

Učinkovit način dodajanja selena v vsakdanjo prehrano s poudarkom na rastlinskih virih

Vida ŠKRABANJA¹

Received December 11, 2016; accepted December 19, 2016.

Delo je prispelo 11. decembra 2016, sprejeto 19. decembra 2016.

IZVLEČEK

Selen je eden izmed esencialnih elementov, potrebnih za človekovo zdravje. Razmere v okolju in kmetijska praksa imajo velik vpliv na vsebnost selena v rastlinah. Gojenje rastlin, obogatenih s selenom, je učinkovit način dodajanja selena v vsakdanjo prehrano tistih, ki tega esencialnega elementa ne prejmejo v zadostnih količinah. Biorazpoložljivost selena je v korelaciji z izvorom in s kemijsko obliko, v kateri je ta prisoten v živilu. S prehranskega vidika so s selenom obogatena živila potencialni dodatni vir selena, ki se vnaša v organizem preko prehranske verige in se s kompleksnimi pretvorbami na molekularni ravni pretvarja iz anorganskih v bolj razpoložljive organske oblike. V članku so zbrani rezultati sistematičnega raziskovanja vsebnosti selena v posameznih rastlinskih vrstah in različnih načinov dodajanja selena za dosego večje koncentracije tega v pridelku. V Sloveniji so tla s selenom revna in je možnost pomanjkanja selena v prehrani nekaterih skupin prebivalstva velika. Zato je v članku večji poudarek namenjen pregledu objavljenih del domačih strokovnjakov, ki so vsebnost selena spremljali ob simulaciji sprememb okoljskih dejavnikov, kar je dodatno vplivalo na fiziološke lastnosti in pridelek rastlin. Upoštevana je pozitivna vloga selena v presnovi človeka ter njegov vpliv na zdravje. Omenjeni so tudi negativni vplivi zaradi pomanjkanja ali presežka selena v hrani, ki opozarjajo na to, da je treba priporočila v zvezi z vnosom selena v naš organizem temeljito spremljati in preiščeno prilagajati referenčne vrednosti.

Ključne besede: selen; rastlinski viri; prehranski vnos; dodatek selena

ABSTRACT

PLANT RESOURCES BASED SELENIUM SUPPLEMENTATION IN DAILY NUTRITION

Selenium is one of the essential elements that has a direct effect on human health and disease. Environmental conditions and agricultural practice have a profound influence on the selenium content in plants. Cultivation of plants enriched with the selenium has an effective potential for selenium supplementation in diets for population which is exposed to selenium deficiency. Bioavailability of selenium compounds from food is in strong correlation with the source and its chemical form. The selenium of different sources and forms can become a part of human consumption when entering the food chain, wherein the inorganic forms of selenium are metabolized and converted to more available organic forms. Numerous results of systematic research of the selenium content in individual plant species as well as various techniques for producing selenium enriched foodstuffs is reviewed. The soil in Slovenia is selenium-poor and may concern a part of population which is potentially sensitive to selenium status. The merits of selenium effect, either alone or in combination with different environmental changes on plant production published by Slovenian authors are thus closely considered. Controversies continue to prevail regarding adequate amounts for selenium for health and disease prevention. Thus, general and individualized recommendations for selenium intake and supplementation in the future need to be cautiously followed and the reference values continually revised.

Key words: selenium; plant resources; dietary intake; selenium supplementation

1 UVOD

Za prvega, ki je l. 1817 izoliral in kemijsko opisal selen, znanost priznava švedskega kemika Jönsa Jakoba Berzeliusa, čeprav obstajajo viri, da je ta kemijski element kot rdeče žveplo, ostanek v peči

po uparitvi žvepla, opisal že Arnold de Villanova v 13. stol. (Reilly, 2006).

Selen je eden izmed približno 60 esencialnih hranil, potrebnih za človekovo zdravje (Hatfield s

¹ doc.dr.; Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana; e-mail: vida.skrabanja@guest.arnes.si

sod., 2012). V 200 letih od njegova odkritja so strokovnjaki temeljito proučevali njegovo vlogo z biokemijskega, molekulskega in genetskega zornega kota. Številne študije obravnavajo vpliv pomanjkanja ali presežka selena v prehrani na živalskih modelih ali s kliničnimi študijami pri ljudeh. Primerna preskrbljenost s selenom je nujno potrebna za človekovo zdravje, predvsem zaradi njegovih antioksidativnih lastnosti in prisotnosti v selen vsebujočih beljakovinah (selenobeljakovinah). S stališča presnove selena in vpliva selena na zdravje v zadnjem času raziskovalci opozarjajo tudi na razlike med moškim in ženskim spolom.

2 SELEN V OKOLJU

V kemijskih lastnostih je selen podoben žveplu (Reilly, 2006). V okolju se nahaja v anorganski obliki (elementarni selen: Se, selenid: Se^- , selenit(IV): SeO_3^{2-} , selenat(VI): SeO_4^{2-}) in v organski obliki: predvsem kot metilirane selenove spojine, seleno-aminokisliline in selenobeljakovine v bioloških sistemih (Pyrzyńska, 2002; Uden s sod., 2004). Frost (1972) opisuje dinamično ravnotežje in pretvarjanje med anorganskimi in organskimi oblikami selena.

Anorganski selen je v zemeljski skorji geografsko zelo neenakomerno razporejen in je v koncentracijah od skoraj nič do 1250 mg/kg (Hatfield s sod., 2016). Z izjemo območij, kjer sežigajo fosilna goriva, kjer je postavljena steklarska industrija ali obsežna proizvodnja kemikalij in elektronike, je vnos selena in s tem vpliv na človekovo zdravje preko inhalacijskih poti neznaten (Wang in Gao, 2001).

Povprečna koncentracija selena v zemlji je mnogo večja na območjih s sedimentnimi kamninami v primerjavi s tistimi z vulkansko podlago. Področja, kjer je koncentracija selena v tleh zelo velika, so v delih Wyominga, Severne in Južne Dakote v Ameriki, v nekaterih predelih Kitajske, Rusije, Irske, Kolumbije in Venezuele. Johnson s sod. (2010) poroča o koncentraciji preko 600 mg v kilogramu črnega skrilavca. Določene rastline lahko iz s selenom zelo bogate podlage akumulirajo tudi do 3 mg tega elementa na gram rastline. Take rastline so potencialno toksične za pašno živino (Combs, 2001).

Identifikacija in koncentracija določene kemijske oblike, v kateri je selen prisoten, sta ključni za opis molekularnih mehanizmov biološke aktivnosti tega elementa in opis specifičnih presnovnih procesov v celicah in tkivih. Omenjeni procesi so predmet medicinskih, fizioloških in prehranskih raziskav predvsem z vidika:

- vpliva selena na zdravje in razvoj bolezni,
- presnove in aktivnosti terapevtskih molekul in nanodelcev, ki vsebujejo selen,
- živil in krmil, obogatenih s selenom in/ali pridobljenih z biotehnološkimi postopki,
- biološke uporabnosti zaužitega selena.

Dodajanje natrijevega selenita umetnim gnojilom ali živalski krmi je običajna praksa v državah, kjer so tla revna s selenom (Wang s sod., 1998; Watkinson, 1983). To velja predvsem za severozahodni Oregon, Finsko, Novo Zelandijo, centralno Srbijo in velik del afriške celine (Ngo s sod., 1997). Pirc in Šajn (1997) navajata vsebnosti selena v tleh v Sloveniji. Po njunih podatkih le-ta znaša od manj kot 0,1 do 0,7 mg/kg, kar pomeni, da so tudi v Sloveniji tla revna s selenom.

V isti državi, tak primer je npr. Kitajska ali Avstralija, pa se lahko koncentracije selena v tleh tudi regionalno zelo razlikujejo.

Pitna voda z običajnimi količinami selena le malo doprinese k dnevni vnosu (Deveau, 2010). Največjo biorazpoložljivost pripisujejo predvsem vodotopnemu anorganskemu selenatu in selenitnim ionom. Vrednosti selena v pitni vodi variirajo od 0,12 do 0,44 $\mu\text{g/l}$ (Cutter, 1989). Izjeme so zabeležili v ruralnem okolju jugovzhodnega Kolorada zaradi izrazite suše leta 1975 kot tudi v vodnih izviroh osrednje-zahodnega dela Združenih držav Amerike, pri čemer so bile vrednosti med 50 in 300 $\mu\text{g/l}$ (Hatfield s sod., 2012). Tudi Vincenti s sod. (2010) navaja, da so v severni Italiji leta 1990 določili neobičajno velike količine selena v vodovodni vodi. V podtalnici ali površinski vodi so količine selena lahko zelo variabilne – geografsko pogojene, in sicer od 0,06 do 400 $\mu\text{g/l}$, v nekaterih primerih celo do 6000 $\mu\text{g/l}$ (Hatfield s sod., 2016). Ameriška regulativa oz. zvezni standardi v pitni

vodi dopuščajo koncentracijo do 50 µg/l (Hatfield s sod., 2012; Hatfield s sod., 2016), ki je v primerjavi z Nemčijo (in drugimi evropskimi državami), kjer je zgornja meja v ustekleničeni vodi ali vodovodni vodi le do 10 µg/l, bistveno večja (Hatfield s sod., 2016). Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je za selen v pitni vodi določila priporočeno vrednost 10 µg/l, ki je izračunana na 10 % delež vnosa z vodo (NIJZ, 2014). V slovenskem Pravilniku o pitni vodi je selen uvrščen v Prilogo I, del B, kjer je določena mejna vrednost v pitni vodi 10 µg/l (UL RS, 2004). Koncentracije v pitni vodi so različne in so

geografsko pogojene; koncentracije so večje pri nizkem ali visokem pH zaradi večje topnosti v takem okolju (NIJZ, 2014).

V morski vodi zasledimo selen le v manjših količinah (od 0,09 do 0,11 µg/l). Živa bitja, vključno s prokariotskimi celicami, z algami, morskovo travo, nevretenčarji in vretenčarji, so sposobna ta mineral akumulirati. Tako so ti organizmi vir selena za človeka, ki ga človek vnese v telo preko prehranske verige (Hatfield s sod., 2012).

3 POTREBE PO SELENU IN POSLEDICE ODPSTAPANJ OD PRIPOROČENIH VREDNOSTI DNEVNEGA VNOSA

Selen je esencialni element za mnogo živalskih vrst, tudi za človeka. Aktivnost je odvisna od kemijske oblike. Z vgradnjo v različne beljakovine vpliva na rast in razvoj organizma ter je vključen v zaščito tkiv pred oksidativnimi procesi in zaščito pred okužbami. Premalo zaužitega selena (manj kot 13 do 19 µg/dan) pri človeku sproži resne posledice in vodi v motnje in bolezni, kot so vrtoglavica, slabost, izguba apetita, srčno popuščanje, srčne aritmije in povečanje srca. Bolezen, ki prizadene predvsem otroke in nosečnice, so poimenovali Keshanova bolezen. Druga poznana bolezen, ki je povezana s premajhnim dnevnim vnosom selena, je Kashin Beckova bolezen. To je bolezen povečanih sklepov oziroma vrsta revmatoidnega stanja-osteoartritisa. Posledice bolezni so šibkost udov, okornost, otekanje in bolečine v prstnih členkih, povečanje sklepov in atrofija nekaterih progastih mišic. Drugi znaki pomanjkanja selena pri ljudeh so poškodbe srčne mišice, trebušne slinavke, mišična distrofija, izguba lasnega in kožnega pigmenta (Reilly, 2006; Hatfield s sod., 2012; Hatfield s sod., 2016).

Čeprav je v mikro količinah nujno potreben, lahko v velikih koncentracijah škoduje zdravju ljudi. Dolgotrajna izpostavljenost velikim koncentracijam pri ljudeh (nad 1000 µg/dan) ima genotoksične in kancerogene učinke, pri več kot 3200 µg/dan pa povzroča selenozo (Reilly, 2006). Toksičnost se v hujših oblikah odraža v nenormalnem delovanju živčnega sistema in žlez z notranjim izločanjem (predvsem jetra), v moteni sintezi ščitničnih in rastnih hormonov kot tudi v

porušeni presnovi inzulinu podobnega rastnega faktorja (Reilly, 2006).

Potrebe po selenu so različno določene, vendar precej podobne, v Nemčiji je npr. ocenjen ustrezní vnos med 30-70 µg/dan. V Evropi je ocenjen dejanski vnos med 30 – 90 µg/dan. Po Evropski agenciji za varnost hrane (EFSA; European Food Safety Authority) je dopusten dnevni vnos preko živil za selen za odrasle 300 µg, za mlajše sorazmerno manj, odvisno od telesne teže (NIJZ, 2014).

V Sloveniji je podatke o dnevnem vnosu selena v domovih starejših občanov zbiral Pokorn in sod. (1991). Ob energijski vrednosti celodnevnih obrokov 8,12 MJ so preiskovanci zaužili 40 µg selena oz. 30 µg na dan, če je bila energijska vrednost obrokov manjša (7 MJ).

Smrkolj in sod. (2005a) so analizirale 20 dnevnih vojaških obrokov in ugotovile, da je povprečni vnos selena 87 µg (od 34 do 163 µg/dan) ob povprečni energijski vrednosti obroka 15,8 MJ.

Ameriški Zvezni urad za hrano in zdravila (FDA) je v okviru projekta Total Diet Study v letih od 1973 do 2010 redno spremljal podatke o koncentraciji selena glede na potrošniško košarico. Merjenje vsebnosti različnih analitov v istem živilu je na ta način omogočalo vpogled v morebitne interakcije selena z ostalimi hranili ali s toksičnimi snovmi (Hoffman-Pennesi s sod., 2015). Ugotovitve kažejo na smiselnost nadaljevanja

meritev koncentracij selena in ponoven pregled referenčnih oz. priporočenih vrednosti njegovega dnevnega vnosa. Kriterij za določitev optimalne preskrbljenosti s selenom je zasičenost oz.

koncentracija selenoproteina P v plazmi. Na osnovi več študij so privzete vrednosti po različnih regijah glede na starost in spol zbrane v preglednici 1.

Preglednica 1: Priporočen dnevni vnos (PDV), največji dopusten vnos (NDV) in primeren vnos (PV) selena v µg/dan (Kipp s sod., 2015; Hatfield s sod., 2016).

Table 1: Recommended dietary allowance (PDV), tolerable upper intake (NDV) and adequate intake (PV) levels of selenium in µg/day (Kipp et al., 2015; Hatfield s sod., 2016).

Starost	Nemčija, Avstrija, Švica		Severna Evropa		Nova Zelandija, Avstralija		ZDA		Združeno kraljestvo		
	PDV	NDV	PDV	NDV	PDV	NDV	PDV	NDV	PDV	NDV	
Dojenčki (starost v mesecih)	0-3	10	-			45	15	45	10		
	4-6	15					15		13		
	~7-12	15	15				20	60	10		
Otroci (starost v letih)	1-2	15	20		25	90	20	90	15		
	2-4	15	25		25	90	20	90	15		
	~4-8	20	30		30	150	30	150	20		
	~8-10	30	30		50	280	40	280	30		
	~10-13	43	40		50	280	40	280	45		
	~13-15	60	60		70	400	55	400	45		
Moški	15-18	70			70	400	55	400	70		
	18-70	70	400	60	300	70	400	55	400	75	450
	70+	70	400	60	300	70	400	55	400	75	450
Ženske	15-18	60		50		60		55		60	
	19-70	60	400	50	300	60	400	55	400	60	450
	70+	60	400	50	300	60	400	55	400	60	450
Nosečnost		60		60		65	400	60	400		
Doječe matere		75		60		75	400	70	400	75	

4 PREHRANSKI VIRI SELENA

4.1 Hrana rastlinskega izvora

Hrana je primarni vir, s katerim človek v svoje telo vnaša selen. Največ selena zaužijemo z žiti, mesom in ribami (Combs, 2001). Žita in žitni izdelki na Kitajskem, kjer so tla revna s selenom, prispevajo kar 70 % vsega selena v prehrani človeka. V Indiji je ta delež 40-50 %, v Združenem kraljestvu pa 18-24 % (Tamás s sod., 2010). Golubkina in Alftan (1999) sta z raziskavo v 27 pokrajinah Rusije ugotovila visoko statistično značilno korelacijo med selenom v serumu preiskovancev in vsebnostjo selena v pšenični moki, iz česar sklepata, da je pšenica pomemben vir selena med rusko populacijo.

Absolutne vrednosti koncentracij selena v pšenici so zelo variabilne. Wolf in Goldschmidt (2007) sta raziskovala vsebnost selena v vzorcih pšenic. Ugotovila sta, da je prevladujoča oblika selena v pšenici selenometionin (okrog 55 %), v znatnih količinah (do 20 %) pa je tudi selenocisteina in selenita/selenata. Pomemben zaključek iz analiz je, da je skupna vrednost selena zaradi geografskih razlik ali načina gnojenja variirala kar za faktor 500, delež selenometionina pa je v vseh primerih ostajal konstanten, t.j. okrog 55 % glede na skupno vrednost selena. Avtorja nakazujeta, da so v rastlinah mehanizmi, ki regulirajo tip in količino določene kemijske oblike selena.

Biološka uporabnost ali biorazpoložljivost pove, kolikšen delež hranila pride v krvni obtok. Biorazpoložljivost selena je v korelaciji z izvorom in s kemijsko obliko, v kateri je ta prisoten v živilu (Finley, 2006; Reeves s sod., 2005). Razmere v okolju in kmetijska praksa imajo velik vpliv na vsebnost selena v mnogih rastlinah. Gojenje rastlin, obogatenih s selenom, je učinkovit način dodajanja selena v vsakdanjo prehrano tistih, ki tega esencialnega elementa ne prejmejo v zadostnih količinah.

Botanično ajda ni žito, vendar je po nekaterih lastnostih le-temu podobna. Notranjost trirobeta ploda je podobna žitnemu meljaku. Iz nje pridelujemo kašo, zdrob, moko in kosmiče (Kreft, 1995). Pregled elementov v sledovih (Se, Zn, Fe, Co, Ni, Rb, Sb, Ag, Hg, Cr, Sn) in njihovo razporeditev v rastlinah in mlevskih frakcijah navadne (*Fagopyrum esculentum* Moench) in tatarske ajde (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) so objavili Bonafaccia in sod. (2003). Številne raziskave o količini selena pri navadni in tatarski ajdi kažejo na sposobnost teh rastlin za nalaganje selena kot tudi njegov vpliv v kombinaciji z nekaterimi drugimi okoljskimi dejavniki na biokemijske procese v rastlini. O povečani vsebnosti selena v rastlinah ajde, zraslih na tleh, ki so bila pognojena z različnimi koncentracijami vodnih raztopin natrijevega selenata, poročajo Golob in sod. (2015). Večji vpliv dodatka selena in možnost vzgoje ajde v smislu varnega funkcionalnega živila se je izkazal pri tatarski ajdi.

Tudi z listnim škropljenjem oz. dodajanjem selena v obliki natrijevega selenata različnih koncentracij v času cvetenja se je koncentracija selena v različnih delih ajde povečala, v največji meri v zrnju (Vogrinčič s sod., 2009; Stibilj s sod., 2004; Golob s sod., 2016c), glede na vrsto pa v tatarski ajdi (Golob s sod., 2015). O večji koncentraciji selena v potomkah rastlin tatarske ajde, ki je bila v prvi generaciji škropljena z natrijevim selenatom, poročajo Golob in sod. (2016a).

Listno škropljenje v času cvetenja ajde v kombinaciji s pomanjkanjem vode, z obsevanjem rastlin z UV-B žarki ali s sočasnim listnim škropljenjem z natrijevim sulfatom, je vplivalo tako na vsebnost selena v rastlinah kot tudi na presnovne procese v rastlinah (Smrkolj s sod., 2006b; Kreft s sod., 2013) in posledično na

biomaso (Breznik s sod., 2005; Tadina s sod., 2007; Golob s sod., 2016b).

Tretji način za obogatitev rastlin ajde s selenom, opisan v literaturi, je z namakanjem semen pred setvijo v različnih koncentracijah natrijevega selenata-Se(VI), natrijevega selenita-Se(IV) in selenometionina-SeMet. Privzem selena je odvisen od kemijske oblike selena in koncentracije v raztopini. Glede na obliko selena si rezultati za privzem selena sledijo v vrstnem redu: Se(VI) > SeMet > Se(IV) (Ožbolt s sod., 2008; Cuderman s sod., 2010).

Vpliv dodanega selena na fiziološke lastnosti, kot so fotokemična učinkovitost fotosistema II in respiratorni potencial, ter pridelek, so Germ in sod. (2014) raziskovali v fižolu, Smrkolj s sod. (2006a) pri grahu, Germ s sod. (2007b) pri radiču, Germ in Osvald (2007) v rukoli, Germ s sod. (2007a) pri krompirju, Stibilj s sod. (2004), Smrkolj s sod. (2005b) ter Germ in sod. (2005) pri bučah. S prehranskega vidika so vsa ta živila potencialni vir selena, ki se vnaša v organizem preko prehranske verige in se s kompleksnimi pretvorbami na molekularnem nivoju pretvarja iz anorganskih v organske oblike.

Enako, kot v že omenjeni študiji Wolfa in Goldschmidta (2007), ki sta pri pšenici ugotovila, da je prevladujoča oblika selena selenometionin, potrjujejo tudi raziskave v različno tretiranih vzorcih ajde (93 % - Smrkolj s sod., 2006b), buč (81 % - Smrkolj s sod., 2005b), ječmena in rži (70-83 % - Stadlober s sod., 2001).

Sadje in zelenjava, pridelana na podlagi z majhno vsebnostjo selena, vsebujeta le neznatne količine selena, npr. paradižnik vsebuje manj kot 0,1 µg/100 g tega elementa, šparglji 2,3 µg/100 g in limski fižol 7,2 µg/100 g. Nekatere rastline so sposobne nalagati selen. Edmonds in Morita (2000) sta pri čebuli, divjem poru, česnu in brokoliju določila kar 50-kratno večjo vsebnost selena v rastlinah, gojenih na podlagi, obogateni s selenom. Fox in sod. (2005) poročajo o velikih koncentracijah selena v česnu, ki je po njihovih analizah znašala kar 1355 µg/100 g.

Različni viri (Hatfield s sod., 2012) navajajo, da lahko prevladujočo obliko selena, ki je selenometionin, zamenja večja koncentracija selen-

metilselenocisteina in γ -glutamil-selenmetilselenocisteina. Več kot 40 % selenmetilselenocisteina zasledimo v brokoliju. Med rastlinskimi viri, ki lahko akumulirajo večje količine selena, so še različne vrste alg, križnice (družina Brassicaceae) in brazilski oreščki. Ti vsebujejo kar 1470-1917 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, pri čemer je večina v obliki selenometionina. Glive, kot so gobe in kvasovke, lahko selen nalagajo v večjih količinah in v več kot 20 različnih seleno-spojnih, anorganskih ali organskih, kot so npr. selenometionin, selen-metilselenocistein, selenocistein in selen-adenozilselenohomocistein (Lobinski s sod., 2000).

4.2 Hrana živalskega izvora in prehranski dodatki

Relativno velik delež selena človek v telo vnese tudi z mesom, mesnimi izdelki in ribami, mlečnimi izdelki ter jajci. Nekaj podatkov o vsebnosti selena v hrani živalskega izvora je v članku omenjenih zgolj zaradi primerjave z njegovo vsebnostjo v rastlinskih virih. Govedina vsebuje približno 20-35 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, piščančje meso 10-24 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, jagnjetina 20-30 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ in svinjina 20-40 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ tkiva. Tkivo drobovine vsebuje bistveno več selena kot tkivo mišic. 100 g ledvic goveda ali prašiča vsebuje kar 100-311 μg selena v 100 g tkiva. Selenometionin je oblika selena, ki v živalskih virih prevladuje, čeprav viri (Hatfield s sod., 2012) poročajo, da se lahko ta prednost zmanjša v korist selenocisteina, kadar so kot dodatek krmi živalim dodajali anorganski obliki selena - selenit in selenat.

Vpliv dodanega selena v krmo na vsebnost selena v mesu so proučevali Smrko in sod. (2003). Krmni obrok je vseboval različne količine selena

(0,4 mg Se/dan oz. 4,4 mg Se/dan). Ob manjšem dodatku selena h krmi so določili od 3,3 do 3,9 μg selena in od 13 do 15 μg selena (v obeh primerih merjeno na 100 g svežega vzorca), ko je bila krma bogatejša s selenom.

Smrko in sod. (2005a) so ugotavljali tudi vsebnost selena v ribah, kjer ga je 15,3-68,6 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, v piščančjem mesu 9,7-15,4 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ in v puranjem mesu 9,9-11,6 $\mu\text{g}/100\text{ g}$.

Jajca v povprečju vsebujejo 26 μg selena v 100 g vzorca. Z dodatkom selena h krmni mešanici za kokoši je možno vsebnost selenometionina in selenocisteina v jajcih močno povečati (Sun in Feng, 2011).

Selen je v različnih oblikah prisoten tudi v izdelkih, ki so označena kot prehranska dopolnila. Eno izmed njih je pripravljeno z rastjo pivskega ali pekovskega kvasa (*Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex E.C. Hansen) v gojišču z dodanim selenom in v razmerah, ki omejujejo privzem žvepla. Izolaciji sledi liofilizacija in stiskanje kvasa v tablete (Power, 1995). Rayman (2004) poroča, da v različnih izdelkih iz kvasa, obogatene s selenom, prevladuje selenometionin (60-84 %). Poleg dopolnil s samim selenom je le-ta pogosto vključen tudi v multivitaminske in multimineralne izdelke. Po oceni dostopnih baz o prehranskih dopolnilih (Zhao in sod., 2009) lahko z dnevnim odmerkom zaužijemo med 10 in 200 μg selena, največkrat v obliki selenometionina. Zgornja vrednost je tako skoraj štirikrat večja od priporočenega dnevnega vnosa za odraslega človeka in obenem predstavlja polovico največjega dopustnega vnosa glede na Preglednico 1.

5 ZAKLJUČEK

Za veliko snovi velja, da so v prehrani v manjših količinah nujne, v večjih pa škodljive. Za element selen je ta lastnost še posebej značilna. Ime, ki ga je element dobil po grški boginji meseca Seleni, je zanj v tem smislu zelo prikladno, saj tako kot luna kaže svojo svetlo in temno stran. Rezultati številnih raziskav potrjujejo, da je selen esencialni element v sledovih, ki je navzoč praktično povsod v okolju, vendar v različnih količinah glede na

geografsko območje. Znanstvene objave, vključene tudi v tem pregledu, kažejo na velik napredek v znanju in razumevanju biološke vloge selena in njegove pomembnosti v prehrani človeka. Selen vstopa v prehransko verigo iz zemlje, posledično vpliva na rast rastlin ter s tem tudi na kakovost rastlinskih in živalskih izdelkov. Obstaja vrsta načinov, kako na učinkovit način obogatiti prehranske vire s selenom, pri čemer je zaradi ozke

meje med premajhnim in prevelikim vnosom selen potrebna skrajna previdnost.

6 LITERATURA

- Bonafaccia, G., Gambelli, L., Fabjan, N., Kreft, I. (2003). Trace elements in flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 83(1), 1-5. doi:10.1016/S0308-8146(03)00228-0
- Breznik, B., Germ, M., Gaberščik, A., Kreft, I. (2005). Combined effects of elevated UV-B radiation and the addition of selenium on common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary [*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.] buckwheat. *Photosynthetica*, 43(4), 583-589. doi:10.1007/s11099-005-0091-1
- Combs, G. F. (2001). Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*, 85(5), 517-547. doi:10.1079/BJN2000280
- Cuderman, P., Ožbolt, L., Kreft, I., Stibilj, V. (2010). Extraction of Se species in buckwheat sprouts grown from seeds soaked in various Se solutions. *Food Chemistry*, 123(3), 941-948. doi:10.1016/j.foodchem.2010.04.063
- Cutter, G. A. (1989). Freshwater systems. V Ihnat, M. (ur.), *Occurrence and Distribution of Selenium* (s. 243-262), Boca Raton, FL: CRC Press Inc.
- Deveau, M. (2010). Contribution of drinking water to dietary requirements of essential metals. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*, 73(2), 235-241. doi:10.1080/15287390903340880
- Edmonds, J. S., Morita, M. (2000). The identification of selenium species in biological samples. *Applied Organometallic Chemistry*, 14(3), 133-145. doi:10.1002/(SICI)1099-0739(200003)14:3<133::AID-AOC966>3.0.CO;2-3
- Finley, J. W. (2006). Bioavailability of selenium from foods. *Nutrition Reviews*, 64(3), 146-151. doi:10.1111/j.1753-4887.2006.tb00198.x
- Fox, T. E., Atherton, C., Dainty, J. R., Lewis, D. J., Langford, N. J., Baxter, M. J., Crews, H. M., Fairweather-Tait, S. J. (2005). Absorption of selenium from wheat, garlic, and cod intrinsically labeled with Se-77 and Se-82 stable isotopes. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 75(3), 179-186. doi:10.1024/0300-9831.75.3.179
- Frost, D. V. (1972). The two faces of selenium – can selenophobia be cured? *CRC Critical Reviews in Toxicology*, 1(4), 467-514. doi:10.3109/10408447209103467
- Germ, M., Kreft, I., Osvald, J. (2005). Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 43, 445-448. doi:10.1016/j.plaphy.2005.03.004
- Germ, M., Kreft, I., Stibilj, V., Osvald, J. (2014). The effect of selenium on yield and primary terminal electron transport system activity in two cultivars of bean plants *Phaseolus vulgaris*. *Acta Biologica Slovenica*, 57(2), 3-12.
- Germ, M., Kreft, I., Stibilj, V., Urbanc-Berčič, O. (2007a). Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45, 162-167. doi:10.1016/j.plaphy.2007.01.009
- Germ, M., Osvald, J. (2005). Selenium treatment affected respiratory potential in *Eruca sativa*. *Acta Agriculturae Slovenica*, 85(2), 329-335.
- Germ, M., Stibilj, V., Osvald, J., Kreft, I. (2007b). Effect of selenium foliar application on chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 795-798. doi:10.1021/jf0629888
- Golob, A., Gadžo, D., Stibilj, V., Djikić, M., Gavrić, T., Germ, M. (2016a). Addition of Se affected concentration of Se in the second generation of tartary buckwheat plants. *Folia Biologica et Geologica*, 57(1), 87-92.
- Golob, A., Gadžo, D., Stibilj, V., Djikić, M., Gavrić, T., Kreft, I., Germ, M. (2016b). Sulphur interferes with selenium accumulation in tartary buckwheat plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108, 32-36. doi:10.1016/j.plaphy.2016.07.001
- Golob, A., Germ, M., Kreft, I., Zelnik, I., Kristan, U., Stibilj, V. (2016c). Selenium uptake and Se compounds in Se-treated buckwheat. *Acta Botanica Croatica*, 75(1), 17-24. doi:10.1515/botcro-2016-0016
- Golob, A., Stibilj, V., Kreft, I., Germ, M. (2015). The feasibility of using tartary buckwheat as Se-containing food material. *Journal of Chemistry (Hindawi) (Online)*, 1-4. doi:10.1155/2015/246042
- Golubkina, N. A., Alfthan, G. V. (1999). The human selenium status in 27 regions of Russia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 13(1-2), 15-20. doi:10.1016/S0946-672X(99)80018-2

- Hatfield, D. L. (ur.), Berry, M. J. (ur.), Gladyshev, N. V. (ur.). (2012). *Selenium: Its Molecular Biology and Role in Human Health*. 3. izdaja. New York, NY: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-1-4614-1025-6
- Hatfield, D. L. (ur.), Schweizer, U. (ur.), Tsuji, P.A. (ur.), Gladyshev, N. V. (ur.). (2016). *Selenium: Its Molecular Biology and Role in Human Health*. 4. izdaja. New York, NY: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-319-41283-2
- Johnson, C. C., Fordyce, F. M., Rayman, M. P. (2010). Symposium on »Geographical and geological influences on nutrition«: Factors controlling the distribution of selenium in the environment and their impact on health and nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society*, 69(1), 119-32. doi:10.1017/S0029665109991807
- Kreft, I. (1995). *Ajda*. Ljubljana, ČZD Kmečki glas.
- Kreft, I., Mechora, Š., Germ, M., Stibilj, V. (2013). Impact of selenium on mitochondrial activity in young tartary buckwheat plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 196-199. doi:10.1016/j.plaphy.2012.11.027
- Lobinski, R., Edmonds, J., Suzuki, K. T., Uden, P. C. (2000). Species-selective determination of selenium compounds in biological materials (Technical report). *Pure and Applied Chemistry*, 72(3), 447-461. doi:10.1351/pac200072030447
- Ngo, D.B., Dikassa, L., Okitolonda, W., Kashala, T. D., Gervy, C., Dumont, J., Vanovervelt, N., Contempré, B., Diplock, A. T., Peach, S., Vanderpas, J. (1997). Selenium status in relation to iodine deficiency. *Tropical Medicine and International Health*, 2(6), 572-581. doi:10.1046/j.1365-3156.1997.d01-326.x
- NIJZ. (2014). Opisi kemijskih parametrov, ki jih najdemo v pitni vodi. Nacionalni inštitut za javno zdravje, verzija 2, 29.12.2014, s. 35.
- Ožbolt, L., Kreft, S., Kreft, I., Germ, M., Stibilj, V. (2008). Distribution of selenium and phenolics in buckwheat plants grown from seeds soaked in Se solution and under different levels of UV-B radiation. *Food Chemistry*, 110(3), 691-696. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.073
- Pirc, S., Šajin, R. (1997). Vloga geokemije v ugotavljanju kemične obremenitve okolja. V Lah, A. (ur.), *Kemizacija okolja in življenja - do katere meje? Projekt evropskega leta varstva narave 1995* (s. 165-186). Ljubljana: Slovensko ekološko društvo.
- Pokorn, D., Gregorič, B., Poklar, T., Eržen T. (1991). Ocena prehrane v domovih za starejše občane v Ljubljani. *Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani*, 57, 259-271.
- Power, R. (1995). Selenium-enriched yeast: form and applications. V *Proceedings of the Selenium-Tellurium Development Association 5th International Symposium*, Brussels, 8-10 May, (s. 89-94). Grimbergen, Belgium: Selenium-Tellurium Development Association.
- Pyrzyńska, K. (2002). Determination of selenium species in environmental samples. *Microchimica Acta*, 140(1), 55-62. doi:10.1007/s00604-001-0899-8
- Rayman, M.P. (2004). The use of high-selenium yeast to raise selenium status: how does it measure up? *British Journal of Nutrition*, 92(4), 557-573. doi:10.1079/BJN20041251
- Reeves, P. G., Leary, P. D., Gregoire, B. R., Finley, J. W., Lindlauf, J. E., Johnson, L. K. (2005). Selenium bioavailability from buckwheat bran in rats fed a modified AIN-93G torula yeast-based diet. *The Journal of Nutrition*, 135(11), 2627-2633.
- Reilly, C. (2006). *Selenium in food and health*. 2. izdaja. New York, NY: Springer.
- Smrkolj, P., Germ, M., Kreft, I., Stibilj, V. (2006a). Respiratory potential and Se compounds in pea (*Pisum sativum* L.) plants grown from Se-enriched seeds. *Journal of Experimental Botany*, 57(14), 3595-3600. doi:10.1093/jxb/erl109
- Smrkolj, P., Pograjc, L., Hlastan-Ribič, C., Stibilj, V. (2005a). Selenium content in selected Slovenian foodstuffs and estimated daily intakes of selenium. *Food Chemistry*, 90(4), 691-697. doi:10.1016/j.foodchem.2004.04.028
- Smrkolj, P., Stibilj, V., Kreft, I., Germ, M., (2006b). Selenium species in buckwheat cultivated with foliar addition of Se(VI) and various levels of UV-B radiation. *Food Chemistry*, 96(4), 675-681. doi:10.1016/j.foodchem.2005.05.002
- Smrkolj, P., Stibilj, V., Kreft, I., Kopolna, E. (2005b). Selenium species determination in selenium-enriched pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds by HPLC-UV-HG-AFS. *Analytical Sciences*, 21(12), 1501-1504. doi:10.2116/analsci.21.1501
- Smrkolj, P., Žgur, S., Stibilj, V. (2003). Selen v govejem mesu izbranih pasem. *Meso in mesnine*, 4, 5-8.
- Stadlober, M., Sager, M., Irgolic, K. J. (2001). Effects of selenate supplemented fertilisation on the selenium level of cereals - identification and quantification of selenium compounds by HPLC-

- ICP-MS. *Food Chemistry*, 73(3), 357-366. doi:10.1016/S0308-8146(01)00115-7
- Stibilj, V., Kreft, I., Smrkolj, P., Osvald, J. (2004). Enhanced selenium content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds by foliar fertilisation. *European Food Research and Technology*, 219(2), 142-144. doi:10.1007/s00217-004-0927-0
- Sun, H., Feng, B. (2011). Speciation of organic and inorganic selenium in selenium-enriched eggs by hydride generation atomic fluorescence spectrometry. *Food Analytical Methods*, 4(2), 240-244. doi:10.1007/s12161-010-9145-5
- Tadina, N., Germ, M., Kreft, I., Breznik, B., Gaberščik, A. (2005). Effect of water deficit and selenium on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) plants. *Photosynthetica*, 45(3), 472-476. doi:10.1007/s11099-007-0080-7
- Tamás, M., Mándoki, Zs., Csapó J. (2010). The role of selenium content of wheat in the human nutrition. A literature review. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 3, 5-34.
- Uden, P. C., Boakye, H. T., Kahakachchi, C., Tyson, J. F. (2004). Selective detection and identification of Se containing compounds - review and recent developments. *Journal of Chromatography A*, 1050(1), 85-93. doi:10.1016/j.chroma.2004.05.077
- Uradni list RS, št. 19/2004. 1. 3. 2004: 865. Pravilnik o pitni vodi, s. 2155.
- Vincenti, M., Bonvicini, F., Bergomi, M., Malagoli, C. (2010). Possible involvement of overexposure to environmental selenium in the etiology of amyotrophic lateral sclerosis: a short review. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 46, 279-283.
- Vogrincič M., Cuderman, P., Kreft, I., Stibilj, V. (2009). Selenium and its species distribution in above-ground plant parts of selenium enriched buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Analytical Sciences*, 25(11), 1357-1363. doi:10.2116/analsci.25.1357
- Wang, W. C., Mäkelä, A. L., Nantö, V., Mäkelä, P., Lagström, H. (1998). The serum selenium concentrations in children and young adults: a long-term study during the Finnish selenium fertilization programme. *European Journal of Clinical Nutrition*, 52(7), 529-535. doi:10.1038/sj.ejcn.1600602
- Wang, Z. J., Gao, Y. X. (2001). Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments. *Applied Geochemistry*, 16(11-12), 1345-1351. doi:10.1016/S0883-2927(01)00046-4
- Watkinson, J. H. (1983). Prevention of selenium deficiency in grazing animals by annual topdressing of pasture with sodium selenate. *The New Zealand Veterinary Journal*, 31(5), 78-85. doi:10.1080/00480169.1983.34975
- Wolf, W. R., Goldschmidt, R. J. (2007). Updated estimates of the selenomethionine content of NIST wheat reference materials by GC-IDMS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387(7), 2449-2452. doi:10.1007/s00216-006-0839-x
- Zhao, C., Roseland, J., Andrews, K.W., Feinberg, M., Middleton, A., Holden, J., Douglass, L., Dwyer, J., Picciano, M.F. (2009). Levels of the Antioxidant Nutrients, Vitamin C, Vitamin E, and Selenium in the Dietary Supplement Ingredient Database: NHANES Data Applications. *American Institute of Cancer Research Annual Research Conference, November 5-6, 2009*, Washington, DC.