

Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku
Odjel za biologiju
Preddiplomski studij biologije

Kristian Pavošević

Selen u animalnoj ishrani i hranidbenom lancu

Završni rad

Mentor:

doc. dr. sc. Sandra Ečimović

Osijek, 2017. godine

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Odjel za biologiju
Završni rad
Preddiplomski sveučilišni studij Biologije
Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Biologija

SELEN U ANIMALNOJ ISHRANI I HRANIDBENOM LANCU

Kristian Pavošević

Mentor: doc. dr. sc. Sandra Ečimović

Za selen se smatra da je jedan od najkontroverznijih elemenata koji je u organizmima prisutan u tragovima. S jedne strane, prilično je toksičan i veliki broj istraživanja ukazuje na zagađenje okoliša zbog prisutnosti visokih koncentracija spomenutog elementa. S druge strane, selen iako je nužan za sve žive organizme, ipak njegov nedostatan ili prekomjerman unos ima određene štetne posljedice na organizme. Tako na primjer, nedostatan ili prekomjerman unos selena može štetno utjecati na produktivne i reproduktivne sposobnosti životinja koje se uzgajaju za ljudsku prehranu.

U ovom radu detaljno je opisana uloga selena, te njegov kružni ciklus u prirodi, tj. put kako zapravo selen putem hranidbenog lanca dođe u animalnu ishranu. Vezano uz sam hranidbeni lanac opisane su metode suplementacije selenom koje omogućuju potrebnu količinu selena u animalnoj ishrani. Također, opisana fiziološka važnost selena kao i posljedice koje se javljaju zbog nedovoljne ili prevelike konzumacije selena u animalnoj ishrani.

Broj stranica: 22

Broj slika: 2

Broj tablica: 2

Broj literaturnih navoda: 65

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: selen, animalna ishrana, hranidbeni lanac, suplementacija, fiziološka važnost

Rad je pohranjen u:

knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i u Nacionalnoj sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, u elektroničkom obliku, te je objavljen na web stranici za biologiju.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Department of Biology
Bachelor thesis
Undergraduate study of Biology
Scientific Area: Natural science
Scientific Field: Biology

SELENIUM IN ANIMAL NUTRITION AND FOOD CHAIN

Kristian Pavošević

Mentor: doc. dr. sc. Sandra Ečimović

Selenium is considered one of the most controversial trace element. On the one hand, selenium is highly toxic and a lot of studies indicate that in high concentrations this element can cause contamination of environment. On the other hand, selenium is necessary element in animal nutrition so his insufficient or excessive intake leads to certain negative effects in organism. For example, insufficient or excessive intake can cause productive or reproductive problems in animals that are used in food industry.

In the present thesis, role of selenium is described in detail so as his cycle in nature. More specifically, his role in animal nutrition is discussed. Moreover, methods of supplementation with selenium in animal nutrition which provide sufficient amount of selenium are also described. In addition, the present thesis involves physiological importance of selenium in humans and animals so as consequences that appear as a result of insufficient or excessive doses of selenium in animal nutrition.

Number of pages: 22

Number of figures: 2

Number of tables: 2

Number of references: 65

Original in: Croatian

Key words: selenium, animal nutrition, food chain, physiological importance

Thesis deposited in

Library of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek and in National university library in Zagreb in electronic form. It is also disposable on the web site of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
1.1 Važnost selena.....	1
2. Ciklus selena.....	2
2.1 Selen u tlu i biljkama.....	2
2.2. Selen za perad.....	3
2.3 Selen za svinje.....	4
2.4 Selen za govedo	5
3. Selen u animalnoj ishrani.....	5
3.1 Sadržaj selena u hrani.....	6
3.2 Preporučene doze selena.....	7
3.3 Apsorpcija i metabolizam selena.....	7
3.4 Nedostatak selena u prehrani.....	9
3.5 Prevelik unos selena u prehrani.....	10
3.6 Suplementacija selenom u prehrani.....	11
3.6.1 Selenom obogaćena jaja,meso i mlijeko	13
4. Fiziološka važnost selena kod ljudi i životinja.....	14
5. Zaključak.....	15
6. Literatura.....	16

1. Uvod

Selen (Se) je kemijski element s atomskim brojem 34 i relativnom atomskom masom od 78,96 te pripada šesnaestoj skupini i četvrtoj periodi periodnog sustava elemenata. U prirodi, selen nalazimo u dva kemijska oblika, anorganskom i organskom. Anorganski oblik nalazimo u različitim mineralima poput selenita, selenata i selenida. U hrani poput žitarica i raznih sjemenki Se je sastavni dio organske komponente koja sadrži aminokiseline selenometionin (SeMet), dok se selenocistein (SeCys) većinom nalazi u hrani životinjskog podrijetla. Kao rezultat toga, životinje iz hrane primaju Se u obliku SeMet što se smatra najučinkovitijim prehranbenim oblikom selena kako za ljude tako i za životinje.

1.1. Važnost selena

Otkrićem Se od strane švedskog kemičara J.J. Berzeliusa krenula su brojna istraživanja na temu važnosti anorganskog Se za sve žive organizme. 1957. godine Schwartz i Folz dokazali su da Se ima ulogu zaštite kod ljudi i životinja. Zahvaljujući ovim istraživanjima, kao i brojnim drugim, pokazano je da se Se ubraja u skupinu elemenata koji se u organizmima nalaze samo u tragovima, a čiji nedostatak uzrokuje brojne bolesti (Kieliszek i sur., 2013). Zbog svoje biološke aktivnosti Se ima veliki učinak na poboljšanje ljudskog i životinjskog zdravlja te imunološkog sustava živih organizama.

Nedostatak Se u prehrani danas je veliki problem. Ovim problemom obuhvaćeno je oko 0,5-1 bilijuna ljudi na svijetu (Holben i sur., 1999). Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) preporučeni dnevni unos Se je 70 $\mu\text{g}/\text{dan}$, a doze preko 400 $\mu\text{g}/\text{dan}$ smatraju se toksičnim za čovjeka. Iako je preporučeni dnevni unos 70 $\mu\text{g}/\text{dan}$ u mnogim europskim državama, unos Se mnogo je manji te iznosi u prosjeku oko 30 $\mu\text{g}/\text{dan}$ (Kieliszek i sur., 2013).

Jedno od rješenja kako bi se istakla važnost Se u prehrani i organizmu je provođenje edukacijskih programa koji ukazuju na pozitivne učinke ovog elementa kao što je poticanje tijela na normalan rast, razvoj plodnosti i funkcioniranje imunološkog sustava. Također, ne smiju se izostaviti i negativni učinci Se kao što je njegova toksičnost koja se pojavljuje u dozama od 400 $\mu\text{g}/\text{dan}$ i više.

2. Ciklus selena

Ciklus Se počinje iz tla i biljaka, a koliko će Se unijeti pojedina životinja jedući biljku koja sadrži Se ovisi o njegovoj asimilaciji iz tla. Koncentracija Se varira u različitim namirnicama kao što varira i u istim namirnicama koje su uzgajane u različitim područjima. Dostupnost Se iz tla uvelike ovisi o agrokulturalnim tehnikama kojima se poljoprivrednici koriste. Prvo, korištenje minerala kao što je sulfat smanjuje dostupnost Se iz tla. Drugo, kiselost tla smanjuje dostupnost Se. Treće, smanjena prozračenost tla također smanjuje dostupnost Se iz tla (Haygarth i sur., 1995; Sors i sur., 2005).

Jedan od glavnih načina kojima se tlo obogaćuje Se, te se njegova dostupnost povećava je korištenje gnojiva obogaćenih Se.

2.1. Selen u tlu i biljkama

Koncentracija Se uvelike varira u tlu i biljkama. Koncentracija Se u većini tala iznosi između 0,1 i 2 ppm. Se u tlu nalazimo u različitim oblicima uključujući elementarni Se, anorganske oblike poput selenida, selenita, selenata te organske komponente Se. Visoke koncentracije Se nalazimo u sedimentnim stijenama, a niske koncentracije Se nalazimo u vulkanskim stijenama, arenitu te vapnencu (Van Metre i sur., 2001). Istraživanja provedena u Kini pokazala su da tla razvijena pod tropskim i subtropskim uvjetima (laterit, crvena i žuta tla) imaju visoku koncentracije Se (više od 0,3 ppm) (Tan i sur., 2002). S druge strane, tla razvijena pod stepskim i pustinjaškim uvjetima (smeđe tlo, pustinjaško tlo, sivo tlo) imaju prosječnu koncentraciju Se (0,14 - 0,30 ppm). Konačno, tamno-smeđa tla, ljubičasta tla, te tla koja se razvijaju u humidnim uvjetima imaju vrlo nisku koncentraciju Se.

Nadalje, dostupnost Se za biljke ovisi o faktorima poput pH tla, oksidacijsko-redukcijskom potencijalu te mineralnom satavu tla, kao i o koncentraciji umjetnog gnojiva i kiši. Zapravo dostupnost Se za biljke više ovisi o obliku u kojem se Se nalazi nego o njegovoj ukupnoj koncentraciji u tlu.

U slučaju da je tlo kiselo i loše prozračeno, Se može tvoriti netopive komplekse sa željezovim hidroksidom i postati teško dostupan. Istraživanja su pokazala da su biljke u tlu čiji je pH 6 apsorbirale samo 47% Se, a povećanjem na pH 7 apsorbicija se povećala na 70% (Haygarth i sur., 1995). Iz spomenutog se može zaključiti da se Se u alkalnim tlima pojavljuje u obliku selenata koji je topiv i lako dostupan biljkama.

U tlima s visokim koncentracijama sulfata iskoristivost Se za biljke je loša (Terry i sur., 2000) jer je Se u kompeticiji s njim, te će visoke koncentracije toga gnojiva smanjiti

iskoristivost Se. Ovo objašnjava slabu iskoristivost Se pri korištenju raznih gnojiva u tlima. Velike količine padalina poput kiše ispiru Se iz tla te time smanjuju i njegovu dostupnost.

Topivost je glavna karakteristika Se kada je u pitanju njegova iskoristivost biljkama, a ukupna količina Se topivog u vodi razlikuje se od ukupne količine Se (Combs i sur., 1986). Selenit i selenat predstavljaju dostupne oblike Se u tlu, a selenid i elementarni Se nedostupni su za biljke, a time i za životinje. Selenit nalazimo u tlima s neutralnim pH, dok selenat nalazimo u alkalnim tlima (Goh i sur., 2004).

Se se u biljci apsorbira putem ksilema do kloroplasta u lišću gdje se obrađuje do organske komponente. Se se u biljci najbolje prenosi u obliku selenata (Terry i sur., 2000).

Nakon apsorpcije, distribucija selena u biljci ovisi o vrsti, fazi razvoja i fiziološkom stanju biljke. Uz to, dokazano je da je redukcija selenata u organski selen u biljci specifična za određeno biljno tkivo (Pickering i sur., 2000).

Biljke apsorbiraju Se iz tla u obliku selenita ili selenata te sintetiziraju selenoaminokiseline iz selenometionina koji predstavlja više od 50% ukupnog Se u npr. žitaricama (Olson i sur., 1976). U kukuruzu i riži SeMet također predstavlja više od 50% ukupnog Se u tim biljkama. Iako biljke apsorbiraju određenu količinu organskog Se iz tla, još nije znanstveno dokazano da je to element koji je esencijalan višim biljkama (Whanger, 2002). Istraživanja su pokazala da se najveće koncentracije selenometionina u biljci nalaze u korijenu i zrnu, dok se niže koncentracije ove aminokiseline nalaze u listovima biljke (Schrauzer, 2003). Zanimljivo je da su brazilski oraščići najbogatiji izvor Se za ljude koji većinu Se također sadrži u obliku SeMet (Vonderheide i sur., 2002).

2.2. Selen za perad

Podaci sakupljeni nekoliko godina unazad ukazuju na to da je primjena organskog Se u prehrani peradi uvelike poboljšala produktivnu i reproduktivnu sposobnost peradi. Pokazalo se da zamjena selenita sa Se-gljivicom (Sel-Plex) utječe na poboljšanje plodnosti i izlijeganja jaja. Razlog tomu je to što se organski Se bolje veže iz hrane za jaja te dalje na embrio u razvoju. To povećava antioksidativnu obranu i pomaže pri većoj otpornosti na oksidativni stres tijekom izlijeganja (Surai, 2006).

Opće je poznato da kokoši pri izlijeganju imaju slabo razvijen imunološki sustav te da se on razvija još 2 tjedna nakon samog izlijeganja, stoga je to najosjetljivije razdoblje za njih, a suplementacija organskim Se pokazala je da Se pruža zaštitu kokošima i do četiri tjedna nakon izlijeganja (Pappas i sur., 2005; Surai i sur., 2006). Iz ovoga proizlazi da im Se pomaže u otpornosti do perioda dok dovoljno dobro ne razviju vlastiti imunološki sustav.

Organski Se ugrađuje se u organski matriks ljuske jajeta i tako direktno utječe na kvalitetu same ljuske i produkciju jaja (Surai i sur., 2006). Druga pogodnost jest da organski Se iz hrane prenesen u jaje stimulira glutathion peroksidazu u žumanjku i bjelanjku jajeta te time smanjuje oksidaciju lipida i proteina i tako održava visoku kvalitetu jaja za vrijeme njihova skladištenja.

U prednosti Se u prehrani ubrajamo i ubrzani razvoj organizma, te smanjenu smrtnost. Najveći razlog tomu su antioksidativna sposobnost Se, aktivacija tiroidnog hormona te poboljšanje imuniteta organizma.

2.3. Selen za svinje

Najveći problem kod novorođenih svinja je njihova slaba antioksidativna obrana. Razlog tomu je što je prijenos Se do posteljice embrija vrlo slab te samim time slaba je i antioksidativna sposobnost obrane. Iz ovoga se zaključuje da bi povećan transfer Se do posteljice povećao antioksidativnu obranu te smanjio rizik razvoja kako za embrio tako i za krmaču (Mahan i sur., 1996).

Važnost dodatka Se u prehrani dokazana je u eksperimentu u kojem je jedna skupina svinja hranjena kukuruzom bez dodatka Se, dok je druga skupina u hrani imala dodatak anorganskog i organskog Se. Kod skupine koja nije imala dodan Se u prehrani, došlo je do naglog pada aktivnosti glutathion peroksidaze u prvih 6 dana, te je nakon toga aktivnost ostala vrlo niska. Nasuprot tome, kod skupine koja je imala dodan Se povećala se koncentracija Se u serumu i narasla je aktivnost glutathion peroksidaze (Mahan, 2000).

Kolostrum, tj. majčino mlijeko vrlo je važno za prehranu novorođene svinje, ali vezanje Se za kolostrum vrlo je slabo ako se kao izvor Se koristi selenit što rezultira slabom hranjivom vrijednosti majčinog mlijeka. S druge strane, kada se Se uzimao u obliku organskog Se (Sel-Plex), vezanje Se za kolostrum znatno se povećalo (Mahan, 2000).

Organski Se, osim boljeg prijenosa do posteljice embrija i boljeg prijenosa do majčinog mlijeka, bolje zadržava status Se u organizmu te omogućuje bolji razvoj embrija i novorođene svinje.

Iz navedenog se može zaključiti da upotrebom anorganskog i organskog Se postoje benefiti u razvoju svinja, ali su pozitivni učinci upotrebom organskog Se veći. Ovo znači da nema potrebe koristiti anorganski Se u suplementaciji jer nema nikakve prednosti u odnosu na organski oblik suplementacije.

2.4. Selen za govedo

Se u prehrani predstavlja specifičnu ulogu kod goveda. U mnogim zemljama količina Se u prehrani ovih životinja nije dovoljna za njihov potpuni rast, razvoj i proizvodnju mlječnih proizvoda. Upotreba anorganskog Se pri suplementaciji goveda pokazala se slabo učinkovitom te je česta pojava da veterinari dodatno, putem injekcija daju Se ovim životinjama, kako bi dobile dovoljnu količinu Se nužnu za rast i razvoj. Problem kod ovih životinja je taj što se većina Se koje životinja unese u sebe reducira u metalni oblik ili u selenid pod utjecajem bakterije koja se nalazi u njihovom želudcu, odnosno rumenu, a koja je karakteristična za preživače (Surai, 2006). Takav Se nedostupan je za razgradnju u daljnjem procesu metabolizma. Ovakav problem riješio se dodavanjem organskog Se kao suplementacije. Dodavanjem Sel-Plex gljivice zabilježen je porast koncentracije Se u plazmi, povećana aktivnost peroksidaze i duplo veća koncentracija Se u kolostrumu (Pehrson i sur., 1999; Harrison i sur., 2005). Unos organskog Se rezultirao je i povećanjem antioksidativne obrane kod novorođenog goveda (Gunter i sur., 2003), a to dovodi i do poboljšanja imunološkog sustava i manje smrtnosti u prvim mjesecima njihova života. Govedo, kao i ostale životinje, može stvarati rezerve Se pretežno u skeletnim mišićima koje služe kao obrana organizma u stresnim situacijama (Ortman i sur., 1997).

3. Selen u animalnoj ishrani

Se kojeg nalazimo u hrani koju jedemo prisutan je kao organski Se i to kao mješavina selenoaminokiselina, pri čemu je SeMet kao esencijalna aminokiselina zastupljena s više od 50% (Schrauzer, 2003, 2006).

Do nedavno, Se se u obliku suplementacije davao peradi, svinjama i govedu u anorganskom obliku selenita ili selenata. Promjena s anorganske na organsku suplementaciju mogla bi biti rješenje za globalni nedostatak selena kod životinja i ljudi. Prva takva organska suplementacija dopuštena je u obliku gljivice obogaćene selenom (Sel-Plex) te su rezultati bili očekivani. Životinje su proizvodile jaja, meso i mliječne proizvode obogaćene Se što je pozitivno utjecalo na konzumaciju dostatnih količina Se u ljudskoj prehrani (Surai, 2006).

3.1. Sadržaj selena u hrani

Sadržaj Se varira u različitim namirnicama što ovisi o količini Se u tlu na određenom geografskom području, kao i o mogućnosti same biljke da iskoristi taj Se iz tla (Dumont i sur., 2006). Ostali faktori poput klimatskih faktora, metoda obrade tla i obrada hrane također utječu na količinu Se u pojedinoj namirnici.

Namirnica	Sadržaj selena ($\mu\text{g/g}$)
brazilski oraščić	0,85–6,86
češnjak	0,5
luk	0,5
losos	0,21–0,27
jaja	0,17
piletina	0,57
mliječni proizvodi	0,01–0,55

Tablica 1. Sadržaj Se u određenim namirnicama.

Visoki sadržaj Se uglavnom dolazi u namirnicama koje su bogate proteinima, tj. najčešće dolazi u kombinaciji sa proteinima. U takvu hranu ubrajamo meso, ribu, orašaste plodove i jaja. U tablici 1. prikazan je prosječan sadržaj Se u određenim namirnicama među kojima se nalaze i neke prethodno spomenute. Voće i povrće sadrže vrlo nizak udio Se zbog niskog sadržaja proteina i visokog udjela vode u sebi. Vrlo visok udio Se nalazi se u brazilskim oraščićima (Slika 1) i gljivama (Fordyce, 2007). Gljive sadrže vrlo visok udio proteina u svojoj suhoj materiji, te stoga frakcije proteina iz gljiva sadrže i visok udio Se (Maseko i sur., 2013). Najčešće proučavana gljiva u vezi sadržaja Se je *Agaricus bisporus* koja se jede kao delikatesa u Europi i SAD-u. Velike koncentracije Se nalaze se i u biljkama roda *Brassica* (brokula, kupus).

Luk i češnjak također su odličan izvor Se, te njihova konzumacija smanjuje rizik od različitih tumorskih oboljenja. Se se u luku i češnjaku nalazi u obliku γ -glutamil-Se-metilselenocisteina ili Se-metilselenocisteina. Navedeni oblici ne akumuliraju se u tkivima i ne izazivaju nikakve poremećaja u organizmu (Navarro-Alarcon i sur., 2008).



Slika 1. Brazilski oraščić

3.2. Preporučene doze selena

Unos Se kod ljudske populacije u različitim državama varira ovisno o koncentraciji Se u samom tlu. Provedena istraživanja ukazuju na to da najmanje Se konzumiraju stanovnici Češke Republike (20 $\mu\text{g}/\text{dan}$) dok stanovnici Venezuele konzumiraju najviše (200-350 $\mu\text{g}/\text{dan}$) (Wasowicz i sur., 2003). Prema Europskoj agenciji za sigurnost hrane (EFSA) dnevni unos Se u europskim državama iznosi 20 $\mu\text{g}/\text{dan}$ -70 $\mu\text{g}/\text{dan}$ (Alfthan i sur., 2015). WHO preporuča dozu od 30-40 $\mu\text{g}/\text{dan}$ za odraslog čovjeka s naglaskom na to da su doze do 400 $\mu\text{g}/\text{dan}$ potpuno sigurne za pojedinca. Gledajući unos ovisno o spolu, muškarcima se preporuča unos od 40-70 $\mu\text{g}/\text{dan}$, a ženama 45 $\mu\text{g}/\text{dan}$ -55 $\mu\text{g}/\text{dan}$ (Pérez-Corona i sur., 2011). U posebnim slučajevima kao što su trudnoća i laktacija, žene bi trebale povećati unos Se na 60-70 $\mu\text{g}/\text{dan}$ (Slencu i sur., 2012).

3.3. Apsorpcija i metabolizam selena

Nedavna istraživanja ukazala su na bolje razumijevanje osnovnih razlika u metabolizmu anorganskog Se (selenit i selenat) te organskog Se (uglavnom SeMet). Istraživanja napravljena na psima pokazala su da se SeMet apsorbira u crijevima te da je njegova apsorpcija dva puta brža od SeCys, te četiri puta brža od apsorpcije selenita (Reasbeck i sur., 1981). Istraživanja su pokazala da je apsorpcija SeMet najbolja (Daniels, 1996). Iako ima veliku ulogu, sama apsorpcija nije ograničavajući faktor biodostupnosti.

Osim apsorpcije postoje još neki faktori koji utječu na biodostupnost i rasprostranjivanje Se u organizmu, a ti faktori su: kemijski oblik selena, njegov status, fiziološki status te vrsta

organizma koja konzumira Se (Thomson, 1998).

Selenit se u organizmu veže za eritrocite u periodu od nekoliko minuta, zatim reducira u selenid uz pomoć glutaciona, transportira se u plazmu, selektivno se veže za albumin i prenosi do jetre (Suzuki i Ogra, 2002).

Suprotno od selenita, selenat direktno odlazi u jetru ili se izlučuje urinom iz tijela. Se se u tijelu skladišti u apolipoproteinima što je dokazano ekstrakcijom proteina iz krvne plazme (Ducros i sur., 2000).

Distribucija i povećanje koncentracije Se u organizmu istraženo je na pokusnim svinjama koje su hranjene različitim koncentracijama SeMet (bazalna potreba, 0,5, 1, 2, 4, 6 i 8 mg Se/kg tjelesne mase). Ovaj pokus pokazao je pozitivnu korelaciju između povećanja unosa Se u organizam i povećanja njegove koncentracije u jetri, bubrezima, mozgu, srcu te mišićima. Povećanjem unosa Se u organizam dolazi i do njegove redistribucije unutar samog organizma (Gu i sur., 1998).

Veliki broj istraživanja provedenih na životinjama i ljudima ukazuju na to da se metabolizam i fiziološka funkcija selenita razlikuje od SeMet i Se koji se nalazi u hrani. Dokazano je da u tijelu postoje dva odvojena metabolička puta za Se (Daniels, 1996). Glavni metabolički put sadrži sve oblike Se izvedene iz anorganskog selenita ili selenata, a uključuje endogeno sintetizirane selenoproteine, ekstreterne metabolite Se te ostale produkte nastale metabolizmom Se. To je aktivni metabolički put koji se koristi za sintezu osnovnih i bitnih selenokomponenti (Daniels, 1996).

Drugi metabolički put sadržava proteine koji se sastoje od SeMet i pridonose aktivnom metabolizmu i putu u sintezi selenoproteina.

SeMet čini sastavni dio metaboličkog puta koji nije pod samim utjecajem metabolizma Se i zbog toga predstavlja skladišni oblik Se u organizmu ljudi i životinja. Za razliku od njega, selenat se razgrađuje u metaboličkom procesu Se (Burk i sur., 2001).

SeMet se u organizmu metabolizira na isti način kao i aminokiselina metionin. Za metionin je poznato da je to esencijalna aminokiselina koju ljudi i životinje ne mogu sami sintetizirati te ju je potrebno unositi putem hrane. Isto vrijedi i za SeMet, koja se također mora unositi iz određene hrane kao što su npr. žitarice. SeMet aktivno se transportira kroz probavu te se akumulira i tkivima jetre i mišićima.

Skeletni mišići glavni su skladišni organ Se te skladište oko 47% od ukupnog Se u ljudskom tijelu dok bubrezi sadrže samo oko 4% od ukupne rezerve. Istraživanja na štakorima pokazala su da je unosom selenita glavni oblik Se u njihovom tijelu bio selenocistein, dok je unosom organskog Se glavni oblik bio SeMet koji predstavlja skladišni oblik Se u tijelu. Ove rezerve

Se mogu se iskoristiti u stresnim situacijama kada je potreba tijela za Se povećana, a unos hrane smanjen. U stresnim situacijama može doći do razgradnje proteina, čime se oslobađa SeMet koji služi kao izvor Se za sintezu novih selenoproteina (glutation, tireodoksin reduktaza). Ovi enzimi onemogućavaju preveliko oslobađanje slobodnih radikala, te također onemogućavaju smanjenje produktivnih i reproduktivnih sposobnosti uzgajanih životinja (Pierce i sur., 1977).

Pri unosu Se za fiziološke potrebe, urin je najvažniji način regulacije i ekskrecije metaboličkih produkata. Istraživanje bioiskoristivosti Se u ljudskom organizmu provedeno je na 12 muškaraca te se njihova dijeta sastojala od 170 g svinjetine dnevno i unosu 106 µg Se/dan. Rezultati su pokazali da je iskoristivost prilično velika, te su muškarci apsorbirali oko 70 µg dnevno, a ostalo je izlučeno putem fekalija ili urina (Bugel, 2004). Također su došli do zaključka da je puno manje Se pronađeno u urinu kada se Se unosio u organskom obliku nego kad se Se unosio u obliku selenita.

Glavni metabolit pronađen u urinu nakon prevelikog unosa Se je selenošćer 1, koji predstavlja 80% izlučenog selena, tj. onog koji se nije iskoristio (Kuehnelt i sur., 2005).

3.4. Nedostatak selena u prehrani

Se je element u tragovima koji je esencijalan za organizam. Nedostatak Se u prehrani dovodi do raznih patoloških poremećaja.

Povećani nedostatak ovoga elementa uočava se kod pacijenata koji boluju od fenilketonurije ili kod pojedinaca koji su izloženi kemoterapiji, te su time vrlo osjetljivi na smanjeni unos Se u svoj organizam. Najveći nedostatak Se kod ljudi i životinja uočen je u područjima čija su tla karakterizirana niskom koncentracijom Se (Mistry i sur., 2012). Primjer područja u kojima je zabilježen najveći nedostatak Se u prehrani ljudi i životinja su Kina i Središnji te Centralni Sibir.

Nedostatak Se u prehrani uzrokuje degeneraciju pojedinih organa i tkiva, a razlog tomu je zapravo smanjena ekspresija selenoproteina u organizmu pri smanjenom unosu Se. Zbog smanjene ekspresije selenoproteina može doći do poremećaja u biološkim procesima za koje su potrebni selenoproteini (Pedrero i sur., 2009). Simptomi kod ljudi i životinja koji najčešće ukazuju na nedostatak Se u prehrani su problemi sa srcem i zglobovima. Ozbiljan nedostatak Se u prehrani može dovesti i do smanjene plodnosti kod muškaraca, raka prostate te povećanog rizika za razvoj neuroloških bolesti (Kryczyk i sur., 2013).

Dvije najčešće bolesti koje se javljaju pri smanjenom unosu Se u organizam su osteoartropatija (Kashin-Beckova bolest) i kardiomiopatija (Keshanova bolest) (Pedrero i sur., 2009). Kashin-Beckova bolest manifestira se kao reumatoidni artritis pri čemu najčešće dolazi

do oštećenja zglobova gležnja, koljena i lakta, te do poremećaja procesa koji su povezani s rastom organizma (Mathieu i sur., 1997) (Slika 2.). Pri nedostatku Se dolazi do rizika od oksidativnog oštećenja hrskavice nakon kojeg dolazi do deformacije koštane strukture (Yao i sur., 2011). Ova bolest najčešće obuhvaća djecu u starosti od 5 – 13 godina, a kombinacija nedostatka Se i joda najveći je preduvjet za razvoj navedene bolesti (Rayman, 2004). Slijedeća bolest je Keshanova bolest koja se manifestira kao kardiomiopatija u ranoj životnoj dobi, tj. najčešće kod mladih žena te kod djece u razdoblju od 2 – 10 godina starosti. Nedostatak Se također se povezuje sa poremećajima kao što su astma i srčana aritmija.



Slika 2. Tijelo pacijenta oboljelog od Keshin-Beckove bolesti

3.5. Prevelik unos selena u prehrani

Različite bolesti kao posljedica prevelikog unosa Se prvi su puta opisane 1930. godine kada je stoka hranjena velikim količinama biljaka roda *Astragalus* pokazala simptome trovanja zbog prevelikog unosa Se kroz prehranu (Khanal i sur., 2010). Najviše ovakvih slučajeva zabilježeno je na područjima gdje je tlo sadržavalo visoke koncentracije Se, tj. koncentracije preko 5 $\mu\text{g/g}$. Različiti oblici Se odlikuju se i sa različitim stupnjem toksičnosti. Za primjer možemo usporediti anorganski Se koji u odnosu na organski Se ima puno viši stupanj toksičnosti (Thiry i sur., 2012).

Prevelik unos Se kroz prehranu očituje se kao kronično trovanje hranom gdje su posljedice povraćanje, mučnina i dijareja (Fordyce, 2005). Akutna izloženost visokim koncentracijama Se vodi do velike iscrpljenosti i slabosti organizma tijekom dana i ponekad do različitih neuroloških problema (Navarro-Alarcon i sur., 2008). Kronična izloženost prekomjernim

količinama Se može dovesti do simptoma selenoze gdje dolazi do gubitka kose, deformacije noktiju, osipa, te smetnji u probavnom sustavu organizma (Li i sur., 2012). Uz sve ovo može doći i do poremećaja endokrinog sustava gdje se uočava otežana sinteza tireoidnog hormona štitne žlijezde i sinteza hormona rasta iz hipofize (Navarro-Alarcon i sur., 2008). Koncentracija iznad 2 µg/g u jetri i serumu označava početke trovanja zbog prevelikog unosa Se (Khanal i sur., 2010). Udisanje različitih oblika Se u visokim koncentracijama također dovodi do trovanja organizma. Najčešće dolazi do udisanja toksičnog hidrogen selenida koji uzrokuje smetnje u dišnom sustavu, upalu plućnih alveola, svrab očiju i može dovesti do bronhitisa (Mistry i sur., 2012).

Zanimljiv primjer trovanja Se putem hrane zabilježen je u Venezueli gdje je stanovništvo konzumiralo kao uobičajenu namirnicu njihove prehrane velike količine *Lecythis ollaria*, vrstu oraščića koja sadržava >5mg/kg Se (Fordyce, 2005). Toksični učinci zbog prevelike koncentracije Se nastaju zbog nastanka slobodnih radikala koji uzrokuju oštećenja DNA molekule. U poveznici s oštećenjem DNA putem slobodnih radikala vrlo je bitno istaknuti da su proteini zaduženi za popravak same DNA također ugroženi, tj. velike koncentracije Se vrše degeneraciju njihove strukture čime se zaustavlja njihova funkcija popravka (Letavayová i sur., 2008). Oštećenje DNA ukazuje na to da je trovanje Se ozbiljan problem.

3.6. Suplementacija selenom u prehrani

S obzirom da količina Se u tlu varira te da njegova iskoristivost biljkama ovisi o mnogo faktora, došlo je do potrebe obogaćivanja zemlje Se putem gnojiva, tj. posebne suplementacije. Prva suplementacija Se koja je odobrena bila je ona selenitom i selenatom, međutim granice takvog gnojenja danas su dobro poznate zbog rizika od toksičnosti, te zbog interakcije selenita sa ostalim mineralima i vitaminima te nemogućnosti da se skladišti u tijelu (Kim i Mahan, 2003).

Jedno od prvih gnojiva koje sadrži Se u kojem je zastupljen sa 50% u obliku SeMet je Sel-Plex gljivica proizvedena u Americi. Kada u tlu postoji organski Se biljke su u mogućnosti sintetizirati SeMet aminokiselinu.

Posebnost stanica ove gljivice kada se nalaze u tlu je da mogu apsorbirati selenit i selenat iz okolnog medija, te iz njih sintetizirati selenoaminokiseline. Kada se u tlu nalaze komponente Se te odgovarajući uvjeti za rast biljke, stanice gljivice mogu akumulirati u sebi oko 3,000 ppm Se u organskom obliku (Demirci i sur., 1999; Gassner i sur., 1999). Kada u okolnom mediju gljivice dođe do povećanja Se, uočen je rast gljivice, dok je u suprotnom povećanjem natrijeva selenita u okolnom mediju uočeno inhibitorsko djelovanje na rast gljivice (Suhajda i sur.,

2000). SeMet predstavlja najveći udio ukupnog Se u gljivici, a uspoređujući količine SeMet u gljivici i orašastim plodovima razlika je bila vrlo mala.

Osim same koncentracije Se u suplementu koji sadrži Se bitna je i kompozicija organskih i anorganskih komponenti ukupne količine Se. Iako svaka gljivica sadrži SeMet kao dominantni oblik ukupnog Se, sadržaj ukupnog Se se ipak razlikuje od gljivice do gljivice te se to treba uzeti u obzir pri biranju odgovarajućeg suplementa (Liang i sur., 2006). S time je dokazano da kombinacija organskih i anorganskih oblika Se može imati veći učinak od čistog SeMet. Miševi koji su konzumirali takvu kombinaciju imali su veću aktivnost glutacione peroksidaze, a kombinacija je sadržavala selenit i SeMet (Bergman i sur., 1986). Razlog tomu je to što je čisti SeMet prilično nestabilan i lako oksidizira. Kada se promatrala ukupna količina Se u smrznutim uzorcima kamenica te koliko dugo će ona biti stabilna, rezultati su pokazali da će ukupni Se sa svim komponentama biti stabilan najmanje godinu dana. Međutim, kada se izolirao čisti SeMet, njegova stabilnost bila je samo oko 10 dana (Szulc i sur., 2003).

Biodostupnost Se najveća je u gljivicama obogaćenim SeMet te su upravo kao takve najpogodnije za suplementaciju Se (Bogye i sur., 1998). Proučavajući apsorpciju, akumulaciju i ukupnu koncentraciju Se u mlijeku trudnih žena, te žena koje nikad nisu bile trudne, najbolje rezultate imalo je mlijeko u žena koje su kao suplementaciju koristile SeMet obogaćene gljivice, a ne selenitom obogaćene gljivice (Moser-Veillon i sur., 1992). Osim bolje apsorpcije i akumulacije SeMet kao organski Se ima brojne druge prednosti u odnosu na selenit (Tablica 2).

Ovakav oblik suplementacije Se u obliku gljivice obogaćene SeMet (Sel-Plex) uvelike pridonosi kvalitetnijem procesu proizvodnje životinja što rezultira povećanom koncentracijom Se u mesu, mlijeku, jajima i ostalim proizvodima koji potiču od tih životinja (Surai, 2006). Ovakav ishod rezultira time da raste i kvaliteta ljudske prehrane i ljudskog zdravlja. Iako se SeMet predstavlja kao najbolji oblik Se pri suplementaciji, postoje ipak slučajevi u kojima sa suplementacijom selenita imamo veće benefite.

	Organski selen	Selenit
Apsorbicija	Slično kao metionin s aktivnim transportom u crijevima	Sličan drugim mineralima s pasovnim transportom u crijevima
Akumulacija	Stvaranje selen rezervi putem ugradnje SeMer u proteine	Ne stvara rezerve
Toksičnost	3x manje toksičan od selenita	Visoko toksičan
Bioiskoristivost	Veća od selenita kada su ljudi i životinje u pitanju	Niska dostupnost za govedo zbog redukcije mikroba u rumenu želudca
Antioksidativna aktivnost	Posjeduje antioksidativna svojstva i rješava se NO	Potiče stvaranje slobodnih radikala u reakciji s peroksidazom
Utjecaj na dna	Stimulira enzime koji potiču popravak DNA	Šteti dna
Interakcija s drugim elementima	Nutralan, askorbinska kiselina potiče apsorbciju SeMet iz hrane	Visoko reaktivan, reducira se u nedostupan oblik u reakciji s askorbinskom kiselinom
Efekt u stresnim situacijama	Dodatna zaštita zbog rezervi koje stvara	Nema dodatnu zaštitu jer ne stvara rezervu
Stabilnost tijekom skladištenja	Stabilan	Stabilan

Tablica 2. Usporedba organskog selena i selenita.

3.6.1. Selenom obogaćena jaja, meso i mlijeko

Kao što je spomenuto, sadržaj Se u biljnoj hrani ovisi o njegovoj dostupnosti iz tla, te zbog toga sadržaj ovog elementa varira kod ljudi u različitim zemljama. Neki od načina kojima se može povećati unos Se kod ljudi su: direktna suplementacija, gnojidba tla i proizvodnja hrane obogaćena Se.

Proizvodnja hrane obogaćene Se pokazala se kao najboljom metodom, a hrana koja se najčešće obogaćuje Se su jaja, meso i mlijeko. Ovakva hrana proizvodi se u više od 25 zemalja diljem cijelog svijeta. Zanimljivo je da samo jedno jaje obogaćeno Se nadomješta 50% dnevne potrebe za Se u ljudskom organizmu. Najbolji primjer jaja obogaćenih Se, vitaminom E i omega 3-masnim kiselinama su Columbus jaja koja se proizvode u zemljama kao što su Engleska, Španjolska, Francuska, Japan i Nizozemska (Surai, 2006). Obogaćivanje mlijeka i mesa Se još je u razvoju u mnogim zemljama.

Zanimljivo je da se kvaliteta i kompozicija prehrane životinjskog porijekla u današnje doba promijenila na gore zbog korištenja jeftine prehrane pri uzgoju životinja. Meso, mlijeko i jaja neuzgajanih životinja sadrže puno veće koncentracije omega 3-masnih kiselina nego ono od

uzgajanih što je posljedica sve jeftinijih poljoprivrednih metoda. Istraživanja su pokazala da jaja ptica uzetih iz divljine sadržavaju puno veću koncentraciju Se uspoređujući ih sa jajima uzgajanih ptica (Pappas i sur., 2006). Rješenje ovoga problema ponovno je organski Se koji će i kod uzgajanih životinja simulirati prirodne uvijete te će njihovi proizvodi na taj način sadržavati zadovoljavajuće koncentracije Se za ljudsku prehranu.

Proizvodnja organske suplementacije Se kao što je npr. Sel-Plex omogućava odgovarajuću nadopunu Se kod uzgajanih životinja čime se postepeno rješava problem nedostatka ovog elementa u ljudskoj prehrani.

4. Fiziološka važnost selena kod ljudi i životinja

Kao što je spomenuto, Se je mikroelement koji se u organizmu nalazi u tragovima i esencijalan je za život. Sastavni je dio selenoproteina i nekih antioksidativnih enzima kao što su glutation peroksidaza (GPx), tireodoksin reduktaza (TRxR) i jodtironin dejodinaza (IDI) koji štite stanice organizma od negativnog utjecaja slobodnih radikala koji se oslobađaju tijekom reakcija oksidacije.

GPx ima ulogu zaštite lipidne membrane od negativnog utjecaja oksidacije. GPx visoko je učinkovita u organizmu te je jedna od prvih selenoproteina koji su opisani. GPx ima strukturu tetramera sa atomom Se u svakoj podjedinici što joj i omogućuje tako visoku učinkovitost u obrani od oksidacije u organizmu (Jovanović i sur., 2013).

Jodtironin dejodinaza koja katalizira reakciju nastanka (T3) trijodtironina iz (T4) tiroksina ima ključnu ulogu u regulaciji tireoidnih hormona koji su važni za upravljanje rasta i staničnog metabolizma organizma (Rosen i sur., 2009). Nedostatkom Se narušava se funkcija ovih hormona i jasno je da Se uz jod igra veliku ulogu u održavanju stabilnosti termogeneze i metabolizma lipida.

Selenoprotein P uključen je u obranu organizma od slobodnih radikala i aktivno je uključen u pohranu i transport Se u organizmu (Rayman, 2012). Drugi selenoprotein je selenoprotein W koji sprječava preveliku oksidaciju i uključen je u metabolizam mišića (Holben i sur., 1999).

Osim što ima veliku ulogu u obrani od oksidacijskih reakcija, Se ima ulogu i u imunološkom sustavu. Potiče stvaranje antitijela (IgC, IgM) i povećava aktivnost limfocita T i makrofaga u organizmu (Drutel i sur., 2013). U vezi sa imunološkim sustavom bitno je naglasiti sinergistički učinak vitamina E i Se koji u kombinaciji usporavaju procese starenja i dovode do brže stanične regeneracije.

Nadalje, Se ima antivirusna i antibakterijska svojstva te djeluje učinkovito kod pacijenata

koji imaju infekcije uzrokovane hepatitisom A, E, B i C.

Kako bi svi ovi pozitivni učinci Se bili mogući, veliku važnost treba usmjeriti na probavni sustav, odnosno na apsorpciju Se u probavnom sustavu. Tijekom probave apsorbirat će se od 85%-95% Se unesenog iz hrane, a koliko će se zapravo Se apsorbirati i kolika će njegova dostupnost u organizmu biti ovisi o obliku u kojem će doći. Organski Se bolje se apsorbira u organizmu (95%) dok anorganski Se ima apsorpciju manju u prosjeku za 10%. Odmah nakon ulaska u krvotok Se se veže za eritrocite, albumine i globuline. U ovakvom vezanom obliku prenosi se do raznih tkiva. Najveće koncentracije Se u odnosu na druge dijelove tijela nalazimo u jetri, gušterači, hipofizi, testisima i akumuliranog u kosi i noktima. Ipak, najveća količina Se u tijelu (50% od ukupne količine) pohranjena je u skeletnim mišićima.

Iz navedenog proizlazi to da Se ima vrlo važnu ulogu u upravljanju mnogih životnih funkcija, a to mu na molekularnoj razini uvelike omogućuje i njegova mogućnost da upravlja transkripcijskim faktorima i sustavom stanične signalizacije.

5. Zaključak

Selen je esencijalan mikroelement u tragovima koji je nužno potreban za funkcioniranje ljudskog i životinjskog organizma. On je jedan od rijetkih elemenata koji ima vrlo usku granicu između normalne doze unosa do toksične doze. Sadržaj Se prilično je nizak u većini namirnica, a predstavlja element koji je nužan za organizam, stoga ga je potrebno unositi i putem suplementacije. Iskoristivost ovoga elementa razlikuje se u različitim suplementima, tj. ovisi o tome u kojemu obliku dolazi. Kao što je objašnjeno, organski Se bolje se apsorbira u organizmu od anorganskog. Moje mišljenje je da istraživanjem udjela Se u pojedinim namirnicama, njegovih svojstava koji utječu protiv razvoja tumorskih oboljenja, te mehanizama putem kojim se to odvija, možemo smanjiti rizik od navedenih oboljenja, te autoimunih bolesti. Smatram da bi se daljnja istraživanja vezana za Se trebala usmjeriti na detaljnije pronalaženje i objašnjavanje antioksidativnih svojstava Se koji utječu na prevenciju razvoja tumorskih oboljenja kod ljudi.

6. Literatura

- Alfthan, G., Eurola, M., Ekholm, P., Venäläinen, E.R., Root, T., Korkalainen, K., Hartikainen, H., Salminen, P., Hietaniemi, V., Aspila, P., Aro, A., 2015. From deficiency to optimal selenium status of the population. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 31, 142–147.
- Bergman, K., P. Slanina., 1986. Effects of dietary selenium compounds on benzo (a)-pyrene-induced forestomach tumours and whole-blood glutathione peroxidase activities in C3H mice. *Anticancer Research*. 6, 785-790.
- Bogye, G., G. Alfthan, T. Machay. 1998. Bioavailability of enteral yeast-selenium in preterm infants. *Biological Trace Element Research*. 65, 143-151.
- Bugel, S., B. Sandstrom, L. H. Skibsted. 2004. Pork meat: a good source of selenium? *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 17, 307-311.
- Burk, R. F., K. E. Hill, A. K. Motley., 2001. Plasma selenium in specific and non-specific forms. *Biofactors*. 14, 107-114.
- Combs, G. F. Jr., S. B. Combs., 1986. *The Role of Selenium in Nutrition*. Academic Press, New York.
- Daniels, L. A., 1996. Selenium metabolism and bioavailability. *Biological Trace Element Research*. 54, 185-199.
- Demirci, A., A. L. Pometto, D. J. Cox., 1999. Enhanced organically bound selenium yeast production by fed-batch fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47, 2496-2500.
- Drutel, A., Archambeaud, F., Caron, P., 2013. More good news for clinicians. *Clinical Endocrinology*. 2013, 78, 155–164.

Ducros, V., F. Laporte, N. Belin, A. David, A. Favier., 2000. Selenium determination in human plasma lipoprotein fractions by mass spectrometry analysis. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 81, 105-109.

Dumont, E., Vanhaecke, F., Cornelis, R., 2006. A critical review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 385, 1304–1323.

Fordyce, F.M. 2005. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In *Essentials of Medical Geology*. pp. 373–416.

Fordyce, F., 2007. Selenium geochemistry and health. *A Journal of the Human Environment*. 36, 94–97.

Gassner, N. C., W. A. Baase, A. C. Hausrath, B. W. Matthews., 1999. Substitution with selenomethionine can enhance the stability of methionine-rich proteins. *Journal of Molecular Biology*. 294, 17-20.

Goh, K. H., T. T. Lim., 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.

Gu, Q. P., Y. M. Xia, P. C. Ha, J. A. Butler, P. D. Whanger. 1998. Distribution of selenium between plasma fractions in guinea pigs and humans with various intakes of dietary selenium. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 12, 8-15

Gunter, S. A., P. A. Beck, J. K. Phillips., 2003. Effects of supplementary selenium source on the performance and blood measurements in beef cows and their calves. *Journal of Animal Science*. 81, 856-864.

Harrison, G. A., J. M. Tricarico, B. Lawrence., 2005. Effect of Sel-Plex™ supplementation during the dry period on whole blood and colostrum selenium in dairy cows in a commercial dairy herd in the Southeastern US. Proceedings of the 21th Annual Symposium on Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries, Lexington, Kentucky (Suppl. 1) .

Haygarth, P. M., A. F. Harrison, K. C. Jones., 1995. Plant selenium from soil and the atmosphere. *Journal of Environmental Quality*. 24, 768-771.

Holben, D.H., Smith, A.M., 1999. A review. *Journal of the American Dietetic Association*. 99, 836–843.

Jovanović, I.B., Veličković, M., Vuković, D., Milanović, S., Valčić, O., Gvozdić, D., 2013. Effects of different amounts of supplemental selenium and vitamin E on the incidence of retained placenta, selenium, malondialdehyde, and thyronines status in cows treated with prostaglandin F2 α for the induction of parturition. *Journal of Veterinary Medicine*. 1–6.

Khanal, D.R., Knight, A.P., 2010. Its role in livestock health and productivity. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 11, 101–106.

Kieliszek, M., Blazejak, S., 2013. Significance, and outlook for supplementation. *Nutrition*. 29, 713–718.

Kim, Y. Y., D. C. Mahan., 2003. Biological aspects of selenium in farm animals. *Asian-Aust. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 16, 435-444.

Kryczyk, J., Zagrodzki, P., 2013. Selen w chorobie Gravesa-Basedowa. *Postepy Higieny I Medycyny Doswiadczalnej*. 67, 491–498.

Kuehnelt, D., N. Kienzl, P. Traar, N. H. Le, K. A. Francesconi, T. Ochi., 2005. A quantitative case study by HPLC/ICPMS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 383, 235-246.

Letavayová, L., Vlasáková, D., Spallholz, J.E., Brozmanová, J., Chovanec, M., 2008. Toxicity and mutagenicity of selenium compounds in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutation Research*. 638, 1–10.

Li, S., Xiao, T., Zheng, B., 2012. Medical geology of arsenic, selenium and thallium in China. *Science of the Total Environment*. 421–422, 31–40.

Liang, L., S. Mo, P. Zhang, Y. Ca, S. Mou, G. Jiang, M. Wen. 2006. Selenium speciation by high-performance anionexchange chromatography-post-column UV irradiation coupled with atomic fluorescence spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 1118, 139-143.

Mahan, D. C., Y. Y. Kim., 1996. Effect of inorganic or organic selenium at two dietary levels on reproductive performance and tissue selenium concentrations in first-parity gilts and their progeny. *Journal of Animal Science*. 74, 2711-2718.

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.

Maseko, T., Callahan, D.L., Dunshea, F.R.; Doronila, A., Kolev, S., Ng, K., 2013. Chemical characterization and speciation of organic selenium in cultivated selenium-enriched *Agaricus bisporus*. *Food Chemistry*. 141, 3681–3687.

Mathieu, F., Begaux, F., Lan, ZY., Suetents, C., Hinsenkamp M. 1997. *International Orthopaedics*. 21, 151–156.

Mistry, H.D., Pipkin, F.B., Redman, C.W., Poston, L., 2012. Selenium in reproductive health. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*. 206, 21–30.

Moser-Veillon, P. B., A. R. Mangels, K. Y. Patterson, C. Veillon., 1992. An example of speciation in nutrition. *Analyst*. 117, 559-562.

Navarro-Alarcon, M., Cabrera-Vique, C., 2008. A review. *Science of the Total Environment*. 400, 115–141.

Olson, O. E., I. S. Palmer., 1976. Selenoamino acids in tissues of rats administered inorganic selenium. *Metabolism*. 25, 299306.

- Ortman, K., B. Pehrson. 1997. Selenite and selenium yeast as feed supplements for dairy cows. *Journal of Veterinary Medicine*. 44, 373-380.
- Pappas, A. C., F. Karadas, P. F. Surai, B. K. Speake., 2005. The selenium intake of the female chicken exerts a continuing influence on the selenium status of her progeny. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 142B, 465-474.
- Pappas, A. C., F. Karadas, P. F. Surai, N. Wood, P. Cassey and B. K. Speake. 2006. Interspecies variation in yolk selenium concentrations among eggs of free-living birds. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 20, 155-160
- Pedrero, Z., Madrid, Y., 2009. A review. *Analytica Chimica Acta*. 634, 135–152.
- Pehrson, B., K. Ortman, N. Madjid, U. Trafikowska., 1999. The influence of dietary selenium as selenium yeast or sodium selenite on the concentration of selenium in the milk of suckler cows and on the selenium status of their calves. *Journal of Animal Science*. 77, 3371-3376.
- Pérez-Corona, M.T., Sánchez-Martínez, M., Valderrama, M., Rodríguez, M.E., Cámara, C., Madrid, Y., 2011. Laboratory-scale experiments. *Food Chemistry*. 124, 1050–1055.
- Pickering, I. J., R. C. Prince, D. E. Salt, G. N. George., 2000. Quantitative, chemically specific imaging of selenium transformation in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 97, 10717-10722.
- Pierce, S., A. L. Tappel., 1977. Effects of selenite and selenomethionine on glutathione peroxidase in the rat. *Journal of Nutrition*. 107, 475-479.
- Rayman, M.P. 2012. Selenium and human health. *Lancet*. 379, 1256–1268.
- Rayman, M.P., 2004. How does it measure up? *British Journal of Nutrition*. 92, 557–573.
- Reasbeck, P. G., G. O. Barbezat, M. F. Robinson, C. D. Thompson., 1981. *Proceedings New Zealand Workshop on Trace Elements*, p. 107. University Otago, Dunedin, NZ.

- Rosen, B.R., Liu, Z.J., 2009. A minireview. *Environment International*. 35, 512–515.
- Schrauzer, G. N. 2006. Selenium yeast: composition, quality, analysis and safety. *Pure and Applied Chemistry*. 78, 105-109.
- Schrauzer, G. N., 2003. The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. *Advances in Food and Nutrition Research*. 47, 73-112.
- Slencu, B.G., Ciobanu, C., Cuciureanu, R., 2012. Selenium content in foodstuffs and its nutritional requirement for humans. *Clujul Medical*. 85, 139–145.
- Sors, T. G., D. R. Ellis, D. E. Salt. 2005. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis Research*. 86, 373-389.
- Suhajda, A., J. Hegoczki, B. Janzso, I. Pais, G. Vereczkey., 2000. Preparation of selenium yeasts I. Preparation of seleniumenriched *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 14, 43-47.
- Surai, P. F., 2006. *Selenium in Nutrition and Health*. Nottingham University Press, Nottingham.
- Surai, P. F., F. Karadas, A. C. Pappas, N. H. Sparks., 2006. Effect of organic selenium in quail diet on its accumulation in tissues and transfer to the progeny. *British Poultry Science*. 47, 65-72.
- Suzuki, K. T., Y. Ogra., 2002. Speciation by HPLC-ICP MS with enriched Se. *Food Additives and Contaminants*. 19, 974-983.
- Szulc, B., F. Ryszka, B. Dolinska., 2003. The kinetic study of the selenium yeast stability. *Bollettino Chimico Farmaceutico*. 142, 66-68.
- Tan, J., W. Zhu, W. Wang, R. Li, S. Hou, D. Wang, L. Yang., 2002. Selenium in soil and endemic diseases in China. *Science of the Total Environment*. 284, 227-235.

Terry, N., A. M. Zayed, M. P. De Souza, A. S. Tarun., 2000. Selenium in higher plants. *Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 51, 401-432.

Thiry, C., Ruttens, A., De Temmerman, L., Schneider, Y., Pussemier, L., 2012. Current knowledge in species-related bioavailability of selenium in food. *Food Chemistry*. 130, 767–784.

Thomson, C. D., 1998. Selenium speciation in human body fluids. *Analyst*. 123, 827-831.

Van Metre, D. C., R. J. Callan., 2001. Selenium and vitamin E. *Food Animal Practice*. 17, 373-402.

Vonderheide, A. P., K. Wrobel, S. S. Kannamkumarath, C. B'Hymer, M. Montes-Bayon, C. Ponce De Leon, J. A. Caruso., 2002. Characterization of selenium species in Brazil nuts by HPLC-ICP-MS and ES-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 5722-5728.

Wasowicz, W., Gromadzinska, J., Rydzynski, K., Tomczak, J., 2003. Polish experience. *Toxicology Letters*. 137, 95–101.

Whanger, P. D., 2002. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *The Journal of the American College of Nutrition*. 21, 223-232.

Yao, Y., Pei, F., Kang, P., 2011. Selenium, iodine, and the relation with Kashin-Beck disease. *Nutrition*. 27, 1095–1100.

