Distribucija selena u nekim tkivima odbite prasadi hranjene bioforticiranim kukuruzom

Bećirović, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:156919

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Ivona Bećirović, apsolvent
Diplomski studij Zootehnika
Smjer Specijalna zootehnika

DISTRIBUCIJA SELENA U NEKIM TKIVIMA ODBITE PRASADI HRANJENE BIOFORTIFICIRANIM KUKURUZOM

Diplomski rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Ivona Bećirović, apsolvent
Diplomski studij: Zootehnika
Smjer: Specijalna zootehnika

DISTRIBUCIJA SELENA U NEKIM TKIVIMA ODBITE PRASADI HRANJENE BIOFORTIFICIRANIM KUKURUZOM

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Zdenko Lončarić, predsjednik
2. prof. dr. sc. Marcela Šperanda, mentorica
3. prof. dr. sc. Matija Domaćinović, član

Osijek, 2018.

POPIS KRATICA KORIŠTENIH U TEKSTU

SeMet	selenometionin
SeCys	selenocistein
GPx	glutation peroksidaza
cGPx	citosolna glutation peroksidaza
PHGPx	fosfolipid hidroksiperoksid glutation peroksidaza
tRNK	transportna ribonukleinska kiselina
mRNK	glasnička ribonukleinska kiselina
DNK	deoksiribonukleinska kiselina
NADP	nikotinamid adenin dinukleotid fosfat
NAD	nikotinamid adenin dinukleotid
TrxR	tioredoksin reduktaza
ID	jodtironin 5'- dejodinaza
GSH	glutation
SECIS	selenocistein insercijska sekvenca
RNS	Reactive Nitrogen Species
MLD	*musculus longissimus dorsi*
InfS	*musculus infraspinatus*
Tric	*musculus triceps brachii*
EDTA	etilendiamintetraoctena kiselina

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. PREGLED LITERATURE 2
2.1. Minerali u hranidbi odbite prasadi 2
2.1.1. Toksične vrijednosti mineralnih tvari 3
2.2. Selen 4
2.3. Vrste i funkcija selenoproteina 5
2.3.1. Glutation peroksidaza i antioksidacijski mehanizmi 7
2.3.2. Tioredoksin reduktaza 9
2.3.3. Jodtironin 5'-dejodinaza 10
2.3.4. Selenoprotein P i ostali selenoproteini 11
2.4. Apsorpcija i metabolizam selena 13
2.5. Skladištenje selena 17
2.6. Selen u tlima i biljkama 17
2.7. Selen u obroku krmača 19
2.8. Biofortifikacija 20
3. MATERIJAL I METODE 23
3.1. Provedba pokusa 23
3.2. Proizvodni pokazatelji i aktivnost GPx 26
3.3. Utvrđivanje koncentracije selena u pojedinim tkivima odbite prasadi 26
3.4. Statistička obrada podataka 26
4. REZULTATI 27
4.1. Tjelesne mase i dnevni prirast 27
4.2. Aktivnost GPx 28
4.3. Koncentracija selena u pojedinim tkivima odbite prasadi 29

5. RASPRAVA 32
6. ZAKLJUČAK 36
7. POPIS LITERATURE 37
8. SAŽETAK 47
9. SUMMARY 48
10. POPIS TABLICA 49
11. POPIS SLIKA 50
12. POPIS GRAFIKONA 51
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA 52
BASIC DOCUMENTATION CARD 53

1. UVOD

Mineralne tvari imaju višestruku i vrlo važnu ulogu u organizmu svinja. Životinje ih koriste za rast i razvoj, reprodukciju, izgradnju kostiju i zuba, regulaciju osmotskog tlaka te kao sastavni dio enzima, puferskog sustava i krvi (Mitak, 2015.). Krmiva koja se koriste za hranidbu mladih svinja, ponekad ne sadržavaju minerale u dovoljnim količinama, pa se oni u hranidbi odbite prasadi moraju posebno dodavati hrani. Jedan od takvih elemenata je i selen.

Selen se smatra jednim od najkontroverznijih mikroelemenata. S jedne strane, toksičan je pri visokim dozama i postoji velik broj informacija koji ukazuju na njegovu štetnost za okoliš. S druge strane, deficijencija selena globalni je problem koji se povezuje s različitim bolestima životinja i ljudi, te sa smanjenom produktivnom i reproduktivnom sposobnošću farmskih životinja. Ciklus selena u hranidbenom lancu životinja i ljudi počinje od tla i čini biljne i životinjske izvore zavisnim o njegovoj asimilaciji iz tla. Tla su glavni izvor selena za biljke a onda i za životinje koje jedu te biljke, te naposljetku i za čovjeka koji konzumira hranu biljnog i životinjskog podrijetla. Razina selena uvelike varira u različitim namirnicama na istom području, kao i u istim namirnicama koje rastu na različitim područjima. Prakticiranje različitih poljoprivrednih tehnika rezultiralo je smanjenom raspoloživošću selena u tlima. Uporaba anorganskih gnojiva koja sadržavaju sumpor, smanjena aeracija tla i kisela tla bitno snižavaju dostupnost selena u tlima.

Postoji proturječnost u uobičajenoj praksi dodatka selena u hrani za životinje. Iako se selen pojavljuje u prirodnom organskom obliku kao smjesa seleno aminokiselina, koja sadrži preko 50% selenometionina (SeMet) od ukupnog selena u mnogim sastojcima hrane, uključujući žitarice i krmu, još donedavno, koristio se kao dodatak u anorganskom obliku i to kao selenit ili selenat. Nedavno odobrenje organskog selena, od strane „US Food and Drug Administration“, u obliku seleniziranog kvasca (Sel-Plex®, Alltech itd.) za perad, svinje i krave rješava raskorak između prirodnog i dodatnog izvora selena (Lyons i sur., 2007.). Dokazano je da korištenje selena kao dodatka krmivima, u ovakvom obliku, bitno poboljšava status selena kod životinja, povećava njihove produktivne i reproduktvne sposobnosti te omogućava proizvodnju selenom obogaćenih jaja, mesa i mlijeka, što naposljetku rezultira poboljšanim statusom selena kod cijele populacije (Surai, 2006.).

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Minerali u hranidbi odbite prasadi

Hranidba odbite prasadi obuhvaća razdoblje oko 50 dana, odnosno, tjelesnu masu od 6 do 25 kg (Domaćinović i sur., 2015.). Iako predstavljaju količinski malo zastupljene tvari u hrani svinja, mineralne tvari imaju značajnu fiziološku ulogu u metabolizmu osnovnih organskih hranjivih tvari. U većoj količini nalaze se u kostima (kalcij, fosfor), ali i u svim ostalim dijelovima tijela. Veliko značenje u hranidbi svinja imaju makroelementi: kalcij, fosfor, magnezij, natrij, klor, kalij i sumpor te mikroelementi: željezo, bakar, jod, cink, kobalt, mangan, selen i molibden (Senčić i sur., 1996.). Makrominerali su rudne tvari koje se u organizmu životinje nalaze u količini većoj od 50 mg/kg tjelesne mase i imaju strukturnu ulogu u organizmu svinja, dok se mikrominerali kao aktivatori brojnih enzimskih sustava nalaze u količini do 50 mg/kg tjelesne mase i imaju funkciju biološki djelatnih tvari (Domaćinović i sur., 2015, Senčić i sur., 1996.). Oko tri četvrtine minerala u tijelu svinje čine kalcij i fosfor, koji zajedno s bjelančevinama i s mašću oblikuju kostur na koji se veže mišićna masa, a u preostaloj četvrtini dominiraju kalij i natrij, zatim ostali elementi (Kralik i sur., 2007.).

Krmiva koja se koriste za hranidbu mladih svinja ne sadržavaju minerale u dovoljnim količinama, pa se navedeni elementi, potrebni u hranidbi odbite prasadi, moraju posebno dodavati hrani (Kralik i sur., 2007.). Dok se nedovoljna količina makroelemenata dopunjuje pojedinačno preko mineralnih krmiva ($CaCO_3$, DKF, sol i dr), ukupne potrebe mikroelemenata se podmiruju zajednički, primjenom mineralnih ili mineralno-vitaminskih predsmjesa (Domaćinović i sur., 2015.). Osim količine, bitan je i međusobni odnos minerala, a u hranu se mogu dodati u organskom i anorganskom obliku (Mitak, 2015.).

Kod prasadi u porastu povećane su potrebe za Ca i P a kreću se od 0,5-1,0% Ca i 0,5-0,7% P (Domaćinović i sur., 2015, Mitak, 2015.). Potrebe za magnezijem (oko 0,04%) se mogu podmiriti iz redovnih organskih krmiva, pa nema potrebe za njihovo dodavanje a njegov nedostatak vrlo je rijedak u svinja (Domaćinović i sur., 2015, Senčić i sur., 1996, Mitak, 2015.). Organska krmiva mogu podmiriti samo dio zahtjeva svinja za Na i Cl-om pa se ovi elementi u krmiva redovito dodaju u obliku stočne soli, u količini od oko 0,25% za mlađe kategorije svinja (Domaćinović i sur., 2015, Senčić i sur., 1996, Mitak, 2015.). Kalij se u krmivima obično nalazi u dovoljnim količinama te nisu primijećeni znakovi

njegovog nedostatka pri normalnim uvjetima uzgoja (Senčić i sur., 1996, Mitak, 2015.). Zbog niske koncentracije Fe kod tek oprasene prasadi (42 mg/ml krvi), preventivno im se daju željezni preparati u obliku injekcija u prva tri dana života u dozama od 150-200 mg/životinja (Domaćinović i sur., 2015, Senčić i sur., 1996, Mitak, 2015.). Bakar u količini od 100-250 mg/kg hrane pokazuje pozitivan stimulativan učinak na prirast prasadi (Domaćinović i sur., 2015, Mitak, 2015.). Sve kategorije svinja imaju potrebu za jodom od 0,14 mg/kg hrane (Mitak, 2015.).

Tablica 1. Nutritivne potrebe krmnih smjesa za prasad (Jeroch i sur., 1999.).

Hranjiva tvar	Predstarter smjesa	Starter smjesa	Grover smjesa
Kalcij, %	1,0	0,85	0,6
Fosfor, %	0,7	0,65	0,6
Natrij, %	0,2	0,2	0,2
Željezo, mg/kg	100	100	100
Bakar, mg/kg	20	20	20
Mangan, mg/kg	30	30	30
Cink, mg/kg	70	70	70
Selen, mg/kg	0,2	0,2	0,2

2.1.1. Toksične vrijednosti mineralnih tvari

Prilikom podmirivanja potreba za mineralnim tvarima kod odbite prasadi, treba voditi računa da neki minerali, ako se daju u prekomjernim količinama mogu imati toksično djelovanje. Prema tome, pri sastavljanju obroka svinja, važno je poštivati prihvaćene normative mineralnih tvari za pojedine kategorije svinja. Neki mikroelementi (Se) imaju vrlo uzak raspon između nutritivnih i toksičnih vrijednosti, zbog čega je s njihovom primjenom u hranidbi prasadi potreban dodatan oprez (Domaćinović i sur., 2015.). Znakovi trovanja selenom su: gubitak apetita, smanjen prirast, gubitak dlake, atrofija srca, ciroza jetre, anemija i slab razvoj embrija (Senčić i sur., 1996.). Također, kod potrebe svinja za Se, treba uzeti u obzir međusobnu interakciju između Se, vitamina E i

esencijalnih masnih kiselina jer preporuke mogu varirati od 0,2 do 0,5 mg/kg (Domaćinović i sur., 2015.). Pri nedovoljnoj količini vitamina E u obroku, dopunski selen je vrlo važan. Zabilježeni su i toksični učinci većih količina bakra u obroku, koja se prevenira dodatkom cinka i željeza. Veće doze cinka uzrokuju toksičnost koja se manifestira smanjenim apetitom, slabim rastom i iskorištavanjem hrane, artritisom, gastritisom i dr. Suvišak mangana je također štetan, jer djeluje depresivno na rast i zdravlje životinja. Povišena razina kalcija u obroku uzrokuje pojavu paraketoze, a dodatak cinka u obrok može je smanjiti ili spriječiti. Povišena razina joda u obroku negativno djeluje na prirast, uzimanje hrane te razinu koncentracije željeza u krvi i jetri (Senčić i sur., 1996.). Dolje su prikazane vrijednosti pojedinih mineralnih tvari koje izazivaju toksični učinak kod svinja.

Tablica 2. Toksične vrijednosti nekih mineralnih tvari kod svinja (Domaćinović i sur., 2015.).

Mineral	Dopuštene maksimalne količine, mg/kg hrane	Toksična koncentracija, mg/kg ST hrane
Fe	150	300-500
Cu	170	300-500
Zn	150	2.000
Mn	150	1.000
Se	0,5	7
J	10	400-800

2.2. Selen

Selen je otkrio Švedski kemičar Berzelius 1817. god., ali biološka uloga ovog elementa ostala je nepoznata sve do 1957. god. kad su Schwarz i Foltz otkrili da deficijencija selena može uzrokovati nekrotičnu degeneraciju jetre. Međutim, prvo pravo razumijevanje potrebe selena u organizmu nije se dogodilo do 1973. god. kada je otkriveno da je selen esencijalna komponenta enzima sisavaca kao što je glutation peroksidaza (GPx; Flohé i sur., 1973.). Danas je utvrđeno da selen igra važnu biološku ulogu u živim organizmima, uglavnom kroz njegovu ugradnju u skupinu proteina zvanih selenoproteini.

U prirodi selen postoji u dva kemijska oblika, organskom i anorganskom. Selen u anorganskom obliku može se naći u različitim mineralima u obliku selenita, selenata i selenida, kao i u metalnom (Se^0) obliku. Nasuprot tome, selen u krmnim sastojcima (žitarice i td.) integralni je dio različitih organskih spojeva, uključujući aminokiseline selenometionin (SeMet) i selenocistein (SeCys), te u Se^{-2} oksidacijskom stanju. U prirodi, životinje primaju selen uglavnom u obliku SeMet, za koji se smatra da je najučinkovitiji nutritivni oblik selena za životinje i ljude (Lyons i sur., 2007.).

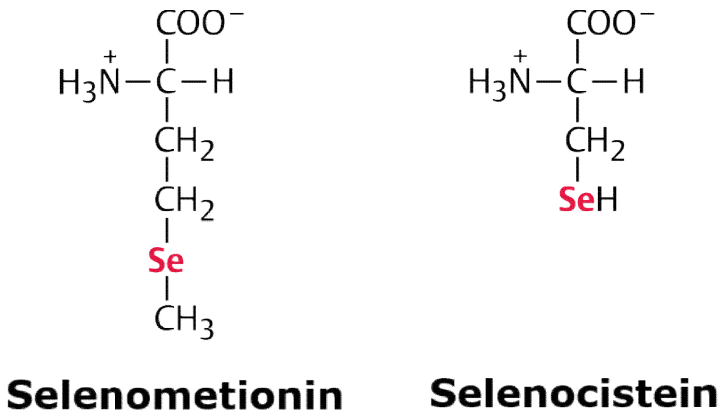
Do danas, svi selenoproteini s poznatim funkcijama, s izuzetkom selenoproteina P, čini se imaju enzimske aktivnosti tijekom kojih se selenocisteinski ostatak nalazi u katalitičkom mjestu, gdje vjerojatno sudjeluje u redoks reakcijama. No, aminokiselinski slijed, enzimske aktivnosti, genska ekspresija i druge molekularne značajke različitih članova obitelji selenoproteina se vrlo razlikuju. Slično tome, na fiziološkoj razini, ovi enzimi su uključeni u najrazličitije metaboličke i fiziološke funkcije, od antioksidativne obrane do plodnosti, razvoja i funkcije mišića, hormona štitaste žlijezde i imunosnog djelovanja (Lyons i sur., 2003.). Prema tome, lista bolesti povezanih s primarnim ili sekundarnim nedostatkom selenoproteinske funkcije je velika.

2.3. Vrste i funkcija selenoproteina

Kod sisavaca je danas identificirano preko 20 vrsta selenoproteina (Tablica 2). Iako neki od njih imaju sličnu ulogu u metabolizmu, kodirani su s nekoliko različitih gena. Selenoproteini se prema prekursoru i načinu ugradnje selena, mogu podijeliti u četiri različite skupine (Sunde, 1990.).

SeMet-specifični proteini: to je selenometionin koji se translacijom ugrađuje u proteinski lanac preko SeMet-tRNK na mjestu koje je određeno metioninskim kodonom. Udio Se ovisi o odnosu metioninskih tRNK esterificiranih sa selenometioninom ili samo metioninom.

SeCys-specifični proteini: selenocistein se ovdje ugrađuje translacijom u proteinski lanac na mjestu određenom cisteinskim kodonom uz SeCys-tRNK.



Slika 1. Selenometionin i selenocistein (Izvor: https://viamedici.thieme.de/lernmodule/biochemie/de-novo-synthese+der+purinnucleotide)

Se-specifični selenoproteini: ovo je najvažnija skupina selenoproteina koja uključuje GPx i selenoprotein P. Selen se ugrađuje kotranslacijski uz selenid i serin, preko tRNK na poziciji određenoj UGA kodonom (Slika 1). (P)Ser-tRNK (Serin esterificiran s tRNK) fosforiliran je specifičnom kinazom. Metabolička zamjena fosfata za selen rezultira sa SeCys-tRNK na mjestu u polipeptidnom lancu određenom UGA kodonom.

Proteini koji vežu Se: selen se čvrsto veže za polipeptidni lanac posttranslacijski ili na neki drugi način. Ova skupina uključuje i selenoproteine koji nisu dovoljno istraženi da bi se mogli svrstati u neku od prethodnih skupina.

Samo nekolicini od ovih proteina je poznata fiziološka uloga i uglavnom je u vezi s procesima oksidoredukcije (Milanović i sur., 2014.).

Tablica 3. Identificirani selenoproteini u sisavaca (Sunde, 1990.).

SELENOPROTEIN	SKUPINA SELENOPROTEINA
Glutation peroksidaza	**Se-specifični**
stanična ili klasična	
u plazmi ili izvanstanična	
fosfolipid hidroperoksidna	
gastrointestinalna	
Selenoprotein P	**Se-specifični**
Joditironin 5' dejodinaza (tip I)	**Protein koji veže Se**
Selenoprotein iz mitohondrijske kapsule spermija	**Protein koji veže Se**
	(nedovoljno istražen)
Protein koji veže masne kiseline	**Protein koji veže Se**
Selenoprotein W	**Protein koji veže Se**

2.3.1. Glutation peroksidaza i antioksidacijski mehanizmi

Otkriće da je GPx enzim ovisan o Se (Rotruck i sur., 1973.) objasnilo je da Se može ublažiti hepatičku nekrozu i eksudativnu dijatezu (sklonost propusnosti kapilara) u životinja deficitarnih vitaminom E. Ovaj enzim katalizira redukciju hidroperoksida, tj. hidroperoksid masnih kiselina i vodikovog peroksida koji nastaju oksidativnim raspadom membrana od polinezasićenih fosfolipida, kao i hidroksiperoksida koji nastaju oksidativnim metabolizmom ksenobiotika (Sunde i Hoekstra, 1980.). Selenoovisna GPx u citosolu, uz glutation (GSH) u ulozi reducensa, uklanja perokside koji bi indukcijom autokatalitičke lipidne peroksidacije mogli dovesti do poremećaja funkcije unutar stanice i stanične membrane (Hoekstra, 1975.). Danas se smatra da je važna uloga GPx enzima u homeostatskoj regulaciji metabolizma Se.

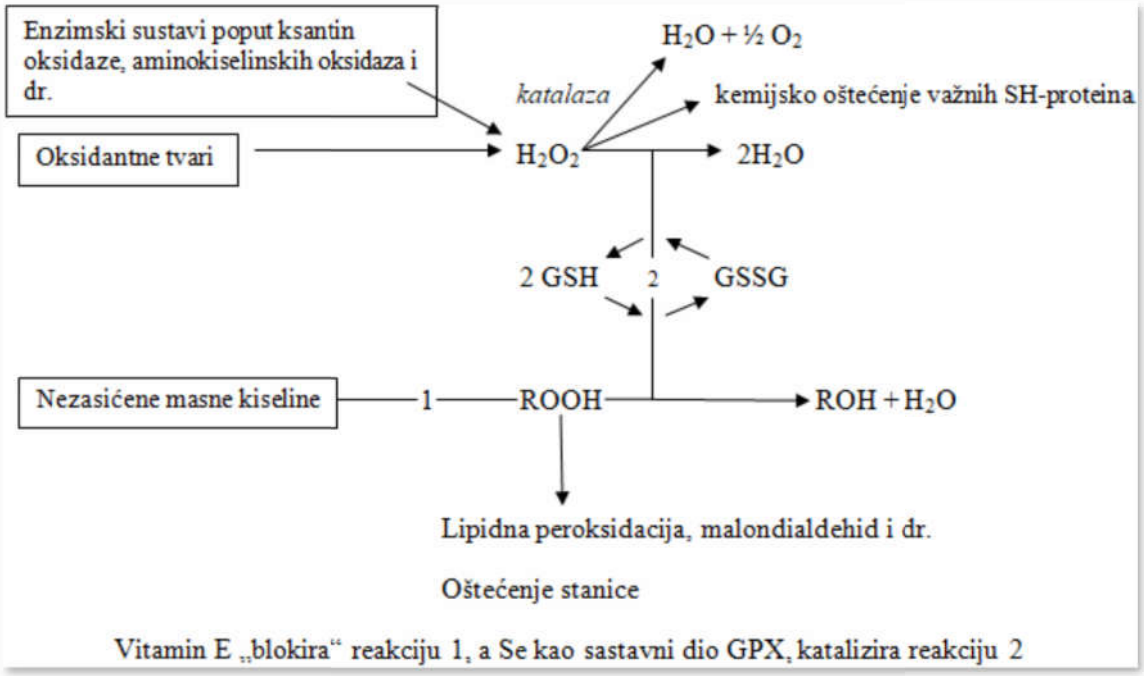
Grupi (selenskih) glutation peroksidaza pripada:

1. citosolna glutation peroksidaza (cGPx)

2. gastrointestinalna GPx

3. fosfolipid hidroperoksid glutation peroksidaza (PHGPx) koje spadaju u unutarstanične GPx, te jedna izvanstanična

4. GPx plazme, koja se osim u plazmi može naći i u drugim izvanstaničnim tekućinama poput mlijeka ili plućne tekućine (Klapec i sur., 1998.).



Slika 2. Djelovanje GPx ovisne o selenu u citosolu i međudjelovanje s vitaminom E (Hoekstra, 1975.).

Uloga citosolne glutation peroksidaze (cGPx) je u sprječavanju oksidacije molekula NADPH koja djeluje u reduktivnim biosintezama i NADH koji je glavni nositelj elektrona pri oksidaciji molekule goriva, te još nekih lipida i proteina. Citosolna cGPx je tetramerni protein sastavljen od četiri jednake podjedinice s četiri atoma Se u obliku selenocisteina (Sunde, 1990.).

Antikancerogena uloga gastrointestinalne GPx je u vezi s metaboliziranjem vodik-peroksida nastalog uslijed naglog izgaranja. Pronađena je u epitelu gastrointestinalnog sustava i slične je strukture kao i citosolna glutation peroksidaza. Pri spriječenoj sintezi ovog enzima nema značajnih posljedica, ali u kombinaciji nedostatka s cGPx dovodi do zaostajanja u razvoju (Milanović i sur., 2014.).

Fosfolipid hidroksiperoksid glutation peroksidaza (PHGPx) za razliku od ostalih unutarstaničnih GPx može direktno razgraditi fosfolipidne i kolesterol hidroksiperokside tako što koristi elektrone iz sulfihidrilnih grupa samog proteina kao i od glutationa. Sastoji se od jednog proteinskog lanca i jedne molekule selenocisteina u aktivnom središtu enzima

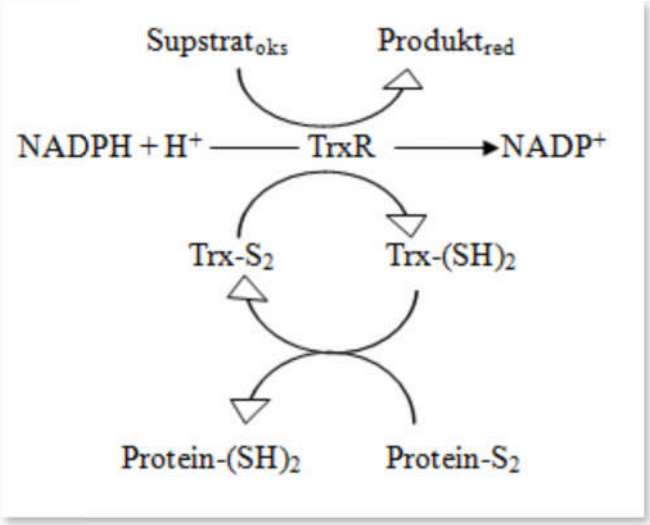
(Sunde i Hoekstra, 1980.). Ona djeluje na granici između stanične membrane i vodene faze (Klapec i sur. 1998.).

Iako uloga GPx plazme nije još uvijek sasvim jasna, zna se da ona ima značajnu ulogu u antioksidativnim procesima u krvnoj plazmi (Milanović i sur., 2014.). To je glikoprotein koji se sastoji od četiri podjedinice s četiri atoma Se, slično citosolnoj GPx. Smatra se da pravo mjesto antioksidativnog djelovanja ove GPx nije u plazmi nego u plućnoj tekućini i izvanstaničnom prostoru bubrega (Klapec i sur., 1998.).

Postoji još jedna Glutation peroksidaza 6, ali je ona identificirana samo kod ljudi.

2.3.2. Tioredoksin reduktaza

Najveći stanični redoks sustav zastupljen kod svih organizama naziva se tioredoksin sustav i sačinjavaju ga enzimi tioredoksin reduktaze (TrxR) zajedno sa tioredoksinom i NADPH (Milanović i sur., 2014.). Sustav tioredoksina ima ulogu reduciranja proteinskih disulfidnih veza, pri čemu nastaju oksidirani spojevi s vodikom. Tioredoksin reduktaza je NADPH ovisan flavoprotein koji sadrži selenocistein u svom aktivnom mijestu. Zajedno sa tioredoksinom, kod sisavaca ima raznovrsne uloge kao što su oksidacijsko-redukcijski procesi kojima se modulira intracelularna stanična signalizacija, inhibira apoptoza i regulira stanični rast (Mustacich i Powis, 2000.). Danas znamo za tri tioredoksin reduktaze: citosolna tioredoksin reduktaza (TrxR1), mitohondrijska tioredoksin reduktaza (TrxR2) i tioredoksin/glutation reduktaza (TrxR3; Milanović i sur., 2014.).



Slika 3. Shema oksido-reduktivne aktivnosti tioredoksin sustava (Arnér i Holmgren, 2000.).

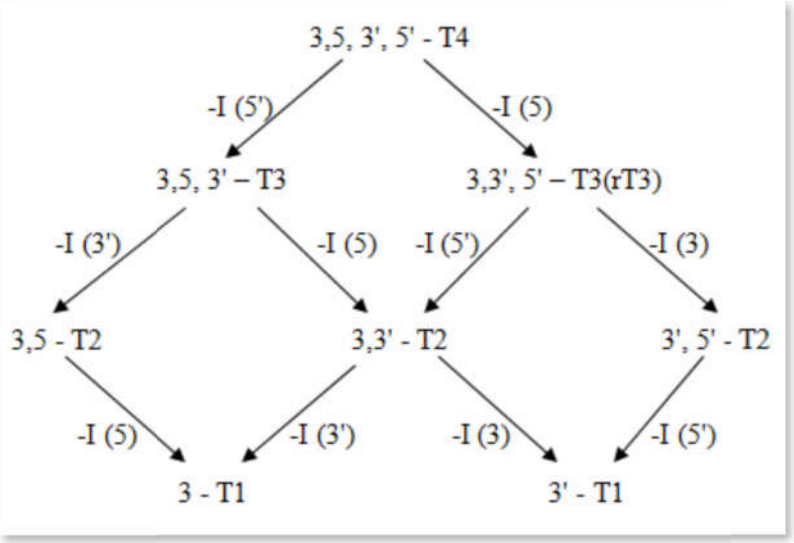
Na Slici 3. prikazana je redukcija disulfida u aktivnom mjestu oksidiranog tioredoksina (TrxS2) do tiola u reduciranoj formi tioredoksina (Trx-(SH)2) uz pomoć tioredoksin-reduktaze (TrxR) i NADPH. Trx-(SH)2 reducira disulfide ciljnih proteina oksidoreduktivnom aktivnosti pri čemu nastaje TrxS2 (Arnér i Holmgren, 2000.).

2.3.3. Jodtironin 5'-dejodinaza

Štitasta žlijezda otpušta male količine trijodotironina (T_3) i velike količine inaktivnog oblika hormona, tiroksina (T_4). Biološki aktivan hormon štitnjače je (T_3) koji se prevodi iz oblika (T_4). Tip 1 jodtironin 5'-dejodinaza (ID1) je selenoenzim sa selenocisteinskim ostatkom u aktivnom središtu, koji dejodinacijom (uklanjanjem jednog atoma joda) prevodi tiroksin (3,3',5,5'-tetrajodtironin ili tzv. T_4) u 3,3'5-trijodtironin (T_3; Arthur i Beckett, 1993.). Nalazi se pretežito u stanicama jetre, ali i u drugim tkivima uključujući i štitnjaču. T_3 povećava ekspresiju mRNK za dejodinazu tip 1 (Solter, 2014.). Uz tip 1, T_4 u T_3 također prevodi i jodtironin dejodinaza 1 (ID2), ali ona ne sadrži selen.

Jodtironin dejodinaza tipa 1 smještena je u plazminoj membrani stanica bubrega i štitaste žlijezde (tireocitima). To je monomerni integralni membranski protein koji ima položaj katalitičkog centra na citoplazmatskoj strani. Upravo taj položaj omogućava olakšan pristup hormonima T_4 i T_3 koji cirkuliraju krvotokom dok ne dođu do ciljne stanice. Jodotironin dejodinaza tipa 1 zbog prisustva Se može provesti reakciju

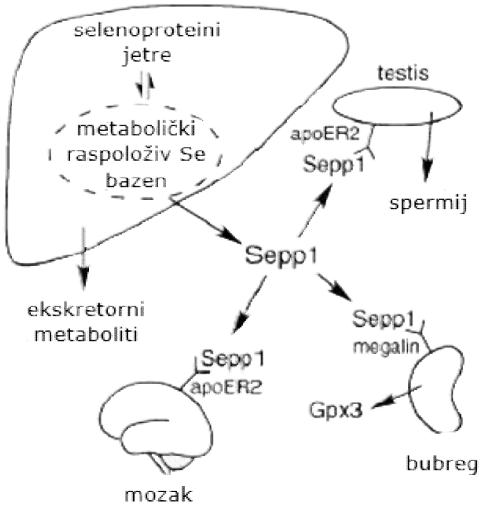
dejodinacije oba prstena T_4, dok jodtironin dejodinaza 2 može samo dejodinirati vanjski prsten T_4 (Klapec i sur., 1998.).



Slika 4. Sukcesivna dejodinacija T4 (Solter, 2014.).

2.3.4. Selenoprotein P i ostali selenoproteini

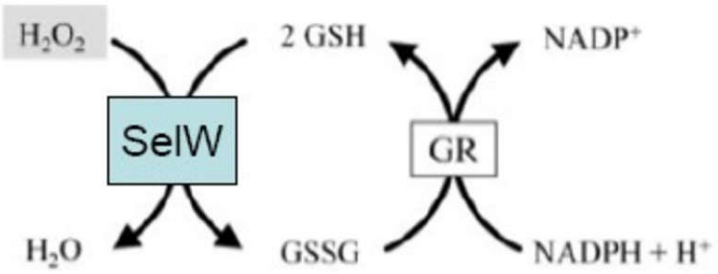
Selenoprotein P pripada selenoproteinima, od kojih svi sadrže Se u obliku selenocisteina (SeCys), a koji se sintetiziraju u prisustvu UGA kodona specifične strukture matične petlje u 3' UTR mRNK, zvanoj SECIS (selenocistein insercijska sekvenca) i drugih specifičnih faktora. Selenoprotein P je glikoprotein prisutan uglavnom u plazmi, gdje čini oko 40 - 65% od ukupnog selena u udjelu plazme (Jablonska i sur., 2011.). Selenoprotein P se sastoji od 381 aminokiseline i sadrži deset selenocisteinskih ostataka: devet se nalaze u Sec- bogatim C-terminalnim domenama (područje odgovorno za isporuku selena) i jedan koji se nalazi na N-terminalnom kraju (područje s redoks svojstvima, odgovorno za enzimatsku aktivnost proteina; Burk i Hill, 2005.). Sintetizira se uglavnom u jetri, iz koje se transportira u plazmu i druga tkiva, ali se može sintetizirati i u bubrezima, srcu i plućima (Jablonska i sur., 2011.).



Slika 5. Selenoprotein P u homeostazi selena i transportu do testisa, mozga i bubrega. Sekrecija selena u krvi je kontrolirana sekrecijom selena u urin. (Izvor: http://atlasgeneticsoncology.org/Genes/SEPP1ID46513ch5p12.html)

Pri stanjima deficita Se u organizmu on primarno veže Se, koji se tada ne veže na druge selenoproteine, kao što je glutation peroksidaza. Selenoprotein P brzo ugrađuje Se, te se pojavljuje u plazmi prije nakupljanja radio-Se u drugim tkivima pa se smatra da je selenoprotein P zapravo transportni protein za Se (Klapec i sur., 1998.). Djeluje i kao antioksidans, te štiti stanice endotela od oštećenja uzrokovanog peroksinitritima, koji pripadaju skupini reaktivnih dušikovih vrsta (eng. Reactive Nitrogen Species, RNS). Oni sintetiziraju aktivirane bijele krvne stanice iz superoksid radikala i dušikovog monooksida. Peroksinitrit može uzrokovati oštećenja DNK i peroksidaciju lipida, te može tvoriti ekvimolarne komplekse selena i žive, čime bi imao ulogu u detoksikaciji organizma od žive (Burk i Hill, 2005.).

Selenoprotein W je mali selenoprotein (sadrži 85 do 88 aminokiselinskih ostataka) otkriven u ovaca koje su patile od nedostatka Se. Nalazi se u mišićima, srcu (osim glodavaca), slezeni i mozgu (Loflin i sur., 2006.). Uloga selenoproteina W u organizmu nije još uvijek sasvim jasna, pretpostavlja se da ima antioksidativno djelovanje kao i ulogu u rastu i diferencijaciji stanica mišića tako što štiti stanice mišića (miocite) od oksidativnog stresa. Može imati ulogu i u poremećajima nedostatka selena kao što su bijela bolest mišića u ovaca (Whanger, 2009.).



Slika 6**.** Antioksidativno djelovanje selenoproteina W
(Izvor: https://rockland-inc.com/Product.aspx?id=35002)

U organizmu sisavaca također postoje dvije vrste selenofosfat sintetaze I, koja ne sadrži selenocistein i selenofosfat sintetaza II. Selenofosfat sintetaza II sadrži selenocistein i katalizira sintezu selenofosfata koji je prekursor selenocisteina potrebnog za sintezu selenoproteina, uz utošak molekule ATP-a (Xu i sur., 2007.). Ključna je molekula potrebna za sintezu i drugih proteina koji sadrže selen, kao što su glutation peroksidaza, dejodinaze, tioredoksin reduktaza, selenoprotein P i drugi.

2.4. Apsorpcija i metabolizam selena

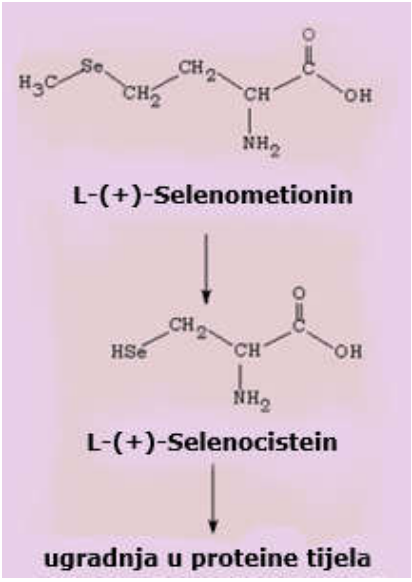
Metabolička sudbina selena varira, ovisno o formi u kojoj se ovaj element konzumira i ukupnom statusu selena kod pojedinca ili populacije. Razna istraživanja dokazala su da organski selen ima bolju bioraspoloživost i održava se u većim razinama nakon dodavanja u hranu. Zbog bolje apsorpcije, može se pohraniti i ima niži bubrežni klirens od anorganskog selena (Levander i sur., 1983., Robinson i sur., 1985.).

Rezultati raznih *in vitro* i *in vivo* eksperimenata sa različitim životinjskim vrstama i modelima dokazali su da se SeMet apsorbira kroz crijevo (Lyons i sur., 2007.) i to dva puta brže od apsorpcije SeCys i četiri puta brže od apsorpcije selenita (Reasbeck i sur., 1981.). Općenito, selen se dobro apsorbira i u uvjetima normalne hranidbe, apsorpcija nije ograničavajući čimbenik bioraspoloživosti (Swanson i sur., 1991.). SeMet se bolje apsorbira od selenita (Bopp i sur., 1982.) i može biti aktivno apsorbiran kao metionin (Wolffram i sur., 1989.), što vjerojatno vrijedi i za SeCys. Apsorpcija selenita je pasivna, ali ubrzana i u plazmi se pojavljuje unutar 30 min (Barbezat i sur., 1984.). Selenat može dijeliti isti apsorpcijski put kao sumpor (Shennan, 1988.) i ima apsorpciju od 95% u usporedbi sa 62% za selenit (Thomson i Robinson, 1986.). Istraživanja na životinjama

pokazuju da vitamin A i C poboljšavaju apsorpciju selenita, iako se pretpostavlja da vitamin C reducira selenit u elementaran Se, koji se ne apsorbira (Robinson i Thomson, 1983.).

Nakon apsorpcije, crvene krvne stanice preuzimaju selenit, koji se pomoću glutationa reducira u selenid te transportom kroz plazmu, selektivno veže na albumin i transportira u jetru (Suzuki i Ogra, 2002.). Suprotno selenitu, netaknuti selenat ili je direktno preuzet od jetre ili je izlučen u urin. Oko 3% od ukupnog selena plazme veže se za lipoproteine, većinom za LDL frakciju (Ducros i sur., 2000.).

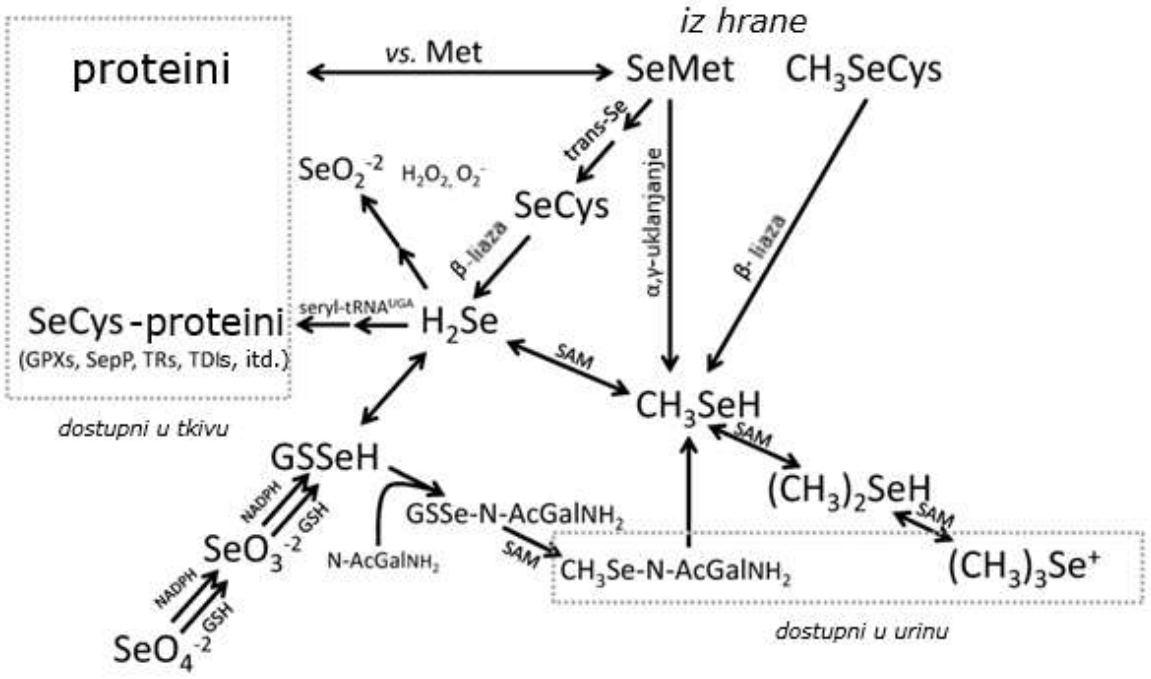
Zbog kemijske sličnosti sa sumporom, dugo je smatrano da se Se metabolizira na isti način. Ova je pretpostavka točna ako se radi o biljkama i bakterijama, no ne i o životinjama. Životinje ne mogu sintetizirati SeMet iz anorganskog Se, ali se SeCys može sintetizirati i iz anorganskog Se i iz SeMet (Lyons i sur., 2007.). Postoje razna istraživanja koja pokazuju da je SeMet glavna selenokomponenta koja je prvotno nađena u životinja kojima je davana ova aminokiselina, ali se s vremenom konvertira u SeCys, kada se ugradi u funkcionalne selenoproteine (Whanger, 2002.). Dobro je poznato da se metionin ne može sintetizirati u tkivima životinja i ljudi, pa je zato on esencijalna aminokiselina. Isto vrijedi i za SeMet, koji se ne sintetizira u tkivima životinja i ljudi, i mora se unijeti u organizam kroz sastojke hrane (Lyons i sur., 2007.).



Slika 7. SeMet se konvertira u SeCys, koji se zatim ugrađuje u funkcionalne selenoproteine (Izvor:http://www.mineralsinc.com/writeup/l-selenomethionine5000DCP_w.htm)

U odnosu na anorganske oblike i SeCys, SeMet se bolje zadržava i ima brži porast koncentracije Se u krvi i eritrocitima (Robinson i sur., 1985.), pa je stoga i veća učinkovitost ponovnog iskorištavanja Se iz SeMet (Swanson i sur., 1991.). Prilikom dodatka anorganskog i organskog selena, početne razine selena u organizmu uvijek su visoke, kasnije razine selena opadaju i vraćaju se na osnovnu vrijednost, no kod dodatka organskog selena, razine selena opadaju, ali ostaju povišene iznad osnovne vrijednosti (Butler i sur., 1991., Levander i sur., 1983., Robinson i sur., 1978.). Uzrok tomu je što se SeMet poput samog metionina može ugraditi u najrazličitije proteine u tkivima, tzv. SeMet-specifične proteine. Ova ugradnja SeMet u proteine onemogućava njegovu akumulaciju do toksičnih razina u tkivu (Schrauzer, 2003.). Isto vrijedi i za promjene aktivnosti enzima GPx. Nakon dodatka anorganskog selena, aktivnost GPx ne ostaje povišena prilikom dužeg vremenskog razdoblja (Levander i sur., 1983.).

SeCys također može biti nespecifično ugrađen u Se-specifične proteine ali ne direktno na aktivnu stranu biološki aktivnih selenoproteina (Behne i sur., 1991.). Najveći dio SeCys se uz selenocistein liazu, prevodi u selenoid preko elementarnog Se. Selenoid se može smatrati glavnim prekursorom u sintezi selenoproteina. Također, selenocistein pri visokim koncentracijama može zamijeniti cistein, nespecifičnom ugradnjom u proteine. On ne slijedi metabolički put razgradnje cisteina uz koji bi došlo do oksidativnog oslobađanja selenita. Selenat (SeO_4^{2-}) se reducira u selenit (SeO_3^{2-}). Selenit dalje reagira sa glutationom (GSH) ili sulfihidrilnim skupinama proteina uz nastajanje selenotrisulfida, koji se mogu dalje reducirati do selenida. Selenid (HSe^-) se metilacijom može prevesti u trimetilselenonij ion koji je glavni metabolit Se u urinu (Klapec i sur., 1998.).



Slika 8. Metabolizam selena. Anorganski selen može biti ugrađen u SeCys-specifične proteine preko obveznog posrednika selenida (H_2Se); dok se selen iz SeMet također može ugraditi u SeCys-specifične proteine razgradnjom do selenida, ili se može ugraditi u Se-specifične proteine izravno, natječući se sa metioninom u sintezi proteina. Ostali kemijski simboli: SeO_2^{-2}- selen dioksid; SeO_3^{-2}- selenit; SeO_4^{-2}- selenat; CH_3SeH- metilselenol; $(CH_3)_2SeH$- dimetilselenid; $(CH_3)_3Se^+$- trimetilselenonijum ion (Gerald i Combs, 2015.).

SeMet je nespecifična komponenta rezerve selena u tijelu jer može biti uključen u sintezu bilo kojeg proteina proporcionalno veličini metioninske rezerve. Na taj način selen u obliku SeMet predstavlja rezervu ovog elementa u tijelu. SeCys je visoko reaktivan i specifično se veže u selenoproteine, a ne može se vezati u životinjske proteine umjesto cisteina, stoga on predstavlja specifičnu komponentu rezerve tijela odgovornu samo za sintezu selenoproteina (Burk i sur., 2001.). Ako bismo uzeli u obzir da se SeMet veže za albumin, koncentracija albumina mogla bi se koristiti za procjenu količine SeMet, ali to bi vrijedilo samo za životinje kojima nije dodavan selen u obrok. Anorganski selen može biti iskorišten za specifične selenoproteine, ali ne i za nespecifičnu inkorporaciju u ostale proteine.

2.5. Skladištenje selena

Organski selen, koji se može naći u žitaricama, krmivima i ostalim sastojcima hrane, nalazi se u obliku SeMet i metabolizira se istim putem kao metionin. Tijekom apsorpcije, aktivno se transportira kroz crijevnu membranu i skladišti u tkivima jetre i mišića. Skeletni mišići su glavni organ za skladištenje selena, koji sadržava oko otprilike 46,9% ukupnog selena u tijelu životinja, dok bubreg sadržava samo 4% rezervnog selena (Lyons i sur., 2007.). Kako je gore spomenuto, SeMet se smatra skladišnim oblikom selena u tijelu. Kada se organski selen koristi u dodatku prehrani, rezerve selena se talože u mišićima upravo u obliku SeMet (Burk i Hill, 1993.). Te rezerve mogu se upotrijebiti u stresnim uvjetima, kada se povećavaju zahtjevi za selenom, ali se snižava njegov unos. U stresnim uvjetima, razgradnjom proteina otpušta se SeMet, koji može poslužiti kao izvor selena za novo sintetizirane selenoproteine kao što su GPx i tioredoksin reduktaza. Ovi enzimi se onda mogu nositi s prekomjernom proizvodnjom slobodnih radikala i spriječiti snižavanje proizvodnih sposobnosti životinja (Lyons i sur., 2007.). Prema tome, s nutritivnog gledišta, SeMet je učinkovitiji od selenita, kako zbog održavanja rada GPx prilikom perioda nedostatnosti selena (Ip i Hayes, 1989.), tako zbog perioda povišenih zahtjeva za selenoproteinima, koji će se tada nositi s oksidativnim stresom (Lyons i sur., 2007.). Anorganski selen ne može se skladištiti, ali se direktno iskorištava za sintezu selenoproteina u jetri (Patterson i Zech, 1992.).

2.6. Selen u tlima i biljkama

Selen u tlima postoji u različitim oblicima, uključujući selenide, elementarni Se, selenite, selenate i organske spojeve selena. Njegova koncentracija u tlima značajno varira i kreće se između 0,1 i 2 ppm. Visoke koncentracije selena nađene su uglavnom u sedimentnim stijenama i škriljevcima formiranim u krškom razdoblju, dok su niže koncentracije selena karakteristične za užarene (vulkanske) stijene, pješčare, granite i vapnence (Van Metre i Callan, 2001.). Tan i sur. (2002.) navode da su tla razvijena unutar tropskih i suptropskih uvjeta (laterit, žuta i crvena tla) karakteristična po relativno visokim razinama selena (ispod 0,3 ppm). Umjerene razine selena (0,14-0,30 ppm) imaju tla razvijena unutar umjerenih (vrućih) stepskih i pustinjskih uvjeta (crnica, kestena tla, kalcitna smeđa tla, pustinjska tla i solončak). Konačno, smeđa tla, siva tla, tamno smeđa

tla, ljubičasta tla, crveno siva tla i dr., razvijena unutar umjereno vlažnih uvjeta, prilično su siromašna selenom (Lyons i sur., 2007.).

Neki činioci kao što su pH tla, oksido-redukcijski potencijal i mineralni sastav tla, stopa umjetne gnojidbe te količina oborina znatno utječu na dostupnost selena za biljku. Zapravo, raspoloživost selena u tlima za biljku, ovisi više o njegovom obliku nego o njegovoj koncentraciji. Haygarth i sur. (1995.) ističu da u slučaju kiselog tla ili slabe aeracije tla, selen može formirati netopivi spoj sa željezov hidroksidom, te tako postati slabo dostupan za biljku. Selen se u alkalnim tlima pojavljuje u obliku selenata, gdje je topiv i lako dostupan biljkama. Također je poznato da visoke razine sulfata u tlu smanjuju apsorpciju selena. To je zbog toga što se sulfat natječe sa selenatom za mjesto na sulfatnom transporteru (Terry i sur., 2000.). Sors i sur. (2005.) objašnjavaju da se fosfat također natječe sa selenom, što objašnjava nisku dostupnost selena nakon primjene određenih vrsta gnojiva. U područjima s visokom razinom padalina, selen se može isprati iz tla. Upravo zbog toga, područja s visokom razinom padalina imaju niže razine selena u krmi (Lyons i sur., 2007.). Topivost je kritična determinanta bioraspoloživosti selena za biljku i razina vodotopivog selena u tlu značajno varira i ne odnosi se na ukupni selen u tlu (Combs i Combs, 1986.). Selenit se snažno adsorbira u tlu, dok je selenat slabo adsorbiran pa se stoga lako ispire. Selenid i elementarni selen obično su nađeni u reduciranoj sredini i nedostupni su biljkama i životinjama (Lyons i sur. 2007.). Selenit je prisutan u blago oksidiranim, neutralnim pH sredinama i tipično vlažnim područjima, dok je selenat dominantan oblik unutar normalnih alkalnih i oksidiranih uvjeta (Goh i Lim, 2004.). Autori također ističu da je adsorpcija selenita i selenata od strane tla, naizgled pod utjecajem promjenjivih naboja ovisnih o pH na površinama čestica tla. Posebno, fosfat ima dublji efekt od sulfata na adsorpciju selena u tlu. Apliciranje kalcijeva sulfata u tlo smanjuje dostupnost selena za biljke, kao i ispiranje tijekom procesa razvoja tla i navodnjavanja. Cao i sur. (2001.) u svojim istraživanjima navode da su glavne kemijske promjene koje se događaju unutar dugoročno preplavljenih uvjeta; trošenje molekularnog kisika, sniženi redoks potencijal i redukcija željezovog III hidroksida u željezov II hidroksid i selenita u Se^0. Autori ističu da to vodi niskoj dostupnosti selena u tlima, a potom i niskoj koncentraciji selena u biljkama koje se nalaze na takvom području.

Biljke uzimaju selen iz tla prvenstveno u obliku selenata, a u manjim količinama i u obliku selenita. Selenat ulazi u stanice korijena kroz sulfatne transportere u staničnoj membrani (Terry i sur., 2000., White i sur., 2004.). Selen se u lišću biljaka transportira

kroz ksilem u kloroplaste, gdje se zatim sumpornim asimilacijskim putovima procesuira u organsku komponentu (Terry i sur., 2000.). Ukratko, selenat se aktivira ATP sulfurilazom da se dobije adenozin 50-fosfoselenat, koji se reducira do selenita u prisutnosti adenozin 50-fosfosulfata reduktaze, a zatim do selenida preko ne-enzimskog koraka, u prisutnosti glutationa. Selenid se asimilira u SeCys i dalje u SeMet (Broadley i sur., 2006.). Ove selenoaminokiseline mogu se nespecifično ugraditi u proteine, što može uzrokovati toksičnost. Selenoaminokiseline se također mogu metilirati i prevesti u metil selenol (Ip i sur., 2002.) te konačno do dimetilselenida i ispariti (Ellis i Salt, 2003.). Biljke također iz tla mogu crpiti i organski oblik selena kao što je SeMet (Lyons i sur., 2007.). SeMet je glavna selenokomponenta u žitaricama, mahunarkama i soji (Whanger, 2002.). U riži i kukuruzu većina selena se također nalazi u obliku SeMet (Beilstein i sur., 1991.). SeMet se većinom skladišti u zrnu i korijenu biljke, dok stabljika i lišće sadrže niske koncentracije ove aminokiseline (Schrauzer, 2003.).

Selenat se iz korijena lakše transportira od selenita ili organskog selena (Terry i sur., 2000.). Nakon apsorpcije, distribucija selena u različitim dijelovima biljke ovisi o vrsti, fazi razvoja i fiziološkim uvjetima. Pickering i sur. (2000.) istraživali su distribuciju selena u *Astragalus bisulcatus*, vrsti koja je sposobna akumulirati i do 0,65% suhe mase izdanka u obliku selena. Istraživanje je pokazalo da su biljke koje su bile izložene 5 µM selenata za 28 dana, sadržavale dominantan oblik selenata u tkivu zrelog lišća, dok su izdanci i mlado lišće sadržavali isključivo organski selen. Prema tome, jasno je da je sudbina selena određena fazom razvoja i tkivom biljke. Zbog toga je kemijska redukcija selenata do organskog selena u biljci tkivno specifična i razvojno ovisna.

2.7. Selen u obroku krmača

Glavni problem novorođene prasadi je nezrelost obrambenog sustava. Posteljica ograničava prijenos antioksidanata (npr. vitamina E i selena) od krmače do praseta. Povećani prijenos selena kroz placentu, kolostrum i mlijeko, poboljšao bi antioksidativnu obranu prasadi i bio bi povoljan za njihovo cjelokupno zdravlje. Već je ustanovljeno kako su niske koncentracije selena u hranidbi bređih krmača rizični faktor za razvoj embrija (Lyons i sur., 2007.). Mahan (2000.) je u svojim istraživanjima došao do nekoliko zaključaka. Dodatkom selena u hranu povećavaju se ukupne koncentracije selena u krvi i aktivnosti GPx. Također, uporaba Sel-Plexa u hrani krmača, značajno je povisila koncentracije selena u kolostrumu i mlijeku. Selen je u kolostrumu i mlijeku prisutan u

organskom obliku a SeMet predstavlja značajan udio tih oblika. Kako se SeMet ne sintetizira u tijelu životinje, koncentracije selena u kolostrumu i mlijeku bile su više samo u onih svinja u čiju je hranu dodan organski selen. Nadalje, organski selen u majčinom obroku također je efektivan u povećanju koncentracije selena u krvnoj plazmi prasadi. Selen se iz organskih izvora (Sel-Plex) učinkovitije prenosi u kolostrum i mlijeko, dok kombinacija organskog i anorganskog selena nije učinkovita u povišenju koncentracije selena u kolostrumu i mlijeku (Mahan i Peters, 2004.). Autori također ističu da natrijev selenit davan krmačama u obrok ima štetan utjecaj na prasad. Postotak mrtvorođene prasadi bio je povišen kada se selenit dodavao u obrok krmača, dok je organski selen, pod istim uvjetima, imao zaštitni učinak na prasad. Zamjena anorganskog selena sa Sel-Plexom, u obroku krmača, rezultirala je s više oprasene prasadi i sa smanjenom stopom smrtnosti u komercijalnoj proizvodnji (Gourly i sur, 2005.). Autori su zaključili da preživljavanje prasadi prilikom prasenja i u uzgajalištu može biti poboljšano kada Sel-Plex zamjeni natrijev selenit kao izvor selena u obroku krmača. Prema tome, nema potrebe da natrijev selenit bude dio premiksa za krmače i prasad i njegova se zamjena s organskim selenom pokazala visoko učinkovitom (Lyons i sur., 2007.).

2.8. Biofortifikacija

Jedan od glavnih problema 21. stoljeća je taj što jedna šestina svjetske populacije pati od gladi. Nadalje, mnogo više ljudi, više od polovice svjetske populacije, pogođeno je drugačijim oblikom nedostatka hrane (FAO, 2004.). Ova „skrivena glad“ događa se zbog kvalitete, a ne zbog kvantitete dostupne hrane, a usko je povezana s činjenicom da u mnogim siromašnim zemljama u razvoju, prehrana populacije opstaje na žitaricama ili na naseljenim područjima u kojima se javlja mineralna neravnoteža tla, često Fe, Zn, Ca, Mg, Cu i Se. Tradicionalne strategije za dostavu ovih minerala pogođenoj populaciji, odnose se na programe za dodatak hrani ili fortifikaciju hrane, koji na žalost, nisu uvijek uspješni. Alternativno rješenje je povišenje koncentracije minerala u usjevima, a naziva se „biofortifikacija“. Biofortificiranje je proces koji ima za cilj povećati koncentraciju hranjivih tvari u jestivim dijelovima biljke bilo putem gnojidbe (agronomska biofortifikacija) ili putem biljnog uzgoja (genetska biofortifikacija; White i Broadley, 2005.). Biofortifikacija se razlikuje od obične fortifikacije jer se usredotočuje na obogaćivanju biljke hranjivim tvarima dok biljka raste, umjesto da se hranjive tvari dodaju u hranu kada se ona prerađuje (Bailey, 2008.).

Kao što je prije spomenuto, selen je esencijalni mikronutrijent koji je nužan za normalnu funkciju stanica sisavaca, s antioksidativnim, antikancerogenim i antivirusnim svojstvima, a žitarice su glavni dijetalni izvor selena. Deficijencija selena široko je raširena i u populaciji se manifestira kao povećani rizik od tireoidnih i imunoloških disfunkcija, virusnih infekcija, raka i raznih upalnih stanja (Lyons i sur., 2004.). Postoje snažni dokazi koji upućuju na to da povećan unos selena osigurava zaštitu od raka (Combs, 2001.). U mnogim tlima, selen je slabo dostupan za biljke, a od velike važnosti je i trend smanjenja selena u hranidbenom lancu, vjerojatno uzrokovan fosilnim gorivima (s oslobođenjem sumpora, koji je prepreka selenu), kiselom kišom, zakiseljavanjem tla i uporabom visoko sumpornih gnojiva. Budući da su žitarice glavni prehrambeni izvor selena, važno je prilagoditi agronomsku praksu uglavnom kroz gnojidbu koja može utjecati na koncentraciju selena u takvim usjevima, kako bi održala, ako ne i povećala, koncentraciju selena u biljkama (Lyons i sur, 2004.).

Neposredno rješenje za nisku konzumaciju selena u populaciji je obogaćivanje žitarica uporabom selenskih gnojiva (agronomska biofortifikacija; Broadley i sur., 2006.). Lyons i sur. (2003.) navode da je gnojidba selenatom bila djelotvorna u povišenju koncentracija selena kroz biofortifikaciju žitarica u Finskoj i Novom Zelandu. Time je dokazana sigurnost, djelotvornost, jednostavnost i ekonomičnost ovakvog pristupa u povišenju razine selena u ljudskoj populaciji. Moguće je i dugoročno obogaćivanje usjeva selekcioniranjem ili uzgojem sorti s poboljšanim akumulacijskim karakteristikama za Se (genetska biofortifikacija; Broadly i sur., 2006.). U nekim istraživanja otkriveno je više varijacija u akumulacijskim sposobnostima među povrtnim vrstama iz porodice kupusnjača (lat. *Brassica*; Combs, 2001.) i identificirana je Se akumulacijska sorta soje (Wei, 1996.). Ovi nalazi sugeriraju da je moguće uzgajati sorte s poboljšanom apsorpcijom i/ili retencijom selena i da je moguća uporaba genetičkog inžinjeringa za poboljšanje razine selena (ili čak specifičnih metabolita selena) u žitaricama (Lyons i sur., 2003.). Jednom riječju, svaka od ovih strategija može doprinijeti poboljšanoj dostavi selena ljudskoj populaciji.

Upotrebljavanje genetske varijabilnosti i biotehnološki pristup za razvoj biljaka s visokim sadržajem selena može biti učinkovit način poboljšanja koncentracije selena u ljudskoj prehrani, ali nažalost, nije vrlo isplativ i zahtjeva znatnu količinu vremena. Agronomski pristup kao što je aplikacija selena u medij rasta biljke nazvana „agronomska

biofortfikacija“ čini se kao vrlo ekonomičan, brz i praktičan pristup u poboljšanju koncentracije selena u žitaricama (Bilski i sur., 2012.).

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Provedba pokusa

U istraživanje su bile uključene tri skupine odbite prasadi (N=30), PIC hibrida obaju spolova u istom omjeru, tjelesne mase od 6,5 do 7 kg, u dobi od 28 dana. Sve tri skupine bile su hranjene krmnom smjesom za odbitu prasad s 17,5% sirovih bjelančevina i 13, 95 MJ ME /kg (Tablica 4.). Dodatak selena pripremljen je s različitim izvorom i oblikom selena: kontrolna skupina prasadi (K) hranjena je bez dodatka selena, pokusna skupina (P1) hranjena je dodatkom selena iz biofortificiranog kukuruza i pokusna skupina (P2) hranjena je smjesom sa dodatkom 0,1% organskog selena u obliku selenometionina. Sastav premiksa korištenog u ovom istraživanju prikazan je u Tablici 5. Analize antioksidativnog statusa i koncentracije selena u različitim organima mjerene su na kraju pokusnog razdoblja. Životinje koje su se koristile u ovom pokusu držane su sukladno Zakonu o zaštiti životinja NN 102/2017.

Tablica 4. Sirovinski i kemijski sastav smjese za prasad u pokusu

Krmivo	**%**
Kukuruz	40,0
Pšenica	15,0
Ječam	5,0
Sojina sačma	6,26
Soja punomasna	7,0
Repin rezanac	1,3
Sirutka sušena	7,0
Serolat	3,0
Vitaprotein 50 plus	2,0
NuPro Alltech	3,0
ReproFish Micrum	3,3
Metionin dl	0,18
Lizin	0,65

L – treonin	0,13
Nerafinirano sojino ulje	0,74
Sol (NaCl)	0,3
Vapnenac	0,1
Monokal. Fosfat	0,32
PDFM	0,1
Mikofiks	0,2
0,5% px za growr (trypt+)	0,5
Faser GOLD	3,0
MCFA aromabiotik	0,2
Vitarocid	0,7
Pigy sweet	0,02
Ukupno	100,0
Hranjiva i energetska vrijednost smjese	
Sirove bjelančevine	17,51
Sirova mast	4,45
Sirova vlaknina	3,70
Lizin	1,51
Metionin + Cistein	0,75
Triptofan	0,23
Kalcij	0,61
Fosfor	0,52
ME, MJ/kg	13,95

Tablica 5. Sastav premiksa za odbitu prasad korišten u smjesi, sadržaj u 1 kg

Hranjiva tvar	**Količina**
Vitamin A	1 504 000 IJ
Vitamin D3	200 000 IJ
Vitamin E	5 600 mg
Vitamin B1	304 mg
Vitamin B2	816 mg
Vitamin B6	512 mg
Vitamin B12	3,04 mg
Vitamin K3	388 mg
Kalcij-D-pantotenat	2 080 mg
Folna kiselina	32 mg
Biotin	800 mg
Niacin	3,04 mg
Vitamin C	2 000 mg
Cholin klorid	55,2 mg
Elementi u tragovima	
Jod	154 mg
Selen	0 mg
Željezo	12 000 mg
Mangan	4 840 mg
Cink	10 290 mg
Bakar	2000 mg

3.2. Proizvodni pokazatelji i aktivnost GPx

Tijekom provođenja pokusa praćeni su tjelesna masa, dnevni prirast i aktivnost GPx. Tjelesna masa prasadi mjerena je individualnim vaganjem i to na dan odbića (0. dan), dvadesetdrugi i četrdesetdrugi dan nakon odbića. Na temelju dobivenih vrijednosti tjelesnih masa prasadi bilo je moguće izračunati prosječan dnevni prirast. Uzorci krvi uzeti su sterilno 22. dan nakon odbića u vakutaner epruvete iz gornje šuplje vene (*vena cava cranialis*) u količini od 5 ml u epruvetu s kompleksonom (etilendiamintetraoctena kiselina, EDTA) i 5 ml za biokemijske analize i 42. dana za biokemijske analize. Aktivnost enzima GPx utvrđena je automatskim analizatorom Beckman coulter AU400 (Beckam Coulter, USA), pomoću Randox reagensa (UK).

3.3. Utvrđivanje koncentracije selena u pojedinim tkivima odbite prasadi

Na kraju istraživanja zaklano je po 5 prasadi iz svake skupine (ukupno 15 prasadi) i uzeti su uzorci srca, jetre, bubrega, štitaste žlijezde i skeletnih mišića *m. longissimus dorsi* (MLD), *m. infraspinatus* (InfS), *m. triceps brachii* (Tric), radi utvrđivanja koncentracije selena. Selen je određen na spektrofotometru s induktivno spregnutom plazmom (ICPOES PerkinElmer Optima 2100 DV, SAD). Za pre-redukciju Se, 1 g uzorka stavljen je u čistu posudu od 50 mL i dodano je 20 mL koncentrirane HCl da se smanji Se6 + na Se4 + (Antunović i sur., 2012). Smjesa je zagrijavana do 90° C i ostavljena da se ohladi na sobnu temperaturu. Koncentracija selena čitana je na valnoj dužini od Se 196,026 nm. Za kontrolu kvalitete analitičke metode korišten je certificirani referentni materijal, kupus (NCS ZC 73012, Kina National Analysis Center). Svi uzorci su analizirani u triplikatu. Točnost i ponovljivost rezultata kretala se urasponu od 90-110%.

3.4. Statistička obrada podataka

Podatci su obrađeni statističkim programom Dell Statistica (Dell Inc., 2016) GLM (engl. General Linear Model) procedurom, na razini značajnosti $P<0,05$ i $P<0,01$. U slučajevima gdje je analiza varijance pokazala značajne razlike napravljen je Fisherov *post hoc* test, kako bi se utvrdilo između kojih skupina postoje razlike. U tablicama su rezultati prikazani kao srednja vrijednost i standardna pogrješka.

4. REZULTATI

U ovom istraživanju utvrđene su koncentracije selena u pojedinim tkivima odbite prasadi, prosječne tjelesne mase i prosječni dnevni prirast prasadi hranjene uz dodatak različitih izvora selena te aktivnost enzima GPx u eritrocitima prasadi.

4.1. Tjelesne mase i dnevni prirast

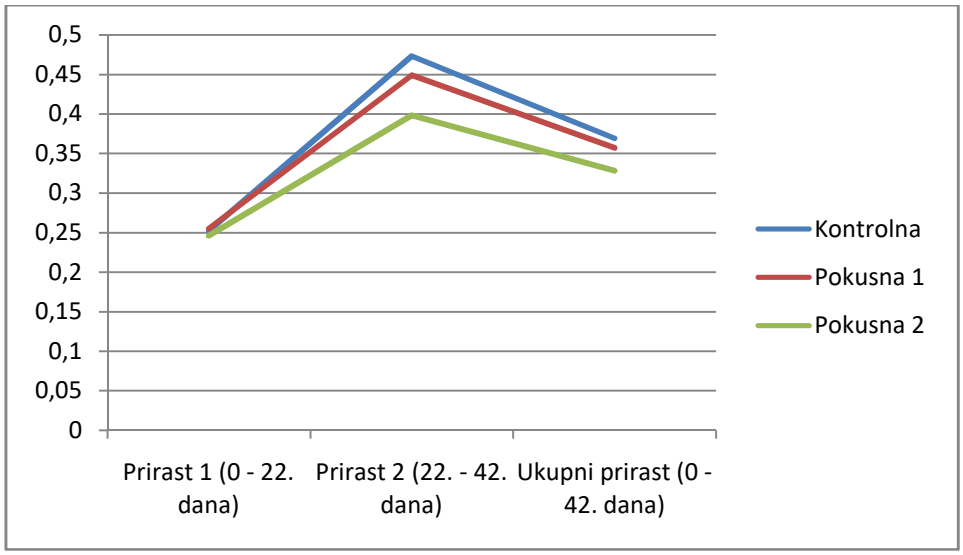
Ulazne prosječne tjelesne mase prasadi u kontrolnoj skupini, pokusnoj skupini P1 i pokusnoj skupini P2 bile su ujednačene i kretale su se od 6,429 do 6,467 kg. Nakon 22 dana ponovno su dobivene prosječne tjelesne mase prasadi, koje se prema Fisherovom *post hoc* testu statistički ne razlikuju, a iz kojih vidimo kako je najmanja srednja vrijednost dobivena u prasadi kontrolne skupine (12,003 kg), a najviša vrijednost je dobivena u prasadi pokusne P2 skupine hranjene smjesom obogaćenom 0,1% selenometioninom (12,22 kg).

Tablica 6. Prosječne tjelesne mase prasadi hranjene uz dodatak različitih izvora selena (kg)

Dani	**Kontrolna skupina (K)**		**Pokusna skupina (P1)**		**Pokusna skupina (P2)**	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
0. dan	6,467	0,072	6,467	0,072	6,429	0,076
22. dan	12,003	0,231	12,070	0,403	12,227	0,281
42. dan	21,947	0,532	21,446	0,789	21,199	0,579

Prosječne tjelesne mase prasadi sve tri skupine 42. dana također se nisu statistički značajno razlikovale. Najviša vrijednost prosječne tjelesne mase 42. dana utvrđena je u prasadi iz kontrolne skupine (21,947 kg), a najniža vrijednost u prasadi pokusne skupine (P2; 21,199 kg).

Iz podataka dobivenih kontrolnim vaganjima bilo je moguće izračunati prosječni dnevni prirast po razdobljima (Prirast 1: od 0 do 22. dana; Prirast 2: od 22. do 42. dana i Ukupni prirast od 0 do 42. dana), a dobivene vrijednosti vidljive su na Grafikonu 1.

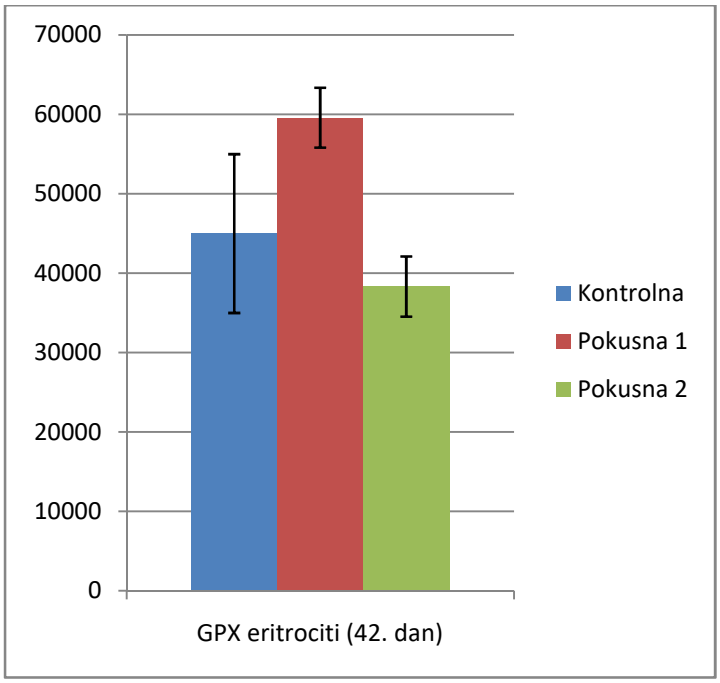


Grafikon 1. Prosječni dnevni prirast prasadi hranjene uz dodatak različitih izvora selena (g)

Prirast od 0 do 22. dana nije se statistički značajno razlikovao unutar skupina. U tom periodu prasad P1 pokusne skupine imala je najviši prosječni dnevni prirast (0,255g), nešto niže vrijednosti imala je prasad kontrolne skupine (0,252g) a najniže vrijednosti imala je prasad P2 pokusne skupine (0,246g). Najvišu vrijednost prosječnog dnevnog prirasta od 22. do 42. dana ostvarila je prasad kontrolne skupine (0,473g), a najniži prirast imala je prasad P2 pokusne skupine (0,398g), no bez statistički značajne razlike. Statistički značajne razlike nisu utvrđene niti u ukupnom prirastu (od 0 do 42. dana), u kojem je prasad kontrolne skupine imala numerički najbolji prirast (0,369g), a prasad P2 pokusne skupine numerički najniži prosječni dnevni prirast (0,328g).

4.2. Aktivnost GPx

Iako nije utvrđena statistički značajna razlika u aktivnosti enzima GPx u eritrocitima, određene razlike ipak su prisutne. Pa je tako iz Grafikona 2. vidljivo da je prasad P1 pokusne skupine imala najvišu srednju vrijednost aktivnosti enzima GPx u eritrocitima (59574,26 U/L). Prasad kontrolne skupine imala je nešto nižu aktivnost ovog enzima (44983,18 U/L), a prasad P2 pokusne skupine imala je najnižu aktivnost enzima GPx u eritrocitima (38313,64 U/L).



Grafikon 2. Aktivnost enzima GPx u eritrocitima prasadi hranjene uz dodatak različitog izvora selena 42. dana pokusa

4.3. Koncentracija selena u pojedinim tkivima odbite prasadi

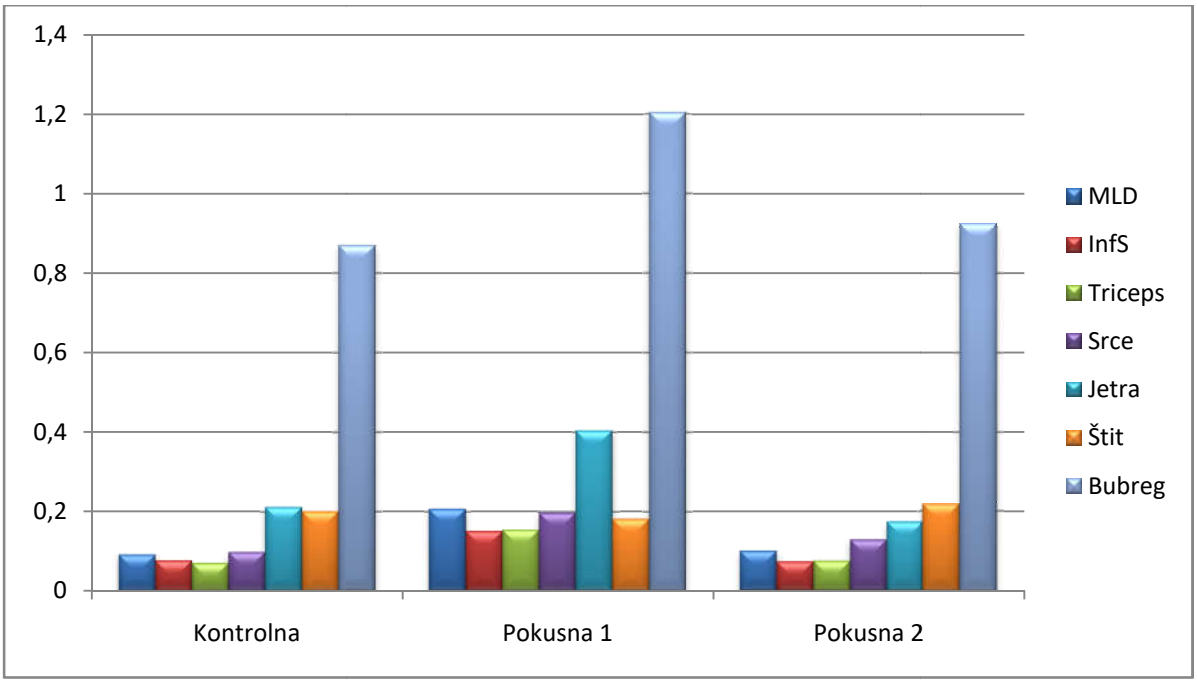
Koncentracija selena mjerena je u MLD-u, InfS-u, Tric-u, srcu, jetri, štitastoj žlijezdi i bubregu u tri skupine (K-kontrola, P1-prasad hranjena selenom iz biofortificiranog kukuruza, P2-prasad hranjena smjesom obogaćenom 0,1% selenometioninom). Statistički značajne razlike nisu utvrđene između prasadi iz kontrolne skupine i prasadi hranjene smjesom obogaćenom 0,1% selenometioninom, no dobiveni rezultati pokusne skupine hranjene selenom iz biofortificiranog kukuruza statistički se značajno razlikuju od kontrolne skupine (K) i pokusne skupine (P2), te se ta činjenica odnosi na koncentraciju selena u MLD-u, InfS-u, Tric-u, srcu i jetri ($P<0,01$), kako je prikazano u Tablici 7. Koncentracija selena u sve tri skupine se ne razlikuje značajno ($P>0,05$) u štitastoj žlijezdi i u bubregu. Najviše srednje vrijednosti koncentracije selena utvrđene su u pokusnoj skupini (P1) i to za MLD (0,207), InfS (0,152), Tric (0,155), srce (0,198) i jetru ,(0,404). Za bubreg, najviše srednje vrijednosti utvrđene su također u prasadi P1 pokusne skupine (1,204), no bez statistički značajne razlike. U štitastoj žlijezdi najviša koncentracija selena utvrđena je u P2 pokusnoj skupini (0,218), također bez statistički značajne razlike.

Tablica 7. Koncentracije selena u pojedinim tkivima odbite prasadi, mg/kg

Organi	**Kontrolna skupina (K)**		**Pokusna skupina (P1)**		**Pokusna skupina (P2)**		***P* Vrijednost**
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	
MLD	0,093[a]	0,004	0,207[b]	0,012	0,101[a]	0,002	**0,001**
InfS	0,078[a]	0,004	0,152[b]	0,006	0,074[a]	0,002	**0,001**
Tric	0,072[a]	0,004	0,155[b]	0,010	0,076[a]	0,002	**0,001**
Srce	0,099[a]	0,015	0,198[b]	0,017	0,129[a]	0,017	**0,002**
Jetra	0,212[a]	0,014	0,404[b]	0,014	0,174[a]	0,010	**0,001**
Štitasta	0,202	0,034	0,182	0,016	0,218	0,025	0,548
Bubreg	0,870	0,090	1,204	0,080	0,925	0,028	0,066

[a, b] različita slova označavaju značajnu razliku između skupina; MLD-*musculus longissimus dorsi*; InfS-*musculus infraspinatus*; Tric- *musculus triceps brachii*; K = kontrolna skupina; P1 = selen iz biofortificiranog kukuruza; P2 = smjesa + 0,1% selenometionina.

Najviša srednja vrijednost koncentracije selena utvrđena je u bubregu u P1 skupini (1,204 mg/kg), a najniža u Tric-u u kontrolnoj skupini (0,072 mg/kg). Najniža koncentracija selena utvrđena je u MLD-u (0,093 mg/kg), Tric-u (0,072 mg/kg), srcu (0,099 mg/kg) i bubregu (0,870 mg/kg) kod prasadi kontrolne skupine, dok su najniže vrijednosti selena u InfS (0,074 mg/kg) i jetri (0,174 mg/kg) utvrđene u prasadi pokusne skupine P2. U štitastoj žlijezdi, najniža koncentracija selena utvrđena je u prasadi P1 pokusne skupine (0,182 mg/kg).



Grafikon 3. Koncentracije selena u pojedinim tkivima odbite prasadi po skupinama 42. dan pokusa

5. RASPRAVA

Prema rezultatima istraživanja nije utvrđen značajan učinak dodatka selena na tjelesnu masu i prosječni dnevni prirast u hranidbi prasadi. Tjelesna masa prasadi svih pokusnih skupina na početku istraživanja bila je ujednačena. Nakon 22. dana ponovno su utvrđene prosječne tjelesne mase prasadi, iz kojih je vidljivo kako je najmanja vrijednost dobivena u prasadi iz kontrolne skupine, koja nije dobivala selen, a najviša vrijednost je dobivena u prasadi iz pokusne skupine koja je hranjena smjesom obogaćenom 0,1% selenometioninom. No na kraju istraživanja (42. dan), najviše prosječne tjelesne mase utvrđene su kod prasadi kontrolne skupine, a najniže vrijednosti kod prasadi P2 pokusne skupine, no nije utvrđena značajna razlika ($P>0,05$). Najveći ukupni prirast imala je također prasad kontrolne skupine, dok je najniži ukupni prirast imala prasad pokusne skupine P2, no bez značajne razlike. Ova istraživanja u skladu su sa onim Antunovića i sur. (2008., 2007.) koji također nisu utvrdili značajan učinak selena na tjelesne mase i dnevne priraste u hranidbi janjadi. Bobić i sur. (2009.) istraživali su utjecaj povišene razine selena u hranidbi odbite prasadi. Skupina odbite prasadi hranjena uz dodatak povišene razine organskog selena postigla je veću tjelesnu masu i značajno veći ukupni prirast tijekom 41 dana pokusa, dok u ovom istraživanju nije bilo značajne razlike između prasadi kontrolne i pokusne skupine, čak štoviše, nešto bolje rezultate postigla je prasad kontrolne skupine. Istraživanja o utjecaju selena u hranidbi prasadi su oskudna, a ona koja postoje većinom se bave o utjecaju organskog selena u odnosu na anorganski selen. Tako su Huang i sur. (2004.) utvrdili da je prasad odbijena 21. dana uz dodatak organskog selena imala značajno veći dnevni prirast u odnosu na prasad hranjenu uz dodatak anorganskog izvora selena. Kim i Mahan (2001.) utvrdili su veće završne tjelesne mase kod svinja hranjenih uz dodatak organskoga selena u odnosu na one uz dodatak anorganskog selena. Marković (2007.) u svojem istraživanju na brojlerima, izvještava da su veće tjelesne mase postignute kod uporabe organskog oblika selena, što nije u skladu s istraživanjima (Dahlke i sur. 2005., Payne i Southern, 2005., Yoon i sur., 2007.) koja govore da različiti oblici i izvori selena nemaju utjecaja na proizvodne karakteristike brojlera.

Svoju biološku ulogu u organizmu selen obavlja preko enzima glutation peroksidaze (GPx) u čijem se aktivnom mjestu nalazi ovaj element (Rotruck i sur., 1973.). Pri suboptimalnim i optimalnim razinama selena, aktivnost GPx u krvnoj plazmi pouzdan je indikator statusa selena kod životinja. Podaci dobiveni u ovom istraživanju pokazuju da aktivnost GPx u eritrocitima 42. dana nije bila statistički značajna između skupina, iako je

prasad hranjena selenom iz biofortificiranog kukuruza imala nešto višu aktivnost ovog enzima u odnosu na kontrolnu skupinu i pokusnu skupinu P2. U brojnim pokusima i kod različitih vrsta životinja, najviše se istraživala ovisnost aktivnosti enzima GPx od oblika i razine dodanog selena u obrok. Istraživanja provedena na ovcama pokazuju da je aktivnost GPx u krvi bila značajno povišena u obje skupine kojima se selen davao u obliku natrij selenita i seleniziranog kvasca (Faixove i sur., 2016.). Nije bilo razlike između ovaca kojima se davao selen u organskom obliku i između onih kojima se selen davao u anorganskom obliku. Slične rezultate na ovcama dobili su i drugi autori (Van Ryssen i sur., 1989., Gunter i sur., 2003.). Suprotno ovim rezultatima, drugi autori izvještavaju da je aktivnost enzima GPx u krvi bila značajno viša kod goveda kojima se u obrok davao selenizirani kvasac u usporedbi s onim koja su primali natrij selenit u obroku (Juniper i sur., 2008.). Qin i sur. (2007.) također objašnjavaju da je aktivnost GPx bila viša kod janjadi kojoj se davao selenizirani kvasac u usporedbi s janjadi kojoj se selen davao u obliku natrij selenita. Kuricova i sur. (2003.) ispitivali su utjecaj dodavanja organskog (0,2 i 0,7 mg/kg) i anorganskog (0,2 mg/kg) selena u hranu za brojlere, na aktivnost GPx. Utvrdili su da aktivnost GPx ovisi o dozi selena koja se koristi. Pri dodavanju 0,7 mg/kg aktivnost GPx bila je značajno viša u odnosu na ostale skupine. Wang i Xu (2007.) su u istraživanjima dobili da je aktivnost GPx bila viša u onih brojlera kojima se u obrok davao organski selen. Ove razlike u rezultatima od strane različitih autora mogu se objasniti pomoću činjenice da, iako je koncentracija selena u cijeloj krvi usko povezana s aktivnošću GPx (Brigelius-Flohe i sur., 1994.), evidentno je da postotak selena u eritrocitima povezan s GPx može varirati ovisno o izvoru selena (Belstein i Whanger 1986., Van Ryssen i sur., 1989.).

Rezultati dobiveni u ovom istraživanju pokazuju da je prasad hranjena biofortificiranim kukuruzom ostvarila značajno najviše koncentracije selena u istraživanim tkivima. Utvrdili smo najveće vrijednosti selena u bubregu, slijede jetra i MLD, zatim srčani mišić koji sadrži više selena od štitaste žlijezde, *m. infraspinatus* i *m. triceps brachii* sadrže najniže koncentracije selena. Koncentracije selena u tkivima prasadi koja je hranjena 0,1% selenometioninom nisu više niti se statistički značajno razlikuju od onih u prasadi hranjene bez dodatka selena. Raspored selena po tkivima razlikuje se kod prasadi kontrolne skupinei prasadi hranjene 0,1% selenometioninom. Najviše koncentracije selena kod prasadi kontrolne skupine sadrži bubreg, zatim jetra i štitasta žlijezda, zatim srčani mišić koji sadrži više selena od MLD-a, InfS-a i Tric-a. Raspored selena u tkivima prasadi

hranjene 0,1% selenometioninom sličan je kao i kod prasadi kontrolne skupine uz iznimku štitaste žlijezde koja sadrži nešto više koncentracije selena od jetre. Ovi rezultati sukladni su s rezultatima istraživanja (Ullrey i sur., 1977., Maag i Glenn, 1967., Mahan i Moxon, 1978.), koji pokazuju da uz dovoljno visok unos selena bubreg sadrži najvišu koncentraciju selena, a slijede ga jetra i druga žljezdana tkiva, zatim srčani mišić koji sadrži više selena od skeletnih mišića. Koncentracija selena u tkivima nije ovisna samo o razini selena u obroku životinje, već i o kemijskom obliku. U ovom istraživanju najviše koncentracije selena u bubregu, jetri i štitastoj žlijezdi zabilježene su u P1 pokusnoj skupini koja je bila hranjena selenom iz biofortificiranog kukuruza, što je sukladno sa istraživanjima Ullrey i sur., (1977.) koja pokazuju da je koncentracija selena u bubregu, jetri i mišićima bila veća kod ovaca i janjadi hranjenim selenom iz prirodnih izvora (prirodno obogaćeni kukuruz). Isto tako, koncentracija selena u mišićima, jetri i bubregu bila je viša kod svinja koje su bile hranjene selenom iz prirodnih izvora (obogaćeni kukuruz i soja) nego li kod svinja koje su bile hranjene dodatkom natrij selenita u obroku (Ku i sur., 1973.). Istraživanje provedeno na mladim svinjama (Mahan i Moxon, 1978.) također pokazuje da su koncentracije selena u mišićima, jetri i bubregu bile više kod svinja koje su hranjene selenom iz prirodnih izvora (riblje brašno, pšenične žitarice, pročišćene žitarice) nego kod onih koje su bile hranjene natrij selenitom. Riblje brašno pokazalo se kao najsiromašniji izvor selena od ova tri sastojka. Ova razlika kao odgovor na razne organske oblike selena dokazana je i kod peradi. Selen koji se u obroku peradi davao kao selenometionin, rezultirao je s višim koncentracijama selena u mišićima, nego kada se davao u obliku selenita ili selenocisteina (Osman i Latshaw, 1976.), što nije u skladu s rezultatima ovog istraživanja, gdje nisu utvrđene statistički značajne razlike kod skupine prasadi hranjene smjesom bez dodatka selena i one skupine prasadi koja je hranjena smjesom sa dodatkom 0,1% organskog selena u obliku selenometionina. Kada se selen davao kao prirodni sastojak hrane u obroku kokoši, rezultirao je većim koncentracijama selena u mišićima, jetri i jajima, nego kada se davao u istim količinama, ali pretežno u obliku selenita (Latshaw, 1975.), što je u skladu s prethodno navedenim istraživanjima. Novija istraživanja većinom se bave utjecajem seleniziranog kvasca na koncentraciju selena u tkivima, u usporedbi s natrij selenitom. Pa tako, istraživanja provedena na kokošima nesilicama (Petrovič i sur., 2006., Pan i sur., 2007.) i brojlerima (Wang i Xu, 2008.) slična su onim na janjcima (Juniper i sur., 2008a.) i govedima (Juniper i sur., 2008b.), a pokazuju da žljezdano tkivo ima veću sklonost višim koncentracijama selena od mišićnog tkiva, a srčani mišići od skeletnih. Navedene razlike koje su prisutne kada se uspoređuju dva izvora

selena također ukazuju i na poboljšano uzimanje i ugradnju selena kod onih životinja kojima je davan selenizirani kvasac. Međutim, iste razlike nisu prisutne i kada se radi o bubregu i jetri. Petrovič i sur. (2006.) izvijestili su da su ukupne koncentracije selena bile veće u bubregu, jetri i žljezdanim tkivima kokoši nesilica kojima se u obrok davao selenizirani kvasac, ali nije bilo velike razlike kada se radilo o mišićnom tkivu, dok Pan i sur. (2007.) u svojim istraživanjima objavljuju da su ukupne koncentracije selena u jetri peradi bile slične, ali da su koncentracije selena bile više u mišićnom tkivu peradi koja se prihranjivala seleniziranim kvascem. Slični učinci ovih dvaju izvora selena zabilježeni su unutar srčanih i skeletnih mišića goveda i ovaca (Juniper i sur., 2008a. i 2008b.) i masnog tkiva svinja (Mahan i sur. 1999., Mateo i sur. 2007.) pri čemu su ukupne koncentracije selena bile veće u onih životinja koje su hranjene seleniziranim kvascem u usporedbi s onim životinjama koje su dobivale istu dozu natrij selenita. Istraživanja Wanga i sur. (2011.) na brojlerima pokazala su da je koncentracija selena u krvnom serumu i istraživanim organima bila povećana dodavanjem selenometionina u obrok u usporedbi s natrij selenitom, što se slaže s istraživanjima Skřivan i sur. (2008., 2010.). Zbog različitih apsorpcijskih mehanizama organski selen ima bolju bioraspoloživost za pohranu u tkivima od anorganskog selena (Mahan i Parrett, 1996.). Anorganski selen se apsorbira kroz tanko crijevo pasivnim transportom, dok se organski selen aktivno apsorbira kroz mehanizam transporta aminokiselina (Wolfram i sur., 1989.). Kemijska sličnost između metionina i selenometionina dopušta tijelu da ih naizmjenično iskoristi u sintezi proteina, zato što $tRNK^{Met}$ ne može razlučiti selenometionin od metionina (Schrauzer, 2000., 2003.). Prema tome, svaki selenometionin koji se odmah ne metabolizira, kroz sintezu proteina ugrađuje se u organe, i to u bubreg, jetru, skeletne mišiće itd. (Schrauzer, 2000., 2003.).

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je istražiti distribuciju selena u pojedinim tkivima odbite prasadi hranjene s dodatkom selena iz biofortificiranog kukuruza, 0,1% organskog selena u obliku selenometionina i prasadi hranjene bez dodatka selena. Dodatak selena u obrocima prasadi značajno utječe na njegovu koncentraciju u tkivima i ovisi o izvoru i obliku selena u hranidbi. Dodatak selena u obrocima prasadi nije značajno utjecao na tjelesne mase i dnevni prirast, dok je aktivnost GPx bila najviša u prasadi hranjene biofortificiranim kukuruzom, iako bez statistički značajnih razlika.

Značajno najviše koncentracije selena u istraživanim tkivima ostvarila je prasad hranjena biofortificiranim kukuruzom, a najviše se akumuliralo u bubregu, slijede ga jetra i MLD, zatim srčani mišić i štitasta žlijezda.

7. POPIS LITERATURE

1. Antunović, Z., Klapec, T., Čavar, S., Mioč, B., Novoselec, J., Klir, Ž. (2012.): Changes of heavy metal concentrations in goats milk during lactationstage in organic breeding. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 18:166 – 170.
2. Antunović, Z., Kopić, B., Šperanda, M., Steiner, Z., Novoselec, J. (2008.): Utjecaj dodatka selena na proizvodna svojstva janjadi i koncentraciju hormona štitnjače. Krmiva, 4: 191 – 196.
3. Antunović, Z., Senčić Đ., Šperanda, M., Steiner, Z. (2007.): Effect of organic selenium on goat milk production in organic breeding. Proceedings of 1st International Conference „Re-search People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences“. Lozenec, Bugarska, 147 – 151.
4. Antunović, Z., Senčić, Đ., Šperanda, M. (2007.): Body growth and metabolic profile of Tsigai lambs. Proceedings of the International Conference „Re-search People and Actual Tasks on Multidisciplinary Science“. Lozenec, Bugarska, 152 – 157.
5. Arnér, E. S. J., Holmgren, A. (2000.): Physiological functions of thioredoxin and thioredoxin reductase. European Journal of Biochemistry, 267: 6102 – 6109.
6. Arthur, J. R., Beckett, G. J. (1993.): Roles of selenium in type I iodothyronine 5'-deiodinase and in thyeoid hormone and iodine metabolism. Selenium in biology and human health, 99-115.
7. Barbezat, G. O., Casey, C. E., Reasbeck, P. G., Robinson, M. F., Thomson, C. D. (1984.): Selenium. Absorption and Malabsorption of Mineral Nutrients, 231 – 258.
8. Behne, D., Kyriakopoulos, A., Scheid, S., Gessner, H. (1991.): Effects of chemical form and dosage on the incorporation of selenium into tissue proteins in rats. Journal of Nutrition, 121: 806 – 814.
9. Beilstein, M. A., Whanger, P. D., Yang, G. Q. (1991.): Chemical forms of selenium in corn and rice grown in a high selenium area of China. Biomedical and Environmental Sciences, 4: 392 – 398.
10. Belstein, M., Whanger, P. D. (1986.): Deposition of dietary organic and inorganic selenium in rat erythrocyte proteins. Journal of Nutrition, 116: 1701 – 1710.
11. Bilski, J., Jacob, D., Soumaila, F., Kraft, C., Farnsworth A. (2012.): Agronomic Biofortification of Cereal Crop Plants with Fe, Zn, and Se, by the Utilization of Coal Fly Ash as Plant Growth Media. Advances in Bioresearch, 3: 130 – 136.

12. Bobić, T., Šperanda, T., Poznić, V., Đidara, M., Šerić, V., Domaćinović, M., Antunović, Z., Knezović, N., Šperanda, M. (2009.): Veća doza organskog selena u hranidbi odbite prasadi. Krmiva, 3: 153 – 159.
13. Bopp, B. A., Sonders, R. C., Kesterson, J. W. (1982.): Metabolic fate of selected selenium compounds in laboratory animals and man. Drug Metabolism Reviews, 13: 271 – 318.
14. Brigelius-Flohe, R., Aumann, K. D., Blocker, H., Gross, G., Kiess, M., Kloppel, K. D., Maiorino, M., Roveri, A., Schuckelt, R., Usini, F., Wingender, E., Flohe, L. (1994.): Phospholipid-hydroperoxide glutathione peroxidase. Genomic DNA, cDNA, and reduced amino acid sequence. Journal of Biological Chemistry, 269: 7342 – 7348.
15. Broadley, M. R., White, P. J., Bryson, R. J., Meacham, M. C., Bowen, H. C., Johnson, S. E., Hawkesford, M. J., McGrath, S. P., Zhao, F. J., Breward, N., Harriman, M., Tucker, M. (2006.): Biofortification of UK food crops with selenium. Proceedings of the Nutrition Society, 65: 169 – 181.
16. Burk, R. F., Hill, K. E. (1993.): Regulation of selenoproteins. Annual Review of Nutrition, 13: 65 – 81.
17. Burk, R. F., Hill, K. E. (2005.): Selenoprotein P: an extracellular protein with unique physical characteristics and a role in selenium homeostasis. Annual Review of Nutrition, 25: 215 – 235.
18. Burk, R. F., Hill, K. E., Motley, A. K. (2001.): Plasma selenium in specific and non-specific forms. Biofactors, 14: 107 – 114.
19. Butler, J. A., Thompson, C. D., Whanger, P. D., Robinson, M. E. (1991.): Selenium distribution in blood fractions of New Zealand women taking organic or inorganic selenium. American Journal of Clinical Nutrition,53: 748 – 754.
20. Cao, Z. H., Wang, X. C., Yao, D. H., Zhang, X. L., Wong, M. H. (2001.): Selenium geochemistry of paddy soils in Yangtze River Delta. Environment International, 26: 335 – 339.
21. Combs, G. (2001.): Selenium in global food systems. British Journal of Nutrition, 85: 517 – 547.
22. Combs, G. F., Combs, S. B. (1986.): The Role of Selenium in Nutrition. Academic Press, New York.

23. Dahlke, F., Gonzales, E., Furlan, R. L., Gadelha, A. C., Maiorka, A., Almeida, J. G. (2005.): Avaliação de diferentes fontes e níveis de selênio para frangos de corte em diferentes temperaturas. Archives of Veterinary Science, 10: 21 – 26.
24. Dell Inc. (2016.): Dell Statistica (data analysis software system), version 13. software.dell.com.
25. Domaćinović, M., Antunović, Z., Džomba, E., Opačak, A., Baban, M., Mužic, S. (2015.): Specijalna hranidba domaćih životinja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
26. Ducros, V., Laporte, F., Belin, N., David, A., Favier, A. (2000.): Selenium determination in human plasma lipoprotein fractions by mass spectrometry analysis. Journal of Inorganic Biochemistry, 81: 105 – 109.
27. Ellis, D. R., Salt, D. E. (2003.): Plants, selenium and human health. Current Opinion in Plant Biology, 6: 273 – 279.
28. Faixová, Z., Piešová, E., Maková, Z., Čobanová, K., Faix, Š. (2016.): Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on ruminal enzyme activities and blood chemistry in sheep. Acta Veterinaria Brunensis, 85: 185 – 194.
29. Flohé, L., Gùnzler, W. A., Schock, H. H. (1973.): Glutathione peroxidase: A selenoenzyme. FEBS Letters, 32: 132 – 134.
30. Goh, K. H., Lim, T. T. (2004.): Geochemistry of inorganic arsenic and selenium in a tropical soil: effect of reaction time, pH, and competitive anions on arsenic and selenium adsorption. Chemosphere, 55: 849 – 859.
31. Gourley, G. G., Lampe, J. F., Sparks, J. C., Stumpf, T. T. (2005.): Piglet survivability and performance: Sel-Plex versus sodium selenite in sow and nursery diets. Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industry. Nottingham University Press, Nottingham, 153 – 156.
32. Gunter, S. A, Beck, P. A., Phillips, J. M. (2003.): Effects of supplementary selenium source on the performance of blood measurements in beef cows and their calves. Journal of Animal Science, 81: 856 – 864.
33. Haygarth, P. M., Harrison, A. F., Jones, K. C. (1995.): Plant selenium from soil and the atmosphere. Journal of Environmental Quality, 24: 768 – 771.
34. Hoekstra, W. G. (1975): Biochemical function of selenium and its relation to vitamin E. Federation Proceedings,34: 2083 – 2089.

35. Huang, R., Zhu, W., Hang, S., Miao, C., Wu, Y., Liang, L., Xu, J., Lu, X. (2004.): Effect of Bio-Mos and Sel-Plex on growth performance and incidence of diarrhea of of weaning piglets. Abstracts of Poster presented at Alltech's 20th Annual Symposium on Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industies, Lexington, KY, SAD.
36. Ip, C., Dong, Y., Ganther, H. E. (2002.): New concepts in selenium chemoprevention. Cancer and Metastasis Reviews, 21: 281 – 289.
37. Ip, C., Hayes, C. (1989.): Tissue selenium levels in selenium-supplemented rats and their relevance in mammary cancer protection. Carcinogenesis, 10: 921 – 925.
38. Jeroch, H., Drochner, W., Simon, O. (1999.): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
39. Juniper, D. T., Phipps, R. H., Ramos-Morales, E., Bertin, G. (2008a.): Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs. Animal Feed Science and Technology, 149: 228 – 239.
40. Juniper, D. T., Phipps, R. H., Ramos-Morales, E., Bertin, G. (2008b.): Effect of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. Journal of Animal Science, 86: 3100 – 3109.
41. Kim, Y. Y., Mahan, D. C. (2001.): Effect of dietary selenium source, level and pig hair color on various selenium indices. Journal of Animal Science, 79: 949 – 955.
42. Klapec, T., Mandić, M., L., Primorac, LJ. (1998): Značenje selena za zdravlje. Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek.
43. Kralik, G., Kušec, G., Kralik, D., Margeta, V. (2007.): Svinjogojstvo: Biološki i zootehnički principi. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.
44. Ku, P. K., Miller, E. R., Wahlstrom, R. C. Groce, A. W., Hitchcock, J. P., Ullrey, D. E. (1973.): Selenium supplementation of naturally high selenium diets for swine. Journal of Animal Science, 37: 501 – 505.
45. Kuricova, S., Boldizarova, K., Gresakova, L., Bobcek, R., Lekvut, M., Leng, L. (2003.): Chicken Selenium Status When Fed a Diet supplemented with Se-Yeast. Acta Veterinaria Brunensis, 72: 339 – 346.
46. Latshaw, J. D. (1975.): Natural and selenite selenium in the hen and egg. Journal of Nutrition, 105: 32 – 37.

47. Levander, O. A., DeLoach, D. P., Morris, V. C., Moser, P. B. (1983.): Platelet glutathione peroxidase activity as an index of selenium status in rats. Journal of Nutrition, 113: 55 – 63.
48. Loflin, J., Lopez, N., Whanger, P. D., Kioussi, C. (2006.): Selenoprotein W during development and oxidative stress. Journal of Inorganic Biochemistry, 100: 1679 – 1684.
49. Lyons, G., Lewis, J., Lorimer, M., Holloway, R., Brace, D., Stangoulis, J., Graham, R. (2004.): High-selenium wheat: agronomic biofortification strategies to improve human nutrition. Food, Agriculture & Environment, 2: 171 – 174.
50. Lyons, G., Stangoulis, J., Graham, R. (2003.): High-selenium wheat: biofortification for better health. Nutrition Research Reviews, 16: 45 – 60.
51. Lyons, M. P., Papazyan, T. T., Surai, P. F. (2007.): Selenium in Food Chain and Animal Nutrition: Lessons from Nature. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 20: 1135 – 1155.
52. Maag, D. D., Glenn, M. W. (1967.): Toxicity of selenium: Farm animals. Selenium in Biomedicine, 127 – 140.
53. Mahan, D. C. (2000.): Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. Journal of Animal Science, 78: 100 – 105.
54. Mahan, D. C., Cline, T. R., Richert, B. (1999.): Effects of dietary levels of seleniumenriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. Journal of Animal Science, 77: 2172 – 2179.
55. Mahan, D. C., Moxon, A. L. (1978.): Effects of adding inorganic or organic selenium sources to the diets of young swine. Journal of Animal Science, 47: 456 – 466.
56. Mahan, D. C., Parrett, N. A. (1996.): Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher swine. Journal of Animal Science, 74: 2967 – 2974.
57. Mahan, D. C., Peters, J. C. (2004.): Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. Journal of Animal Science, 82: 1343 – 1358.

58. Marković, R. (2007.): Uticaj selena organskog i neorganskog porekla i različite količine vitamina E na proizvodne rezultate i kvalitet mesa brojlera. Doktorska disertacija, Beograd.
59. Mateo, R. D., Spallholz, J. E., Elder, R., Yoon, I., Kim, S. W. (2007.): Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. Journal of Animal Science, 85: 1177 – 1183.
60. Mitak, M. (2015.): Patologija hranidbe domaćih životinja. Medicinska naklada: Hrvatski veterinarski institut, Zagreb.
61. Mustacich, D., Powis, G. (2000.): Thioredoxin reductase. Biochemical Journal, 346: 1 – 8.
62. Osman, M., Latshaw, J. D. (1976.): Biological potency of selenium from sodium selenite, selenomethionine and selenocystine in the chick. Poultry Science, 55: 987 – 994.
63. Pan, C., Huang, K., Zhao, Y., Qin, S., Chen, F., Hu, Q. (2007.): Effect of selenium source and level in hen's diet on tissue selenium deposition and egg selenium concentrations. Journal of Agricultural Food Chemistry, 55: 1027 – 1032.
64. Patterson, R. H., Zech, L. A. (1992.): Development of a model for selenite metabolism in humans. Journal of Nutrition, 122: 709 – 714.
65. Payne, R. L., Southerm, L. L. (2005.): Comparison of Inorganic and Organic Selenium Sources for Broilers. Poultry Science 84: 898 – 902.
66. Petrovič, V., Boldižárová, K., Faix, Š., Mellen, M., Arpášová, H., Leng, L. (2006.): Antioxidant and selenium status of laying hens fed with diets supplemented with selenite or Se-yeast. Journal of Animal Feed Science, 15: 435 – 444.
67. Pickering, I. J., Prince, R. C., Salt, D. E., George, G. N. (2000.): Quantitative, chemically specific imaging of selenium transformation in plants. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 97: 10717 – 10722.
68. Qin, S., Gao, J., Huang, K. (2007.): Effects of different selenium sources on tissue selenium concentrations, blood GSH – Px activities and plasma interleukin levels in finishing lambs. Biological Trace Element, 116: 91 – 102.
69. Reasbeck, P. G., Barbezat, G. O., Robinson, M. F., Thompson, C. D. (1981.): Direct measurement of selenium absorption *in vivo*: Triple-lumen gut perfusion in

te conscious dog. Proceedings New Zealand Workshop on Trace Elements, p. 107. University Otago, Dunedin, NZ.

70. Robinson, M. E., Thomson, C. D. (1983.): The role of selenium in the diet. Nutrition abstracts and reviews, 53: 3 – 26.
71. Robinson, M. F., Rea, H. M., Friend, G. M., Stewart, R. D. H., Snow, P. C., Thomson, C. D. (1978.): On supplementing the selenium intake of New Zealanders. 2. Prolonged metabolic experiments with daily supplements of selenomethionine, selenite and fish. British Journal of Nutrition, 39: 589 – 600.
72. Robinson, M. F., Thomson, C. D., Huemmer, P. K. (1985.): Effect of a megadose of ascorbic acid, a meal and orange juice on the absorption of selenium as sodium selenite. New Zealand Medical Journal, 98: 627 – 629.
73. Rotruck, J. T., Pope, A. L., Ganther, H. E., Swanson, A. D., Hafeman, D. G. Hoekstra, W. G. (1973.): Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. Science, 179: 588 – 590.
74. Schrauzer, G. N. (2000.): Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism, and toxicity. Journal of Nutrition, 130: 1653 – 1656.
75. Schrauzer, G. N. (2003.): The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. Advances in Food and Nutrition Research, 47: 73 – 112.
76. Senčić, Đ., Pavičić, Ž., Bukvić, Ž. (1996.): Intenzivno svinjogojstvo. Nova zemlja, Osijek.
77. Shennan, D. B. (1988.): Selenium (selenate) transport by human placental brush border membrane vesicles. British Journal of Nutrition, 59: 13 – 19.
78. Skřivan, M., Bubancová, I., Marounek, M., Dlouhá, G. (2010.): Selenium and α-tocopherol content in eggs produced by hens that were fed diets supplemented with selenomethionine, sodium selenite and vitamin E. Czech Journal of Animal Science, 55: 388 – 397.
79. Skřivan, M., Dlouhá, G., Mašata, O., Ševčíková, S. (2008.): Effect of dietary selenium on lipid oxidation, selenium and vitamin E content in the meat of broiler chickens. Czech Journal of Animal Science, 53: 306 – 311.
80. Sors, T. G., Ellis, D. R., Salt, D. E. (2005.): Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. Photosynthesis Research, 86: 373 – 389.
81. Sunde, R. A. (1990.): Molecular biology of selenoproteins. Annual Review of Nutrition, 10: 451 – 474.

82. Sunde, R. A., Hoekstra, W. G. (1980): Structure, synthesis and function of glutathione peroxidase. Nutrition Reviews, 38: 265 – 273.
83. Surai, P. F. (2006.): Selenium in Nutrition and Health. Nottingham University Press, Nottingham.
84. Suzuki, K. T., Ogra, Y. (2002.): Metabolic pathway for selenium in the body: speciation by HPLC-ICP MS with enriched Se. Food Additives and Contaminants, 19: 974 – 983.
85. Swanson, C. A., Patterson, B. H., Levander, O. A., Veillon, C., Taylor, P. R., Helzlsouer, K., McAdam, P. A., Zech, L. A. (1991.): Human [74Se] selenomethionine metabolism: a kinetic model. American Journal of Clinical Nutrition, 54: 917 – 926.
86. Tan, J., Zhu, W., Wang, W., Li, R., Hou, S., Wang, D., Yang, L. (2002.): Selenium in soil and endemic diseases in China. Science of the Total Environment, 284: 227 – 235.
87. Terry, N., Zayed, A. M., De Souza, M. P., Tarun, A. S. (2000.): Selenium in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 401 – 432.
88. Thomson, C. D., Robinson, M. E. (1986.): Urinary and fecal excretions and absorption of a large supplement of selenium: superiority of selenate over selenite. American Journal of Clinical Nutrition, 44: 659 – 663.
89. Ullrey, D. E., Brady, P. S., Whetter, P. A., Ku, P. K., Magee, W. T. (1977.): Selenium supplementation of diets for sheep and beef cattle. Journal of Animal Science, 45: 559 – 565.
90. Van Metre, D. C., Callan, R. J. (2001.): Selenium and vitamin E. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 17: 373 – 402.
91. Van Ryssen, J. B., Deagen, J. T., Beistein, M. A., Whanger, P. D. (1989.): Comparative metabolism of organic and inorganic selenium by sheep. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 37: 1358 – 1363.
92. Wang, Y. B., Xu, B. H. (2007.): Effect of diferent selenium source (sodium selenite and selenium yast) on broiler chickens. Animal Feed Science and Technology, 144: 306 – 314.
93. Wang, Y. B., Xu, B. H. (2008.): Effect of different selenium source (sodium selenite and selenium yeast) on broiler chickens. Animal Feed Science and Technology, 144: 306 – 314.

94. Wang, Y. X., Zhan, X. A., Yuan, D., Zhang, X. W., Wu, R. J. (2011.): Effects of selenomethionine and sodium selenite supplementation on meat quality, selenium distribution and antioxidant status in broilers. Czech Journal of Animal Science, 56: 305 – 313.
95. Wei, A. (1996.): Soybean sprout. Zhengzhou Liangshi Xueyuan Xuebao, 17: 67 – 70.
96. Whanger, P. D. (2002.): Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. Journal of the American College of Nutrition, 21: 223 – 232.
97. Whanger, P. D. (2009.): Selenoprotein expression and function—Selenoprotein W. Biochimica et Biophysica Acta, 11: 1448 – 1452.
98. White, P. J., Bowen, H. C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W. P., Spiby, R. E., Meacham, M. C., Mead, A., Harriman, M., Trueman, LJ., Smith, B. M., Thomas B., Broadley, M. R. (2004.): Interactions between selenium and sulphur nutrition in Arabidopsis thaliana. Journal of Experimental Botany, 55: 1927 – 1937.
99. White, P. J., Broadley, M. R. (2005.): Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends in Plant Science, 10: 586 – 593.
100. Wolffram, S., Berger, B., Scharrer, E. (1989.): Transport of selenomethionine and methionine across the intestinal brush border membrane. Selenium in Biology and Medicine, 109 – 113.
101. Wolfram, S., Berger, B., Grenacher, B., Scharrer, E. (1989.): Transport of seleno amino acids and their sulphur analogues across the intestinal brush border membrane. Journal of Nutrition, 119: 706 – 712.
102. Xu, X. M., Carlson, B. A., Irons, R., Mix, H., Zhong, N., Gladyshev, V. N., Hatfield, D. L. (2007.): Selenophosphate synthetase 2 is essential for selenoprotein biosynthesis. Biochemical Journal, 404: 115 – 120.
103. Yoon, I., Werner, T. M., Butler, J. M. (2007.): Effect of Source and Concentration of Selenium on Growth Performance and Selenium Retention in Broiler Chickens. Poultry Science, 4: 727 – 730.

Web stranice:

1. Bailey, R., „Biofortifying' one of the world's primary foods", Computing at Dartmouth, 22.07.2008, Dostupno na: http://www.dartmouth.edu/~news/releases/2007/11/19a.html (07.04.2018.)
2. Gerald, F., Combs, J., „Biomarkers of Selenium Status", pregledni rad, 27.2.2015, Dostupno na: file:///C:/Users/COMP/Downloads/nutrients-07-02209.pdf (21.04.2018.)
3. Jablonska, E., Gromadzinska, J., Reszka, E., Wasowicz, W., „SEPP1 (selenoprotein P, plasma, 1)", Atlas of Genetics and Cytogenetics in Oncology and Haematology, 03.2011., Dostupno na: http://atlasgeneticsoncology.org/Genes/SEPP1ID46513ch5p12.html (12.01.2018.)
4. Milanović, S., Jovanović, I., Valčić, O., „Selenoproteini", pregledni rad, 22.10.2014, Dostupno na: http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0350-2457/2015/0350-24571502075M.pdf (15.01.2018.)
5. n.p., „Agricultural biotechnology: meeting the needs of the poor?", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), n.d., Dostupno na: http://www.fao.org/docrep/006/Y5160E/y5160e06.htm#p1 (17.05.2018.)
6. Solter, D., „osjetljivost osi hipofiza- hormoni štitnjače u hipotireoidnih i atireoidnih bolesnika", doktorska disertacija, Zagreb, 2014., Dostupno na: http://medlib.mef.hr/2173/1/Solter_D_disertacija_rep_2173.pdf (05.02.2018.)
7. n.p., „De-novo-Synthese der Purinnucleotide", Thieme via medici, n.d., Dostupno na: https://viamedici.thieme.de/lernmodule/biochemie/de-novo-synthese+der+purinnucleotide (11.02.2018.)
8. n.p., „Selenoprotein W Antibody", ROCKLAND antibodies & assays, n.d., Dostupno na: https://rockland-inc.com/Product.aspx?id=35002 (11.02.2018.)
9. n.p., „Selenium SeLECT® 5000 DCP", Organic minerals, n.d., Dostupno na: http://www.mineralsinc.com/writeup/l-selenomethionine5000DCP_w.htm (02.03.2018.)

8. SAŽETAK

U istraživanje su bile uključene tri skupine odbite prasadi (N=30), PIC hibrida obaju spolova u istom omjeru, tjelesne mase od 6,5 do 7 kg, u dobi od 28 dana. Sve tri skupine bile su hranjene krmnom smjesom za odbitu prasad s 17,5% sirovih bjelančevina i 13, 95 MJ ME /kg. Dodatak selena pripremljen je s različitim izvorom i oblikom selena: kontrolna skupina prasadi (K) hranjena je bez dodatka selena, pokusna skupina (P1) hranjena je dodatkom selena iz biofortificiranog kukuruza i pokusna skupina (P2) hranjena je smjesom sa dodatkom 0,1% organskog selena u obliku selenometionina.Na kraju istraživanja zaklano je po 5 prasadi iz svake skupine (ukupno 15 prasadi) i uzeti su uzorci srca, jetre, bubrega, štitaste žlijezde i skeletnih mišića *m. longissimus dorsi* (MLD)*, m. infraspinatus* (InfS)*, m. triceps brachii* (Tric), radi utvrđivanja koncentracije selena. Značajno najviše koncentracije selena u istraživanim tkivima ostvarila je prasad hranjena biofortificiranim kukuruzom, a najviše se akumuliralo u bubregu, slijede ga jetra i MLD, zatim srčani mišić i štitasta žlijezda.

Ključne riječi: koncentracija selena, odbita prasad, selenometionin, biofortificirani kukuruz.

9. SUMMARY

The study included three groups of weaned piglets (N = 30), PIC hybrids of both sexes in the same ratio, body mass of 6.5 to 7 kg, at 28 days. All three groups were fed with fodder mixture for weaned piglets with 17.5% crude protein and 13, 95 MJ ME / kg. The selenium supplement was prepared with a different source and form of selenium: the control group of piglets (C) was fed without the addition of selenium, the experimental group (E1) was fed by the addition of selenium from the biofortified maize and the experimental group (E2) was fed with a mixture of 0.1% organic selenium in the form of selenomethionine. At the end of the study, five piglets from each group (total of 15 pigs) were slaughtered and samples of the heart, liver, kidney, thyroid gland and skeletal muscles of *m. longissimus dorsi* (MLD), *m. infraspinatus* (InfS), *m. triceps brachii* (Tric) were used to determine the concentration of selenium. Significantly the highest concentrations of selenium in the investigated tissues resulted in piglets fed with biofortified maize, most accumulated in the kidney, followed by liver and MLD, then cardiac muscle and thyroid gland.

Key words: selenium concentration, weaned piglets, selenomethionine, biofortified maize.

10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Nutritivne potrebe krmnih smjesa za prasad. 3

Tablica 2. Toksične vrijednosti nekih mineralnih tvari kod svinja 4

Tablica 3. Identificirani selenoproteini u sisavaca 7

Tablica 4. Sirovinski i kemijski sastav smjese za prasad u pokusu..... 23

Tablica 5. Sastav premiksa za odbitu prasad korišten u smjesi, sadržaj u 1 kg 25

Tablica 6. Prosječne tjelesne mase prasadi hranjene uz dodatak različitih izvora selena (kg) 27

Tablica 7. Koncentracije selena u pojedinim tkivima odbite prasadi..... 30

11. POPIS SLIKA

Slika 1. Selenometionin i selenocistein 6

Slika 2. Djelovanje GPx ovisne o selenu u citosolu i međudjelovanje s vitaminom E 8

Slika 3. Shema oksido-reduktazne aktivnosti tioredoksin sustava 10

Slika 4. Sukcesivna dejodinacija T4 11

Slika 5. Selenoprotein P u homeostazi selena i transportu do testisa, mozga i bubrega. 12

Slika 6. Antioksidativno djelovanje selenoproteina W 13

Slika 7. SeMet se konvertira u SeCys, koji se zatim ugrađuje u funkcionalne selenoproteine 14

Slika 8. Metabolizam selena 16

12. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prosječni dnevni prirast prasadi hranjene uz dodatak različitih izvora selena (g) 28

Grafikon 2. Aktivnost enzima GPx u eritrocitima prasadi hranjene uz dodatak različitog izvora selena 42. dana pokusa 29

Grafikon 3. Koncentracije selena u pojedinim tkivima odbite prasadi po skupinama, mg/kg 31

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku **Diplomski rad**

Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij, smjer Specijalna zootehnika

DISTRIBUCIJA SELENA U NEKIM TKIVIMA ODBITE PRASADI HRANJENE BIOFORTIFICIRANIM KUKURUZOM

Ivona Bećirović

U istraživanje su bile uključene tri skupine odbite prasadi (N=30), PIC hibrida obaju spolova u istom omjeru, tjelesne mase od 6,5 do 7 kg, u dobi od 28 dana. Sve tri skupine bile su hranjene krmnom smjesom za odbitu prasad s 17,5% sirovih bjelančevina i 13, 95 MJ ME /kg. Dodatak selena pripremljen je s različitim izvorom i oblikom selena: kontrolna skupina prasadi (K) hranjena je bez dodatka selena, pokusna skupina (P1) hranjena je dodatkom selena iz biofortificiranog kukuruza i pokusna skupina (P2) hranjena je smjesom sa dodatkom 0,1% organskog selena u obliku selenometionina. Na kraju istraživanja zaklano je po 5 prasadi iz svake skupine (ukupno 15 prasadi) i uzeti su uzorci srca, jetre, bubrega, štitaste žlijezde i skeletnih mišića *m. longissimus dorsi* (MLD)*, m. infraspinatus* (InfS)*, m. triceps brachii* (Tric), radi utvrđivanja koncentracije selena. Značajno najviše koncentracije selena u istraživanim tkivima ostvarila je prasad hranjena biofortificiranim kukuruzom, a najviše se akumuliralo u bubregu, slijede ga jetra i MLD, zatim srčani mišić i štitasta žlijezda.

Rad je izrađen pri: Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Mentorica: prof.dr.sc. Marcela Šperanda

Broj stranica: 53

Broj grafikona i slika: 11

Broj tablica: 7

Broj literaturnih navoda: 112

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: Hrvatski

Ključne riječi: koncentracija selena, odbita prasad, selenometionin, biofortificirani kukuruz.

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. Prof. dr. sc. Zdenko Lončarić, predsjednik

2. Prof. dr. sc. Marcela Šperanda, mentor

3. Prof. dr. sc. Matija Domaćinović, član

Rad je pohranjen u: Knjižnici Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek **Graduate thesis**

Faculty of Agriculture

University Graduate Studies, Zootehnique, course Special zootehnique

SELENIUM DISTRIBUTION AMONG DIFFERENT TISSUES IN WEANED PIGLETS FED BY BIOFORTIFICATED CORN

Ivona Bećirović

The study included three groups of weaned piglets (N = 30), PIC hybrids of both sexes in the same ratio, body mass of 6.5 to 7 kg, at 28 days. All three groups were fed with fodder mixture for weaned piglets with 17.5% crude protein and 13, 95 MJ ME / kg. The selenium supplement was prepared with a different source and form of selenium: the control group of piglets (C) was fed without the addition of selenium, the experimental group (E1) was fed by the addition of selenium from the biofortified maize and the experimental group (E2) was fed with a mixture of 0.1% organic selenium in the form of selenomethionine. At the end of the study, five piglets from each group (total of 15 pigs) were slaughtered and samples of the heart, liver, kidney, thyroid gland and skeletal muscles of *m. longissimus dorsi* (MLD), *m. infraspinatus* (InfS), *m. triceps brachii* (Tric) were used to determine the concentration of selenium. Significantly the highest concentrations of selenium in the investigated tissues resulted in piglets fed with biofortified maize, most accumulated in the kidney, followed by liver and MLD, then cardiac muscle and thyroid gland.

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek

Mentor: Marcela Šperanda, PhD

Number of pages: 53

Number of figures: 11

Number of tables: 7

Number of references: 112

Number of appendices: 0

Original in: Croatian

Key words: selenium concentration, weaned piglets, selenomethionine, biofortified maize.

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. PhD Zdenko Lončarić, president

2. PhD Marcela Šperanda, supervisor

3. PhD Matija Domaćinović, member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Kralja Petra Svačića 1d.