	129	129	129	136	128	127	127	129	129
	Pov	77,2	66,1	58,3	5,7	0,34	33,2	6,9	79,2	8,3	56,6
	SD	3,0	5,3	4,4	0,7	0,08	6,7	1,8	14,7	0,7	49,8
	Min	67,2	46,2	46,0	2,4	0,28	8,2	1,0	13,0	4,0	0,0
	Max	84,1	77,8	68,0	7,3	0,41	49,1	11,4	103	10,0	100
QL	N	129	129	129	129	130	129	129	129	129	129
	Pov	76,0	65,4	58,2	5,6	0,36	34,1	6,2	73,9	8,6	58,9
	SD	3,1	5,0	7,4	0,6	0,04	7,4	1,7	15,0	0,5	49,4
	Min	64,2	54,3	40,0	3,8	0,30	5,6	2,2	22,0	8,0	0,0
	Max	88,0	80,1	73,0	6,7	0,44	49,5	10,2	99,0	10,0	100

K – kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL – koencim Q₁₀ in lipojska kislina, N - skupno število opazovanj, Pov. – povprečna vrednost, SD – standardni odklon, Min – minimalna vrednost, Max – maksimalna vrednost, IO – indeks oblike, MJ – masa jajca, BL – barva lupine, ML – masa lupine, DL – debelina lupine, TL – trdnost lupine, VGB – višina gostega beljaka, HE - haughove enote, BR – barva rumenjaka

4.3 VPLIV DODATKA V KRMO KOKOŠI NA FIZIKALNE LASTNOSTI JAJC KOKOŠI NESNIC IN MATER PITOVNIH PIŠČANCEV

4.3.1 Indeks oblike

Holcman (2004) navaja, da se pri tipičnih jajcih indeks oblike nahaja med 70 in 74. Jajca, pri katerih se indeks oblike ne nahaja med 70 in 74, so manj privlačna ter bolj podvržena lomom in drugim poškodbam lupine.

Indeks oblike jajc kokoši nesnic se ni statistično značilno razlikoval po skupinah. Povprečne vrednosti so se nahajale med 77,3 (dodatek lipojske kisline) in 77,8 (kontrolna skupina) (preglednica 10).

Indeks oblike jajc kokoši mater pitovnih piščancev se je statistično značilno razlikoval po poskusnih skupinah. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino, so nesle jajca s statistično značilno večjim indeksom oblike (76) od ostalih dveh poskusnih skupin (77,3; 77,2) (preglednica 10).

Kokoši nesnice so imele večji indeks oblike jajca od indeksa oblike jajc kokoši mater pitovnih piščancev.

Preglednica 10: Indeks oblike (LSM) jajc lohmann in ross kokoši po skupinah

	Indeks oblike			
	K	L	Q	QL
lohmann	77,8 (77,1; 78,6) ^a	77,3 (76,6; 78,1) ^a	77,7 (77,0; 78,5) ^a	77,6 (76,8; 78,3) ^a
ross	76,3 (75,5; 77,1) ^{ab}	77,3 (76,5; 87,0) ^a	77,2 (76,5; 78,0) ^a	76,0 (75,2; 76,7) ^b

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo (p<0,05)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

4.3.2 Masa jajc

Holcman (2004) navaja, da na maso jajc vplivajo različni dejavniki (genetika, starost kokoši, mesto jajca v seriji, nesnost, prehrana, temperatura, starost jajca).

Kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so nesle statistično značilno težja jajca (60,2 g) od kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino (58,8 g), a se njuna masa jajc ni statistično značilno razlikovala od mase jajc kokoši nesnic v kontroli (59,6 g) (preglednica 11). Kokoši nesnice provenience lohmann brown naj bi med 35. in 47. tednom dosegle maso 64,19 g (slika 8). Kokoši nesnice v poskusnih skupinah niso dosegle te mase jajca.

Obogatena krma z lipojsko kislino je statistično značilno vplivala na maso jajca kokoši mater pitovnih piščancev. Te kokoši so nesle statistično značilno lažja jajca (63,4 g) od jajc kokoši mater pitovnih piščancev v ostalih skupinah (65,7 g; 65,9 g; 65,5 g) (preglednica 11). Omenjene kokoši so tudi dosegle pričakovano maso jajc (64,5 g) za matere pitovnih piščancev provenience ross (slika 8, preglednica 11).

Masa jajc kokoši na začetku hitro narašča in zatem počasneje. Vendar je začetna masa in hitrost naraščanja mase pri različnih proizvodnih tipih različna. Na začetku nesnosti kokoši nesnice nesejo lažja jajca kot matere pitovnih piščancev, med 43. in 46. tednom je masa jajc obeh proizvodnih tipov izenačena, na koncu nesnosti pa kokoši nesnice nesejo težja jajca (slika 8). Mi smo spremljali maso jajca le del nesnega obdobja, zato so bila ugotovljena odstopanja v masi jajca.

Jajca z manjšim indeksom oblike so težja in obratno: jajca z večjim indeksom so lažja (preglednica 5). Masa jajc kokoši nesnic je bila lažja od mase jajc kokoši mater pitovnih piščancev (preglednica 11).

Preglednica 11: Masa jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Masa jajca (g)			
	K	L	Q	QL
lohmann	59,6 (58,0; 61,2) ^{ab}	58,8 (57,2; 60,5) ^a	60,2 (58,6; 61,8) ^b	59,3 (57,7; 61,0) ^{ab}
ross	65,7 (63,8; 67,7) ^a	63,4 (61,8; 65,6) ^b	65,9 (64,0; 67,7) ^a	65,5 (63,7; 67,4) ^a

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo ($p < 0,05$)

V oklepaju je naveden interval zaupanja.

Obogatena krma je vplivala na maso jajc obeh proizvodnih tipov kokoši, vendar različno. Pri kokoših nesnicah je bila statistično značilna razlika v masi jajc med kokošmi, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, ter kokošmi, ki so prejemale obogateno krmo z lipojsko kislino. Kokoši matere pitovnih piščancev, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so nesle statistično značilno lažja jajca kot kokoši v kontrolni skupini in ostali dve poskusni skupini (preglednica 11).

4.3.3 Barva lupine

Barva jajčne lupine je genetsko pogojena lastnost in pri kokošjih jajcih variira od bele do temno rjave, lahko pa je tudi modra oz. zelenkasta (Washburn, 1990, cit. po Holcman 1990). Holcman (2004) navaja, da barva jajčne lupine s starostjo blede. Na začetku nesnosti je intenzivneje pigmentirana. Na intenzivnost jajčne lupine vpliva tudi čas zadrževanja jajca v uterusu. Zorko (1995) navaja, da ima temnejša jajčna lupina manjšo vrednost (%) in obratno.

Barva lupine jajc kokoši nesnic provenience lohmann brown je privlačno rjava (Layer management ..., 2010). Barva lupine je bila značilno temnejša (33,6 %) pri kokoših nesnicah, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ ter obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (34,2 %), od barve lupine jajc kokoši nesnic v kontrolni skupini (37,0 %). Prav tako je statistično značilna razlika v barvi lupine jajc med kokošmi nesnicami, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ (33,6 %) in kokošmi nesnicami, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino (35,7 %).

Barva lupine pri jajcih kokoši mater pitovnih piščancev variira od svetlo krem do temno rjave barve (Klose in sod., 1937, cit. po Joseph in sod., 1999). Pri barvi lupine jajc kokoši materah pitovnih piščancev so statistično značilne razlike samo med kokošmi, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino (61,2 %), in ostalimi skupinami (58,8 %; 58,5 %; 58 %) (preglednica 12).

Kokoši matere pitovnih piščancev nesejo jajca s svetlejšo jajčno lupino (58 % - 61,2 %) kot kokoši nesnice (33,6 % - 37 %). Obogatena krma je vplivala na barvo lupine, vendar pri različnih proizvodnih tipih različno (preglednica 12).

Preglednica 12: Barva lupine (LSM) jajc lohmann in ross kokoši po skupinah

	Barva lupine (%)			
	K	L	Q	QL
lohmann	37,0 (35,5; 38,4) ^a	35,7 (34,2; 37,2) ^{ac}	33,6 (32,2; 35,0) ^b	34,2 (32,8; 35,7) ^{bc}
ross	58,8 (57,2; 60,4) ^a	61,2 (59,7; 62,8) ^b	58,5 (56,9; 60,0) ^a	58,0 (56,5; 59,6) ^a

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo ($p < 0,05$)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

Obogatena krma z lipojsko kislino je vplivala na svetlejšo barvo jajc pri kokoših materah pitovnih piščancev. Dodatek koencima Q₁₀ je vplival na temnejšo barvo lupine pri kokoših nesnicah. Obogatena krma s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino je vplivala na temnejšo barvo jajčne lupine kokoši nesnic (preglednica 12).

4.3.4 Masa lupine

Doganoc in Komar (2001) navajata, da jajčna lupina predstavlja 11 % celotne mase jajca, Zorko (1994) pa 10 % celotne mase jajca (preglednica 1).

Povprečna masa lupine jajc kokoši obeh proizvodnih tipov se nahaja med 5,3 g in 5,9 g.

Masa lupine jajc (5,8 g) kokoši nesnic v kontrolni skupini se ne razlikuje značilno od mase lupine jajc kokoši v poskusnih skupinah (5,9 g; 5,7 g; 5,7 g). Statistično značilne razlike v masi lupine jajc pri kokoših nesnicah so med poskusnimi skupinami. Kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so nesle jajca z večjo maso lupine (5,9 g) kot ostali dve poskusni skupini (5,7 g) (preglednica 13).

Masa lupine jajc kokoši mater pitovnih piščancev se med skupinami ne razlikuje značilno. Povprečna masa lupine jajc se nahaja med 5,3 g (dodatek koencima Q₁₀) in 5,5 g (dodatek lipojske kisline) (preglednica 13).

V našem preizkusu so imele kokoši nesnice drobnejša jajca in večjo maso jajčne lupine kot kokoši težkega tipa (preglednica 11 in preglednica 13). Tako predstavlja delež lupine od mase jajca pri kokoših nesnicah od 9,5 do 10,0 %, pri težkem tipu kokoši pa od 8,0 do 8,7 %.

Preglednica 13: Masa lupine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Masa lupine (g)			
	K	L	Q	QL
lohmann	5,8 (5,7; 5,9) ^{ab}	5,9 (5,8; 6,0) ^a	5,7 (5,6; 5,8) ^b	5,7 (5,6; 5,8) ^b
ross	5,4 (5,2; 5,6) ^a	5,5 (5,3; 5,7) ^a	5,3 (5,1; 5,5) ^a	5,4 (5,2; 5,6) ^a

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo ($p < 0,05$)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

Pri kokoših nesnicah obstajajo v masi lupine na enoto površine statistično značilne razlike med poskusnimi skupinami. Kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko

kislino in koencimom Q₁₀, in kokoši, ki so dobivale v krmi Q₁₀, so nesle jajca, pri katerih je bila masa lupine na enoto površine značilno manjša (79,8 mg/cm²; 79,9 mg/cm²) od mase lupine na enoto površine jajc kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino (82,2 mg/cm²) (preglednica 14).

Kokoši matere pitovnih piščancev so nesle jajca, pri katerih se masa lupine na enoto površine ni značilno razlikovala med kontrolno skupino ter poskusnimi skupinami, prav tako ni bilo značilnih razlik med poskusnimi skupinami. Povprečna masa lupine na enoto površine jajca je bila med 73,5 in 75,5 (preglednica 14).

Na podlagi rezultatov za maso lupine na enoto površine lahko sklepamo, da smo dobili enake rezultate kot pri masi lupine jajca (preglednica 13, preglednica 14).

Preglednica 14: Masa lupine na enoto površine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Masa lupine na enoto površine jajca (mg/cm ²)			
	K	L	Q	QL
lohmann	80,8 (79,5; 82,0) ^{ab}	82,2 (80,9; 83,5) ^a	79,9 (78,6; 81,1) ^b	79,8 (78,6; 81,0) ^b
ross	73,9 (71,5; 76,3) ^a	75,5 (73,3; 77,9) ^a	73,5 (71,2; 75,7) ^a	74,3 (72,0; 76,6) ^a

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo (p<0,05)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

4.3.5 Debelina jajčne lupine

Leeson in Summers (2000) navajata, da je debelina jajčne lupine odvisna od starosti kokoši matere pitovnega piščanca, temperature okolja in od prehrane živali. Debelina lupine brez povrhnjice in lupine membrane mora biti okrog 0,3 mm, debelina lupine s povrhnjico in lupino membrane pa okrog 0,4 mm.

Med kontrolno skupino in poskusnimi skupinami kokoši nesnic v debelini lupine jajc ni bilo statistično značilnih razlik. Statistično značilni razliki pa sta obstajali med poskusnimi skupinami, saj so kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, nesle jajca, pri katerih je bila jajčna lupina debelejša (0,392 mm) kot pri jajcih ostalih dveh poskusnih skupin (0,384 mm; 0,383 mm).

Pri jajcih mater pitovnih piščancev se debelina jajčne lupine med kontrolno in poskusnimi skupinami ni statistično značilno razlikovala (preglednica 15).

Kokoši nesnice v kontrolni skupini so nesle jajca z debelejšo lupino kot matere pitovnih piščancev v kontrolni skupini.

Preglednica 15: Debelina jajčne lupine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Debelina lupine (mm)			
	K	L	Q	QL
lohmann	0,389 (0,383; 0,394) ^{ab}	0,392 (0,387; 0,398) ^a	0,384 (0,379; 0,390) ^b	0,383 (0,378; 0,388) ^b
ross	0,358 (0,348; 0,368) ^{ab}	0,366 (0,357; 0,376) ^a	0,355 (0,345; 0,355) ^b	0,362 (0,352; 0,372) ^{ab}

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo (p<0,05)

V oklepaju je naveden interval zaupanja.

4.3.6 Trdnost lupine

V Layer management (2010) je navedeno, da je trdnost lupine kokoši nesnic provenience lohmann brown večja od 35 N. Kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so nesle jajca z značilno tršo lupino (41,6 N) kot kokoši nesnice, ki so bile v kontrolni skupini (39,2 N). Med poskusnimi skupinami kokoši nesnic ni statistično značilnih razlik v trdnosti lupine (preglednica 16).

Kokoši matere pitovnih piščancev, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so nesle jajca, pri katerih je bila lupina značilno trša (35,3 N) od lupine jajc kokoši v kontrolni skupini (32,8 N) ter lupine jajc kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ (33,2 N) (preglednica 16).

Oba proizvodna tipa kokoši, ki sta dobivala obogateno krmo z lipojsko kislino, sta nesla jajca s tršo lupino od kontrolne skupine (preglednica 16). Holcman (2004) navaja, da je trdnost lupine odvisna od debeline lupine in kalcijevih kristalov. Kokoši nesnice so nesle jajca z debelejšo lupino kot kokoši matere pitovnih piščancev (preglednica 15). Prav tako so imele tudi tršo lupino kot kokoši matere pitovnih piščancev.

Temnejša kot je barva lupine, trdnejša je lupina (Godfrey, 1949, cit. po Joseph in sod. 1999). Kokoši nesnice v kontroli so nesle jajca s temnejšo barvo lupine in trdnejšo jajčno lupino od kokoši mater pitovnih piščancev (preglednica 12, preglednica 17). Najtemnejšo barvo lupine so imele kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ (preglednica 12). Lupina jajc teh kokoši ni najtrša (preglednica 16). Kokoši mater pitovnih piščancev, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so imele statistično značilno trdnejšo in temnejšo barvo lupine jajca (preglednica 12, preglednica 16). Med proizvodnima tipoma velja, da imajo kokoši s tršo lupino tudi temnejšo lupino. Med poskusnimi skupinami pa ne vedno, saj so bile razlike v barvi in trdnosti lupine majhne.

Preglednica 16: Trdnost lupine (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Trdnost lupine (N)			
	K	L	Q	QL
lohmann	39,2 (37,9; 40,5) ^a	41,6 (40,4; 43,0) ^b	40,6 (39,4; 41,8) ^{ab}	40,2 (38,9; 41,4) ^{ab}
ross	32,8 (30,4; 35,2) ^a	35,3 (33,0; 37,5) ^b	33,2 (31,0; 35,4) ^a	34,2 (32,0; 36,5) ^{ab}

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo (p<0,05)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

Izračun korekcije trdnosti lupine na isto debelino lupine je pokazal, da so kokoši nesnice, ki so bile v kontrolni skupini, nesle jajca z značilno mehkejšo lupino (38 N) kot kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino (39,9 N), in kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (39,7 N) (preglednica 17).

Matere pitovnih piščancev, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, so nesle jajca z značilno tršo lupino (36,9 N) kot kokoši, ki so bile v kontrolni skupini (35 N), ter kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ (35,7 N) (preglednica 17).

Preglednica 17: Trdnost lupine (LSM) pri isti debelini lohmann in ross kokoši po skupinah

	Trdnost lupine (N) – pri isti debelini lupine			
	K	L	Q	QL
lohmann	38,0 (36,9; 39,0) ^a	39,9 (38,8; 40,9) ^b	39,8 (38,8; 40,8) ^{ab}	39,7 (38,7; 40,7) ^b
ross	35,0 (33,4; 36,5) ^a	36,9 (35,4; 38,3) ^b	35,7 (34,2; 37,1) ^a	36,1 (34,7; 37,6) ^{ab}

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo (p<0,05)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

4.3.7 Višina gostega beljaka

Višina gostega beljaka naj bi se nahajala med 8 in 10 mm. Jajca, katerih višina gostega beljaka se nahaja v tem območju, imajo dobro oz. kar odlično notranjo kakovost (Holcman, 2004).

Višina gostega beljaka (7,2 mm) jajc kokoši nesnic v kontrolni skupini je bila statistično značilno nižja od višine gostega beljaka jajc kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino (7,6 mm), ter višine gostega beljaka jajc kokoši nesnic, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (7,6 mm). Med poskusnimi skupinami ni značilnih razlik v višini gostega beljaka (preglednica 18).

Višina gostega beljaka jajc kokoši mater pitovnih piščancev v kontrolni skupini ter tistih, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, je statistično značilno višja (7,3 mm; 6,9 mm) od višine gostega beljaka jajc kokoši, ki so dobivale krmo obogateno z lipojsko kislino (6,0 mm), ter višine gostega beljaka jajc kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (6,1 mm) (preglednica 18).

Kokoši nesnice v kontroli skupini so nesla jajca s primerljivo višino gostega beljaka kot kokoši matere pitovnih piščancev v kontrolni skupini. Pri obeh proizvodnih tipih se je

višina gostega beljaka jajc kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, in kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ ter lipojsko kislino, statistično značilno razlikovala od višine gostega beljaka jajc kokoši v kontrolni skupini. Višina gostega beljaka jajc je pri kokoših nesnicah v kontrolni skupini nižja kot višina gostega beljaka jajc kokoši v poskusnih skupinah. Pri višini gostega beljaka jajc kokoši mater pitovnih piščancev je vpliv dodatka obraten, saj so kokoši v kontrolni skupini nesle jajca z višjim gostim beljakom kot kokoši v poskusnih skupinah. Prav tako pri kokoših nesnicah v višini gostega beljaka jajc med poskusnimi skupinami ni značilnih razlik. Pri višini gostega beljaka jajc kokoši mater pitovnih piščancev pa sta značilni razliki med poskusnimi skupinami. Kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, so nesle jajca s statistično značilnim višjim gostim beljakom jajca kot kokoši v ostalih dveh poskusnih skupinah (preglednica 18).

Preglednica 18: Višina gostega beljaka jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Višina gostega beljaka (mm)			
	K	L	Q	QL
lohmann	7,2 (6,7; 7,6) ^a	7,6 (7,2; 8,0) ^b	7,4 (7,0; 7,9) ^{ab}	7,6 (7,1; 8,0) ^b
ross	7,3 (6,7; 7,9) ^a	6,0 (5,5; 6,6) ^b	6,9 (6,3; 7,5) ^a	6,1 (5,6; 6,7) ^b

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo ($p < 0,05$)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

Kakovost beljaka jajc obeh proizvodnih tipov v kontrolni skupini je bila primerljiva (preglednica 18). Kakovost beljaka težko primerjamo z drugimi rezultati poskusov, saj se višina gostega beljaka s časom nesnosti spreminja. Na začetku nesnosti je višina gostega beljaka višja kot na koncu nesnosti. Dodatek lipojske kisline v krmo, kakor tudi kombinacija dodatkov koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo kokoši nesnic, sta imela pozitivni učinek na višino gostega beljaka, ravno nasprotni učinek pa je bil pri težkem tipu kokoši.

4.3.8 Haughove enote

Splošno merilo kakovosti beljaka so haughove enote (HE). Večja kot je vrednost HE, boljša je kakovost beljaka (Holcman, 2004). Obstajajo lestvice razvrščanja jajc v kakovostne razrede po številu HE (tako npr. HE pod 55 pomenijo za porabnika nesprejemljivo kakovost in nad 90 odlično kakovost) (Holcman, 2004).

Jajca s statistično značilno boljšo kakovostjo beljaka so nesle kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino (86,5), ter kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (86,2). Med poskusnimi skupinami kokoši nesnic provenience lohmann brown v kakovosti beljaka ni bilo statistično značilnih razlik (preglednica 19).

Beljak jajca kokoši ross ima pri starosti 35. tednov 88,56 HE, pri starosti 45. tednov pa 82,06 HE (preglednica 3). Kakovost beljaka jajc kokoši mater pitovnih piščancev, ki so bile v kontrolni skupini, in kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, je statistično značilno boljša (82,8; 79,0) od kakovosti beljaka jajc kokoši, ki so dobivale

obogateno krmo z lipojsko kislino (72,7), ter kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (73,2). Najnižjo vrednost HE (72,7) v beljaku so imela jajca kokoši mater pitovnih piščancev, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino. Največjo vrednost HE (82,8) v beljaku pa so imela jajca kokoši, ki so bile v kontrolni skupini (preglednica 19).

Preglednica 19: Haughove enote jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Haughove enote			
	K	L	Q	QL
lohmann	83,8 (81,1; 86,4) ^a	86,5 (83,8; 89,2) ^b	85,3 (82,7; 87,9) ^{ab}	86,2 (83,5; 88,8) ^b
ross	82,8 (77,6; 88,2) ^a	72,7 (67,4; 78,1) ^b	79,0 (73,8; 84,2) ^a	73,2 (68,2; 78,4) ^b

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo (p<0,05)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

Prav tako kot pri višini gostega beljaka so pričakovano tudi pri HE kokoši nesnice v poskusnih skupinah dosegle boljšo kakovost beljaka. Večje število HE nam pove, da je kakovost jajčnega beljaka boljša. Kokoši obeh proizvodnih tipov so dosegle podobno število HE v kontrolnih skupinah, v poskusnih skupinah pa ne. Kokoši nesnice v kontrolni skupini so imele značilno slabšo kakovost beljaka jajca kot kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, ter kokoši nesnice, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino. Pri kakovosti beljaka jajc ross kokoši je vpliv dodatka v krmo obraten, saj so kokoši, ki so bile v kontrolni skupini, nesle jajca z boljšo kakovostjo beljaka kot kokoši v poskusnih skupinah. Pri kakovosti beljaka jajc kokoši nesnic med skupinami ni statistično značilnih razlik pri kokoših težkega tipa pa so, saj so tiste, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀, nesle jajca z značilno boljšo kakovostjo beljaka od ostalih dveh poskusnih skupin (preglednica 19).

4.3.9 Barva rumenjaka

Na barvo jajčnega rumenjaka vplivajo barvila, ki jih vsebujejo nekatere rastline, vključene v krmni obrok. V manjši meri vplivajo na obarvanost rumenjaka še drugi dejavniki, npr. genetski, maščobe in antioksidanti v krmi ter količini vitamina A in kalcija v obroku (Holcman, 2004). Barvo rumenjaka izrazimo s številko iz Rochejeve lestvice. Giblje se od številke 1 (najsvetlejša) do 15 (najtemnejša).

Barva rumenjaka jajc kokoši nesnic, ki so bile v kontrolni skupini, je bila statistično značilno temnejša (12 enot po Rochejevi lestvici) kot barva rumenjaka jajc kokoši, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ (11,8 enot po Rochejevi lestvici) ter obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (11,8 enot po Rochejevi lestvici). Med poskusnimi skupinami ni bilo statistično značilnih razlik v barvi rumenjaka (preglednica 20).

Barva rumenjaka jajc kokoši ross, ki so dobivale obogateno krmo s koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino (8,6 enot po Rochejevi lestvici), je bila statistično značilno temnejša od barve rumenjaka jajc kokoši v kontrolni skupini (8,3 enot po Rochejevi lestvici). Prav tako so kokoši, ki so dobivale obogateno krmo z lipojsko kislino, nesle jajca s statistično

značilno temnejšo barvo rumenjaka (8,7 enot po Rochejevi lestvici) kot kokoši v kontrolni skupini (8,3 enot po Rochejevi lestvici) (preglednica 20).

Kokoši nesnice lohmann so nesle jajca s temnejšim rumenjacom kot kokoši težkega tipa ross, saj so bile lohmann kokoši krmljene s popolno krmno mešanico za kokoši nesnice, kokoši ross pa s popolno krmno mešanico za matere pitovnih piščancev, v katero niso bila dodana sintetična barvila za obarvanje rumenjaka (preglednica 20). Glede na proizvodni tip kokoši so dodatki v krmo imeli različne učinke na barvo rumenjaka. Pri kokoših nesnicah je obogatena krma s koencimom Q₁₀ povzročila svetlejšo barvo rumenjaka, pri kokoših težkega tipa pa ni bilo zaznati vpliva tega dodatka. Krma z dodanim koencimom Q₁₀ in lipojsko kislino ali samo lipojsko kislino je pri kokoših ross povzročila značilno temnejšo barvo rumenjaka, pri kokoših nesnicah pa sta dodatka v krmo povzročila svetlejšo barvo rumenjaka (preglednica 20).

Preglednica 20: Barva rumenjaka jajc (LSM) lohmann in ross kokoši po skupinah

	Barva rumenjaka (Roche)			
	K	L	Q	QL
lohmann	12,0 (11,9; 12,2) ^a	11,9 (11,8; 12,0) ^{ab}	11,8 (11,7; 11,9) ^b	11,8 (11,7; 11,9) ^b
ross	8,3 (8,2; 8,4) ^a	8,7 (8,5; 8,8) ^b	8,3 (8,2; 8,4) ^a	8,6 (8,4; 8,7) ^b

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo ($p < 0,05$)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

4.3.10 Krvne in mesne pege

Krvne pege nastanejo ob ovulaciji. Včasih pri tem počí kapilara, s tem se pojavijo komaj zaznavne manjše ali večje pege. Mesne pege pa so madeži različnih barv in različnega izvora, ki se pojavijo predvsem v beljaku. To so degenerirane krvne pege ali delčki odluščenega tkiva jajcevoda, lahko pa so tudi kalcitnega izvora. Jajca z rjavo lupino imajo običajno več krvnih peg (Holcman, 2004).

Pri kokoših nesnicah se je delež jajc s krvnimi in mesnimi pegami v povprečju gibal med 28,6 % in 46,3 %. Dodatek koencima Q₁₀ v krmo je značilno povečal delež jajc s krvnimi in mesnimi pegami. Med ostalimi skupinami ni statistično značilnih razlik (preglednica 21).

Med skupinami kokoši ross ni statistično značilnih razlik v obsegu mesnih in krvnih peg. Obseg peg v jajcih je bil v povprečju med 48 % in 59,1 % (preglednica 21). Najmanjši delež jajc s krvnimi in mesnimi pegami je bil v kontrolni skupini in največji v skupini kokoši, ki je prejela krmo z obema dodatkom.

Na obseg krvnih in mesnih peg v jajcih vplivajo različni dejavniki: toksini, svetlobni program, raven vitamina A in vitamina K v obroku, stres, epidemični tremor, genotip. V našem preizkusu so v vseh skupinah kokoši težkega tipa imele večji delež jajc s krvnimi in mesnimi pegami kot kokoši nesnice. Oba proizvodna tipa sta bila izpostavljena enakim

vplivom okolja, gotovo pa težkemu tipu kokoši reja v kletkah predstavlja večjo stresno situacijo kot za lahki tip kokoši.

Šekeroğlu in sod. (2010) navajajo, da je 30 % delež jajc s krvnimi in mesnimi pegami pri kokoših nesnicah v kletkah. V našem preizkusu je bil obseg krvnih in mesnih peg v jajcih velik pri vseh skupinah kokoši in obeh proizvodnih tipih kokoši. Pri tem je potrebno poudariti, da smo beležili krvne in mesne pege vseh velikosti.

Preglednica 21: Povprečni delež jajc s krvnimi in mesnimi pegi (LSM) pri lohmann in ross kokoših po skupinah

	K	Delež jajc s krvnimi in mesnimi pegami (%)		
		L	Q	QL
lohmann	28,6 (21,2; 37,0) ^a	36,3 (27,7; 45,6) ^{ab}	46,3 (38,0; 54,9) ^b	38,0 (29,8; 46,7) ^{ab}
ross	48,0 (36,4; 59,9) ^a	50,4 (39,2; 61,6) ^a	57,3 (46,8; 67,5) ^a	59,1 (48,6; 69,2) ^a

K - kontrola, L - lipojska kislina, Q - koencim Q₁₀, QL - koencim Q₁₀ in lipojska kislina

^{a,b,c} vrednosti znotraj vrstice označene z različnimi malimi črkami se statistično značilno razlikujejo (p<0,05)
V oklepaju je naveden interval zaupanja.

5 SKLEPI

Na osnovi dobljenih rezultatov opravljenega preizkusa lahko povzamemo naslednje sklepe:

- Dodatek koencima Q₁₀ v krmo kokoši nesnic lohmann brown je povzročil:
 - temnejšo barvo jajčne lupine,
 - svetlejšo barvo rumenjaka,
 - večji obseg krvnih in mesnih peg.
- Dodatek koencima Q₁₀ v krmo kokoši mater pitovnih piščancev ross ni povzročil nobenih značilnih sprememb v proučevanih fizikalnih lastnostih jajc.
- Dodatek lipojske kisline v krmo kokoši nesnic lohmann brown je povzročil:
 - večjo trdnost lupine, tudi večjo trdnost pri isti debelini,
 - višji gosti beljak in povečano število haughovih enot,
- Dodatek lipojske kisline v krmo kokoši mater pitovnih piščancev ross je povzročil:
 - zmanjšanje mase jajca,
 - svetlejšo barvo lupine,
 - večjo trdnost lupine,
 - zmanjšanje višine gostega beljaka in zmanjšanje števila haughovih enot,
 - intenzivnejše obarvanje rumenjaka.
- Dodatek koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo kokoši nesnic lohmann je povzročil:
 - temnejše obarvanje lupine,
 - večjo trdnost lupine pri isti debelini lupine
 - zvišanje gostega beljaka in povečano število haughovih enot,
 - manjšo intenzivnost obarvanja rumenjaka.
- Dodatek koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo kokoši mater pitovnih piščancev ross je povzročil:

- zmanjšanje višine gostega beljaka in zmanjšanje števila haughovih enot,
- intenzivnejše obarvanje rumenjaka.

6 POVZETEK

Namen diplomske naloge je bil proučiti vpliv dodanega koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo kokoši nesnic in krmo kokoši mater pitovnih piščancev na fizikalne lastnosti jajc. Kokoši nesnice provenience lohmann brown so bile vseljene v individualne kletke trinadstropne baterije pri starosti 33 tednov, kokoši matere pitovnih piščancev pa pri starosti 36 tednov. V začetku poskusa smo vselili po 48 živali vsake izmed provenienc. V poskusu so bile živali izpostavljene enakim pogojem. Živali vsake provenience smo razdelili v štiri skupine (kontrolna skupina; skupina, ki je dobivala dodatek koencima Q₁₀; skupina, ki je dobivala dodatek lipojske kisline, ter skupina, ki je dobivala dodatek koencima Q₁₀ in lipojske kisline). Preizkus je trajal 12 tednov. V času preizkusa smo vsak teden oz. s sedemdnevni razmikom na vseh zbranih jajcih tistega dne izmerili fizikalne lastnosti jajc (višino in širino jajca, maso jajca, barvo jajčne lupine, trdnost lupine, višino gostega beljaka in barvo rumenjaka) ter zabeležili prisotnost krvnih in mesnih peg. Na posušenih lupinah (sušenje je trajalo vsaj štiri tedne) smo izmerili še njihovo debelino in maso. S kljunastim merilom smo merili širino in višino jajca, podatka pa uporabili za izračun indeksa oblike jajca. Za ostale meritve (barvo lupine, maso jajca, višino gostega beljaka, haughove enote in barvo rumenjaka) smo uporabili elektronsko opremo, ki je sestavljena iz reflektometra, tehtnice, elektronskega merila višine gostega beljaka - tripodni mikrometer, kolorimetra, mikroprocesorja in tiskalnika. Trdnost jajčne lupine smo izmerili z instrumentom instron, debelino jajčne lupine pa s pomočjo mehanskega mikrometra.

Kokoši nesnice (lohmann brown) so v poskusnem obdobju, od 35. do 47. tedna starosti, v primerjavi s težkim tipom kokoši (matere pitovnih piščancev ross), od 38. do 50. tedna starosti, nesle drobnejša jajca z nekoliko večjim indeksom oblike, jajca s temnejšo barvo lupine, z večjim deležem lupine od mase jajca, večjo maso lupine na enoto površine, večjo debelino in večjo trdnostjo lupine, boljše kakovostjo beljaka, intenzivnejšo barvo rumenjaka ter manjšim deležem krvnih in mesnih peg.

Dodatek koencima Q₁₀ v krmo kokoši nesnic je imel pozitiven učinek le na obarvanje lupine. Imel pa je dva nezaželena učinka, in sicer na svetlejšo obarvanje rumenjaka in na večji obseg krvnih in mesnih peg v jajcih. Dodatek koencima Q₁₀ v krmo kokoši težkega tipa ni povzročil nobenih statistično značilnih sprememb v proučevanih fizikalnih lastnostih jajc.

Dodatek lipojske kisline v krmo kokoši je pri obeh proizvodnih tipih kokoši imel pozitiven učinek na večjo trdnost lupine, pri lahkem tipu kokoši je imel pozitiven učinek še na boljše kakovost beljaka in pri težkem tipu kokoši na intenzivnejšo obarvanje rumenjaka. Pri težkem tipu kokoši je bil opazen tudi negativen učinek na zmanjšanje mase jajca, zmanjšanje intenzivnosti obarvanosti lupine in poslabšanje kakovosti beljaka.

Dodatek koencima Q₁₀ in lipojske kisline v krmo kokoši je pri proizvodnih tipih kokoši imel nasprotno učinke pri kakovosti beljaka in obarvanju rumenjaka. Pri težkem tipu kokoši je dodatek poslabšal kakovost beljaka in izboljšal intenzivnost obarvanja rumenjaka. Pri kokoših nesnicah je dodatek povzročil tri pozitivne učinke, intenzivnejše

obarvanje lupine, večjo trdnost lupine pri isti debelini in boljšo kakovost beljaka. Povzročil pa je tudi manjšo intenzivnost obarvanja rumenjaka.

7 VIRI

- Abudabos A. 2010. The effect of broiler breeder strain and parent flock age on hatchability and fertile hatchability. *International Journal of Poultry Science*, 9, 3: 231-235
- Altuntaş E., Şekeroğlu A. 2008. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *Journal of Food Engineering*, 85, 4: 606-612
- Bates D., Maechler M. 2010. Linear mixed-effects models using S4 classes. R package version 0.999375–33. The Comprehensive R Archive Network.
<http://CRAN.R-project.org/package=lme4> (20. avg. 2010)
- Biewenga G.P., Haenen G.R.M.M., Bast A. 1996. An Overview of Lipoate Chemistry. V: *Handbook of antioxidants*. Cadenas E., Packer L. (eds.). New York, Basel, Hong Kong, Dekker: 1-26
- Boyer R. 2002. *Concepts in biochemistry*. 2 nd editon. New York, John Wiley & Sons: 456
- Boyer R. 2005. *Temelji biokemije*. Ljubljana, Študentska založba: 432
- David K. 2007. Uvajanje in optimizacija metode za določanje CoQ₁₀ v mleku in mlečnih izdelkih. *Diplomska naloga*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za živilstvo: 61 str.
- Doganoc D.Z., Komar M. 2001. *Analize kakovosti jajc in jajčnih izdelkov*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta: 1-19
- Encyclopedia of human nutrition*. 2005. 2 nd editon. Amsterdam, Elsevier/Academic press: 436
- Frankič T., Salobir J. 2007. Antioksidanti v prehrani živali: pomen za živali in porabnike. V: *Zbornik predavanj – 16. mednarodno znanstveno posvetovanje o prehrani domačih živali*. Zdravčevi - Erjavčevi dnevi, Radenci, 8.-9. nov. 2007. Kapun S., Kramberger B., Čeh T., Verbič J., Steingass H., Steinwidder A. (ur.). Murska Sobota, Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Kmetijsko gozdarski zavod: 27-40
- Halilovič J. 2008. Vpliv dodanega koencima Q₁₀ v krmo piščancev na njegovo vsebnost v drobovini. *Diplomska naloga*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za živilstvo: 47 str.
- Holcman A. 1990. Genetski parametri za nekatere lastnosti jajc. *Doktorska disertacija*. Domžale, Biotehniška Fakulteta, VTOZD za živinorejo: 4-7, 32-35
- Holcman A. 2004. *Kakovosti jedilnih jajc*. V: *Reja kokoši v manjših jatah*. Ljubljana, Časopisno založniško podjetje Kmečki glas: 100-106

- Holcman A., Kovač A., Kmecl A., Zajec M. 1996. Kakovost jajc na slovenskem tržišču. V: Tehnologija, hrana, zdravje. Prvi slovenski kongres o hrani in prehrani z mednarodno udeležbo, Bled, 21-25 apr. 1996. Raspor P., Pitako D., Hočevar J. (ur.). Ljubljana, Društvo živilskih in prehranskih strokovnih delavcev Slovenije: 667-673
- Hothorn T., Bretz F., Westfall P., 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50, 3: 346-363
- Hrvatini M. 2002. Koencim Q-10. *Herbika*, 3, 4: 4-6
- Imai K, King G., Olivia L. 2008. Toward A Common Framework for Statistical Analysis and Development. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 17, 4: 892-913
- Joseph N.S., Robinson N.A., Renema R.A. in Robinson F.E., 1999. Shell Quality and color variantion in broiler breeder eggs. *The Journal of Applied Poultry Research*, 8: 70-74
- Karlson P. 1980. Biokemija. 1. natis. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 106
- Koren M. 2009. Razvoj funkcionalnega mesnega izdelka – jetrne paštete s koencimom Q₁₀. Diplomaska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za živilstvo: 69 str.
- Langsjoen P.H. 1994. Introduction to coenzyme Q10. University of Washington.
<http://faculty.washington.edu/ely/coenzq10.html> (5. maj 2010)
- Layer management guide Lohman brown-classic. Has Tavuk.
http://www.hastavuk.com.tr/en/kitapciklar_en/0/brown.pdf (20. jun. 2010)
- Leeson S., Summers J.D. 2000. Broiler breeder production. Guelph, University of Guelph, Department of Animal and Poultry Science: 7, 323
- Leksikon Cankarjeve založbe naravoslovje. 1996. 2. izdaja. Ljubljana, Cankarjeva založba: 228
- Ločniškar F. 1984. Reja perutnine. Ljubljana, Časopisno založniško podjetje Kmečki glas: 39-40
- Lohman Brown Management guide. 2007. Lohmann GB Limited.
<http://www.lohmanngb.co.uk/lohmann-brown.pdf> (15. jun. 2010)
- Lušnic M. 2008. Razvoj analitske metode za določanje koencima Q₁₀ v maščobno bogatih tkivih piščancev. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za živilstvo: 76
- Narushin V.G., Romanov M.N. 2002. Egg physical characteristics and hatchability. *World's Poultry Science Journal*, 58: 297-303

- Parent Stock Management Manual Ross 308 Aviagen. 2006. Aviagen.
http://67.20.64.230/ss/assets/Tech_Center/Ross_PS/ROSS_308_Manual.pdf (25. jun. 2010)
- Parent Stock Performance Objectives Ross 308 Aviagen. 2007. Aviagen.
http://67.20.64.230/ss/assets/Tech_Center/Ross_PS/ROSS_308_Manual.pdf (25. jun. 2010)
- Penko A. 2008. Vpliv dodanega koencima Q₁₀ v krmo piščancev na njegovo vsebnost v mesu. Diplomsko naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za živilstvo: 73 str.
- Prošek M., Šmidovnik A., Milivojevič M., Jazbec P., Kostanjevec B., Vindiš Zelenko B. 2008. Poultry products with increased Content of CoQ₁₀ prepared from chickens fed with supplemental CoQ₁₀. V: Food production, nutrition, healthy consumers: delegate manual. First European Food Congress, Ljubljana, 4-9 nov. 2008: 2 str.
- Prošek M., Šmidovnik A., Milivojevič M., Križman M., Jazbec P., Kostanjevec B., Šmigovc V., Milivojevič L., Polak T. 2007. The effect of supplement CoQ₁₀ on chickens meat. V: Tehnologija–inovacije–prehrana–zdravi potrošniki. 3. slovenski kongres o hrani in prehrani, Radenci, 23–26 sep. 2007. Raspor P., Buzeti T., Gašperlin L., Jevšek M., Kovač B., Krumpak A., Medved P., Oštir Š., Plahuta P., Simčič M., Smole Možina S. (ur.). Ljubljana, Slovensko prehransko društvo: 32
- Rudan-Tasič D. 2000. Vitamin C, vitamin E in koencim Q₁₀. V: Antioksidanti v živilstvu. 20. Bitenčevi Živilski dnevi 2000, Portorož, 26.-27.okt. 2000. Žlender B., Gašperlin L. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 39-50
- Rus P., Rus R. R. 2008. Koencim Q 10. Zdravstveno varstvo, 47, 2: 89-98
- R Development Core Team. 2010. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
<http://www.R-project.org> (17. jun. 2010)
- SAS / STAT User's Guide. Version 8. Vol. 2. 2000. Cary, SAS Institute: 1162
- Sečko N. 2009. Vpliv dodanega koencima Q₁₀ v krmo piščancev na njegovo vsebnost v mišičnem tkivu prsi in beder. Diplomsko delo. Maribor, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede: 47 str.
- Şekeroğlu A., Sarica M., Demir E., Ulutas Z., Tilki M., Saatci M., Omed H. 2010. Effect of different housing systems on some performance traits and egg qualities of laying hens. Journal of Animal and Veterinary Advances, 9, 12: 1739-1744
- Strelec A. 2008. Prirreja in kakovost jajc slovenskih tradicionalnih pasem kokoši lahkega tipa. Diplomsko naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za zootehniko: 51 str.

- Terčič D., Holcman A., Kovač M., Kmecl A. 1993. Vpliv beta agonista salbutamol sulfata na nekatere lastnosti jajc. Zbornik Biotehniške fakultete, Kmetijstvo (Zootehnika), 62: 153-164
- Tona K., Onagbesan O., Ketelaere B. De., Decupere E. in Bruggeman V. 2004. Effect of age of broiler breeders and egg storage on egg quality, hatchability, chick quality, chick weight and chick post hatch growth to forty-two days. The Journal of Applied Poultry Research, 13: 10-18
- Vieira S.L., Moran E.T. 1998. Eggs and chicks from broiler breeders of extremely different age. The Journal of Applied Poultry Research, 7: 372-376
- Zorko N. 1995. Proizvodnja jajc in mesa. Maribor. samozaložba: 18-25
- Žlender B. 2000. Oksidacija in stabilnost mesa in mesnin. V: Antioksidanti v živilstvu. 20. Bitenčevi živilski dnevi 2000, Portorož, 26.-27. okt. 2000. Žlender B., Gašperlin L. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 132
- Žmitek J., Žmitek K. 2009. Koencim Q₁₀ kot prehransko dopolnilo in zdravilo. Farmaceutski vestnik, 60: 150-157

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici prof. dr. Antoniji HOLCMAN za vso pomoč, strokovno vodstvo, koristne in uporabne nasvete, naklonjen čas, spodbudne besede in natančen pregled diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi somentorju as. dr. Gregorju GORJANCU za pomoč pri statistični obdelavi podatkov in pregled diplomskega dela.

Za pregled diplomskega dela se zahvaljujem recenzentu prof. dr. Janezu SALOBIRJU in predsedniku komisije prof. dr. Ivanu ŠTUHCU.

Diplomsko delo je nastalo v okviru izvedbe projekta katerega nosilec je Kemijski inštitut. Hvala dr. Prošek in sodelavcem Laboratorija za prehrabeno kemijo Kemijskega inštituta v Ljubljani za sodelovanje pri projektu.

Največja zahvala pa gre moji družini, predvsem vama, ati in mami, ki sta mi šolanje sploh omogočila, me finančno in moralno podpirala in me vzgojila v človeka, ki spoštuje in ima rad sebe in življenje. Še enkrat HVALA, ker sta verjela vame ter me z vajino neomejeno ljubeznijo pripeljala do cilja.