

# Agrofortifikacija pšenice selenom

---

**Tokić, Iva**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2013**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:741592>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-11**



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](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

**Iva Tokić**, absolvent

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**AGROFORTIFIKACIJA PŠENICE SELENOM**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2013.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

**Iva Tokić**, absolvent

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**AGROFORTIFIKACIJA PŠENICE SELENOM**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2013.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

**Iva Tokić**, absolvent

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**AGROFORTIFIKACIJA PŠENICE SELENOM**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. doc. dr. sc. Brigita Popović, predsjednik
2. prof. dr. sc. Zdenko Lončarić, mentor
3. dr. sc. Vladimir Ivezić, član

**Osijek, 2013.**

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	1
1.1. Cilj istraživanja	5
<b>2. Pregled literature</b>	6
<b>3. Materijal i metode</b>	17
3.1. Izbor proizvodne površine i sorte pšenice	17
3.2. Analize tla	17
3.2.1. pH reakcija tla	17
3.2.2. Sadržaj humusa u tlu	18
3.2.3. Koncentracija AL - pristupačnog fosfora i kalija	18
3.2.4. Određivanje sadržaja karbonata u tlu	18
3.2.5. Određivanje ukupnih teških metala i Se u tlu	19
3.3. Vegetacijski pokus	19
3.3.1. Postavljanje i provedba pokusa tijekom vegetacije	19
3.3.2. Aplikacija selena	20
3.3.3. Uzorkovanje pšenice i žetva	21
3.4. Određivanje komponenti prinosa i agronomskih svojstava pšenice	21
3.5. Priprema i analiza uzoraka zrna pšenice	21
3.6. Priprema briketa i hranidba štakora	22
3.7. Statistička obrada podataka	23
<b>4. Rezultati</b>	24
4.1. Osnovna agrokemijska svojstva tla	24
4.1.1. Ukupna koncentracija teških metala i Se	24
4.2. Komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice	25
4.2.1. Sklop pšenice	25
4.2.2. Visina biljaka	25
4.2.3. Dužina klasa	26
4.2.4. Broj fertilnih i sterilnih klasića po klasu	26
4.2.5. Hektolitarska masa	27
4.2.6. Ukupan prirod nadzemne mase	27
4.2.7. Prinos zrna	28
4.2.8. Prirod slame	28

4.2.9. Žetveni indeks	28
4.3. Koncentracija i odnošenje Se	28
4.3.1. Koncentracija Se u zrnu pšenice	29
4.3.2. Odnosenje Se prinosom zrna pšenice	29
4.4. Koncentracije Se u tkivima štakora	30
<b>5. Rasprava</b>	32
5.1. Utjecaj agrokemijskih svojstava tla na razvoj pšenice i usvajanje Se	32
5.2. Utjecaj sorte i tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice	33
5.3. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna	36
5.4. Utjecaj tretmana na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna	38
5.5. Utjecaj konzumacije pšenice obogaćene Se na koncentracije Se u tkivima štakora	40
<b>6. Zaključak</b>	44
<b>7. Literatura</b>	45
<b>8. Sažetak</b>	53
<b>9. Summary</b>	54
<b>10. Popis tablica</b>	55
<b>11. Popis grafikona</b>	56

## 1. Uvod

Selen je nemetal, srodan sumporu i telur, kojeg je 1817. godine otkrio švedski znanstvenik Jöns Jakob Berzelius. Iako je otkriven u prvoj polovici 19. stoljeća, bilo je potrebno narednih 140 godina kako bi se konačno 1957. utvrdila njegova neophodnost za ljude i životinje. Ovo je otkriće dovelo do velike potrebe za podacima, razvoja analitičkih metoda i bioloških studija (Sager, 2006.). Ime je dobio prema grčkoj riječi *selene*, što znači “Mjesec” jer se uvijek javljao uz telur (lat. *tellus* – Zemlja). Prema kemijskim svojstvima pripada skupini halkogenih elemenata, kao i kisik, sumpor, telur, te polonij. Naziv skupine potječe od grčkih riječi *chalkos* (ruda) i *genesis* (postanak), što bi u slobodnom prijevodu značilo “ono što sačinjava rude”. U prirodi je često pratitelj sumpora, no u odnosu na njega značajno je manje rasprostranjen.

U biotehničkim znanostima, selen se vrlo često proučava zajedno s “teškim metalima”, odnosno s grupom metala i polumetala, koji se dovode u vezu s kontaminacijom i potencijalnim toksičnim učinkom. S aspekta neophodnosti, “teški metali” obuhvaćaju esencijalne elemente (npr. Fe, Mn, Zn, Cu), ali i elemente koji to nisu (Hg, Cd, Pb) (Lončarić, 2013.). Porijeklo teških metala u tlu može biti geogeno i antropogeno. Geogeno porijeklo odnosi se na dospijevanje teških metala u tlo trošenjem matičnih stijena, a antropogeno podrazumijeva unos teških metala u tlo uslijed ljudskih djelatnosti poput poljoprivrede, industrije i sl. Općenito, radi se o vrlo raznolikoj skupini elemenata, koji imaju različit ekološki i biološki značaj, a budući da su u većini tala, te u biljnim i životinjskim organizmima prisutni u vrlo niskim koncentracijama ( $\text{mg kg}^{-1}$  ili manje) u svijetu ih se najčešće naziva “elementi u tragovima”. Iako je selen u visokim koncentracijama polutant, u Republici Hrvatskoj prema “Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja” (NN 32-2010.) i “Pravilniku o ekološkoj proizvodnji u uzgoju bilja i proizvodnji biljnih proizvoda” (NN 91-2001) nije svrstan među onečišćujuće tvari i potencijalno toksične elemente, kao što su kadmij, krom, bakar, živa, nikal, olovo i cink. Izvori onečišćenja okoliša selenom uključuju otpadne materijale iz određenih rudarskih djelatnosti, poljoprivrede, petrokemije i industrijske proizvodnje.

S obzirom na koncentracije u tlima i Zemljinoj kori, **Sposito** (2008.) je sve elemente podijelio na glavne, čija je koncentracija u litosferi ili tlu veća od  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , te na elemente u tragovima, čija je koncentracija u litosferi i tlima manja od  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ . Ukupne koncentracije teških metala u Zemljinoj kori kreću se od  $129 \text{ mg kg}^{-1}$  (Cr) do  $0,04 \text{ mg kg}^{-1}$  (Hg), a u tlima od  $37 \text{ mg kg}^{-1}$  (Cr) do  $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$  (Hg). Zastupljenost selena u Zemljinoj kori iznosi  $0,12 \text{ mg kg}^{-1}$ , a u tlima  $0,26 \text{ mg kg}^{-1}$ . Raspoložive koncentracije teških metala u tlima značajno su niže od ukupnih koncentracija, ali to ovisi prvenstveno o svojstvima tala i o pojedinom teškom metalu (**Lončarić**, 2013.).

Prema dosadašnjim istraživanjima, u Republici Hrvatskoj postoje područja sa zabilježenim nedostatkom selena u tlima. **Gavrilović i Matešić** (1982.) u svojim su istraživanjima zabilježili izrazito niske koncentracije selena u tlu i stočnoj hrani u Požeškoj kotlini: u poljoprivrednim tlima  $20 - 48 \text{ } \mu\text{g Se kg}^{-1}$ , u svim uzorcima pšenice manje od  $18 \text{ } \mu\text{g Se kg}^{-1}$ , u svim uzorcima kukuruza manje od  $10 \text{ } \mu\text{g Se kg}^{-1}$ . **Popijač i Prpić-Majić** (2002.) iznijele su rezultate istraživanja koncentracija selena u tri tipa tla (semiglej, pseudoglej i hipoglej) i zrnu pšenice proizvedene na navedenim tlima u okolici Koprivnice. Njihovi rezultati ukazuju na relativno nisku razinu selena u sva tri tipa tla, te jednako tako i u zrnu pšenice. Zabilježeni su i slučajevi kada unatoč dostatnim količinama selena u tlu, zbog visoke vlažnosti i kiselosti tla, biljke ne mogu kvalitetno usvojiti selen, te dolazi do pomanjkanja selena u voluminoznim krmivima, što dugoročno može rezultirati pojavom bolesti vezanih za njegov nedostatak u organizmu životinja.

Biljke usvajaju selen kao selenat ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) ili selenit ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ) anion. Može zamijeniti sumpor u cisteinu, metioninu i enzimima koji sadrže sumpor (npr. ATP sulfurilaza), i to u slučajevima kada je zbog visoke raspoloživosti selena u tlu smanjeno usvajanje sulfata. Postoje značajne varijacije u fiziologiji određenih biljaka po pitanju selena. One koje egzistiraju na tlima bogatim selenom, tolerantne su i mogu akumulirati selen u visokim koncentracijama ( $4000 \text{ mg Se kg}^{-1}$  i više), no na većinu biljaka neakumulatora u višim koncentracijama može djelovati toksično. Kod neakumulatora, prag koncentracije, koja rezultira 10%-tnim smanjenjem usjeva, u tkivu izdanaka varira od  $2 \text{ mg Se kg}^{-1}$  kod riže, do  $330 \text{ mg Se kg}^{-1}$  kod bijele djeteline (**Terry et al.** 2000.)



U posljednjih 20 godina svijest o značenju selena u ljudskoj prehrani značajno je porasla. Demonstracije njegove neophodnosti na štakorima i domaćim životinjama pokazale su da razvoj bolesti izazvanih niskim koncentracijama selena ukazuje na distribuciju geokemijskih varijabli koje su sprječavale unos selena iz tla u prehrambeni lanac (FAO/WHO, 2001.). Takvi su rezultati bili poticaj detaljnijem istraživanju značaja selena u ljudskoj prehrani, koja su pojasnila kompleksnu metaboličku ulogu ovog elementa u tragovima. Sastavni je dio stanica imunološkog sustava čovjeka, te njegov nedostatak može izazvati različita negativna stanja u organizmu, poput povećane osjetljivosti na infekcije i razvoj raka, povišen krvni tlak, a samim time i podložnost srčanom udaru, zatim reumatske bolesti, oštećenja jetra, prijevremeno starenje itd. Djeluje sinergistički s vitaminom E u nekim metaboličkim procesima, poticanju normalnog rasta tijela i plodnosti kod muškaraca. Dio je važnog antioksidansa, glutation-peroksidaze, koji štiti stanice od štetnog učinka slobodnih radikala, nastalih tijekom normalnog metabolizma kisika u organizmu. Nalazi se i u selenoproteinu P, također antioksidansu, koji vrši neutralizaciju dušikovih slobodnih radikala. Viškom selena u tijelu stvara se metilirani selen za kojeg je nedavno otkriveno da smanjuje rizik od tumora (Šperanda, 2013.). Prema Vukadinović i Lončarić (1997.) dnevna potreba odraslog čovjeka za selenom iznosi 250 – 300 µg, dok već u količini 50 – 100 mg djeluje toksično. Selenom bogate namirnice su brazilski oraščići, riba, plodovi mora, cjelovite žitarice, pšenične klice, kokos, orasi, pistacio i kvasac.

Vezano uz problem niskih koncentracija mikrohraniva u zrnu žitarica, često se spominje pojam biofortifikacija, koji se odnosi na povećanje poželjnih elemenata u jestivim dijelovima biljke (Eded, 2011.). Agrofortifikacija jedan je od aspekata biofortifikacije koja se odnosi na povećanje koncentracije i balansiranje esencijalnih hraniva u jestivim dijelovima biljaka uz pomoć odgovarajuće ishrane bilja i agrotehnike. Usjevi se mogu opskrbiti potrebnim hranivima na nekoliko načina: aplikacijom hraniva u tlo ili na površinu tla, fertigacijom, folijarnom prihranom, tretiranjem sjemena ili kombinirano sa sredstvima za zaštitu bilja. Svaka od opcija ima određene prednosti i nedostatke ovisno o hranivu, usjevu i svojstvima tla. Budući da je pšenica glavni izvor selena u ljudskoj prehrani, provode se brojna istraživanja kojima se želi utvrditi utječe li i u kojem intenzitetu biofortifikacija pšenice selenom na unos i povećanje koncentracije selena u ljudskom organizmu konzumacijom pšeničnih proizvoda.

**Wu et al.** (2009.) svojim su istraživanjem željeli saznati utječe li povećanje koncentracije selena u organizmu, uslijed povećanog unosa pšenice biofortificirane selenom kroz prehranu, na biomarkere koji ukazuju na rizik od raka, kardiovaskularne bolesti, oksidacijski stres i imunološki sustav kod zdravih pripadnika muške populacije u južnoj Australiji. Konzumacija tri peciva na dan (267  $\mu\text{g Se}$ ), pripravljenog od pšenice biofortificirane selenom povećala je koncentraciju selena u plazmi sa početne razine od 122  $\mu\text{g L}^{-1}$  na 192  $\mu\text{g L}^{-1}$ , međutim nisu zabilježene značajnije promjene na odabranim biomarkerima koji ukazuju na rizik od degenerativnih bolesti i zdravstveno stanje kod ove skupine zdravih starijih muškaraca u južnoj Australiji. Čini se da je trenutno biofortifikacija u pogledu ishrane bilja ili selekcije sorti s povećanom sposobnošću akumulacije selena u zrnu najperspektivnija strategija u pogledu povećanja koncentracije selena u pšenici (**Lyons et al.** 2003.).

## 1.1. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi:

1. mogućnost agrofortifikacijskog povećanja koncentracije selena u zrnu različitih sorata pšenice,
2. učinkovitost folijarno i po površini tla apliciranog Se,
3. povećanje unosa selena u prehrambeni lanac aplikacijama selena folijarno i na površinu tla.

Osnovne su hipoteze ovoga rada:

1. aplikacijom Se folijarno i po površini tla povećava se koncentracija Se u zrnu pšenice,
2. količina i način aplikacije Se značajno utječu na koncentraciju Se u zrnu pšenice,
3. sorte pšenice značajno se razlikuju po učinkovitosti akumulacije apliciranog Se u zrno.

## 2. Pregled literature

Vulkanske stijene i metalni sulfidi, nastali vulkanskom aktivnošću, primarni su izvor selena u prirodi. Iako približno 50 minerala sadrži selen, on se pak najčešće javlja u sulfidima teških metala (Ag, Cu, Pb, Hg, Ni i dr.) u obliku selenida ili u kristalnoj rešetci minerala zamjenjuje sumporov ion (**Adriano**, 1986.). **Lakin** (1972.) navodi da prosječan sadržaj selena u Zemljinoj kori varira od 0,05 do 0,09  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

Reaktivnost i bioraspoloživost selena u tlu ne ovisi samo o njegovom ukupnom sadržaju u tlu, već i o njegovom kemijskom obliku. Ovisno o stupnju oksidacije selen je u tlu prisutan kao selenid ( $\text{Se}^{2-}$ ), elementarni selen ( $\text{Se}^0$ ), selenit ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), selenat ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) i organski selen, a smatra se da je biljkama najpristupačnija vodotopiva frakcija. U različitim dijelovima svijeta zastupljenost selena u tlu varira ovisno o matičnom supstratu, klimatskim uvjetima i vegetacijskom pokrivaču. Prema **Swaine** (1955.) sadržaj selena u većini tala varira od 0.1 do 2  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

**Rosenfeld i Beath** (1964.) iznijeli su podatak da su povećane količine selena pronađene na tlima formiranim raspadom škriljca, ponajviše u aridnim i semiaridnim područjima.

Godine 1990. **Kang** iznosi kako je u Japanu, unatoč nešto višem ukupnom sadržaju selena u usporedbi s ustanovljenim sadržajem u drugim zemljama, koncentracija vodotopive frakcije selena niska zbog kisele reakcije tla i vlažne klime, te čini samo 2.3 – 3.85% ukupnog sadržaja selena u tlu.

Prema **Čuvarđić** (2003.) toksične razine selena u Europi zabilježene su na nekoliko lokacija u Walesu i Irskoj, deficit u Engleskoj i Škotskoj, suboptimalne doze u sjevernim dijelovima Europe, niske koncentracije u Poljskoj, Mađarskoj i Srbiji, dok je u Kini registriran ozbiljan deficit selena, povezan s Keshanskom bolešću koja se gotovo isključivo javlja kod djece. U Kanadi, Južnoj Americi i Indiji sadržaj selena u biljkama varira od deficitarnih do toksičnih razina, ovisno o dijelu zemlje u kojemu su istraživanja provedena.

Također iznosi podatak da se sadržaj selena u tlu smanjuje s povećanjem dubine tla, budući da se veže s proteinima, fulvinskom kiselinom, te drugim organskim komponentama koje sadrže dušik.

**Berrow i Ure** (1998.) tvrde da je selen u tlu neravnomjeran u pogledu distribucije i dostupnosti: koncentracije se kreću u rasponu manje od 0,1 do preko 100 mg kg<sup>-1</sup> tla. Također navode da većina tala sadrži između 1,0 i 1,5 mg Se kg<sup>-1</sup>.

U kiselim, loše aeriranim tlima, selen je biljkama relativno nepristupačan i najčešće se javlja u obliku elementarnog selena i netopivih selenida. U lateritnim tlima, koja imaju visok sadržaj željeza, čvrsto se veže sa željezom tvoreći slabo topive komplekse željezovog hidroksid – selenita (**Cary i Allaway**, 1969.). U područjima bogatim vodom, selenat može biti ispran iz tla što rezultira deficitom selena. **Lyons et al.** (2003.) navode da se u Australiji deficit selena obično javlja na kiselim tlima s više od 500 mm kiše godišnje.

Prema **Gavrilović i Matešić** (1982.) koncentracija selena u poljoprivrednim tlima u Požeškoj kotlini izrazito je niska i kreće se u rasponu od 20 do 48 μg kg<sup>-1</sup>. S obzirom na nizak sadržaj selena u tlu, zabilježene su i niske koncentracije selena u pšenici i kukuruzu proizvedenima na istoj površini.

O niskim koncentracijama selena u tlima Hrvatske izvijestile su također **Popijač i Prpić-Majić** (2002.) iznijevši rezultate istraživanja izvršenog na tri tipa tla (semiglej, pseudoglej i hipoglej) u okolici Koprivnice. Rezultati su pokazali da se sadržaj selena kreće od 145 do 333 μg Se kg<sup>-1</sup>. Analiza kovarijance ukazivala je na to da koncentracija selena u tlu i pH u KCl-u utječu na koncentraciju selena u zrnu pšenice. Nakon što je analiza ponovljena uzimajući kao kovarijate samo selen u tlu i pH u KCl- u, utvrđeno je da sadržaj selena u zrnu pšenice značajno varira ovisno o tipu tla.

Na temelju trogodišnjeg istraživanja **Antunović et al.** (2010.) utvrđen je deficit selena na četiri od ukupno šest lokaliteta u Slavoniji. U drugoj je godini zabilježen deficit selena na području Valpova i Đakova (0.18 i 0.14 mg kg<sup>-1</sup>), u trećoj na području Slatine i Donjeg Miholjca (0.10 i 0.07 mg kg<sup>-1</sup>). Adekvatan sadržaj selena u tlu zabilježen samo u prvoj godini istraživanja na lokalitetima u Vinkovcima i Belom Manastiru (0.98 i 0.71 mg kg<sup>-1</sup>).

**Antunović et al.** (2005.) također navode da srednja vrijednost selena u tlima s područja Međimurja, Podravine i Slavonije iznosi  $0,180 \text{ mg kg}^{-1}$  tla.

Iako selen nije esencijalan za biljke, one ga usvajaju i ugrađuju u svoje aminokiseline i proteine (**Shrift**, 1973.). Biljke koje ne nakupljaju selen sadrže manje od 25, dok biljke koje ga pojačano usvajaju nakupljaju i do  $30\,000 \mu\text{g Se g}^{-1}$  suhe tvari (**Gumze**, 2012.). **Kubota et al.** (1967.) objavili su kako u centralnom SAD-u, primjerice, postoje regije u kojima je sadržaj selena u biljkama 10 puta veći od toksične razine, dok je istovremeno sadržaj selena u biljkama u istočnim i zapadnim regijama SAD-a nizak. **McLaughlin et al.** (1999.) naglašavaju slabu korelaciju između ukupnog sadržaja selena u tlu i biljci. Ujedno smatraju da biljke usvajaju selen, te da ulazi u sastav organske tvari zbog kemijske sličnosti sa sumporom. Na dostupnost selena usjevima može utjecati navodnjavanje, aeracija, kalcizacija i gnojidba selenom (**Gissel-Nielsen**, 1998).

Sposobnost nekih biljnih vrsta da akumuliraju i transformiraju selen u bioaktivne komponente ima velike implikacije na okoliš, ljudski prehranu i zdravlje (**Ellis i Salt**, 2004.). **Baker i Brooks** (1989.) definirali su hiperakumulaciju kao sposobnost određenih biljaka da akumuliraju neuobičajeno visoke koncentracije metala i elemenata u tragovima, čak i iz niskih vanjskih koncentracija. Navode da hiperakumulatori imaju povišenu količinu metala u izdancima: 1% cinka i mangana, 0,1% nikla, kobalta, kroma, bakra, olova i aluminijska, 0,01% kadmija i selena te do 0,001% žive u ukupnoj ST biomase izdanka. Hiperakumulacija selena do sada je proučavana na biljnim vrstama iz porodica Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, Lecythidaceae, Fabaceae, Rubiaceae i Scrophulariaceae.

**Galeas** (2007.) navodi da tipične koncentracije selena u hiperakumulatorima u polju mogu iznositi  $1.000 - 10.000 \text{ mg kg}^{-1}$  suhe tvari, dok su u neakumulatorima koncentracije selena obično manje od  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Prema **Combs** (2001.) sadržaj selena u biljkama varira ovisno o biljnoj vrsti i njegovoj dostupnosti u tlu. Primjerice, pšenica uzgojena u provinciji Shaanxi u Kini može sadržavati  $0,003 \text{ mg kg}^{-1}$  selena u zrnu, dok pšenica s žitnih polja Sjeverne i Južne Dakote sadrži  $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ . Pšenica iz Južne Dakote s područja vrlo bogatih selenom može sadržavati više od  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  selena.

**Beath et al.** (1937.) navode kako vrsta roda *Astragalus* na tlima bogatim selenom može akumulirati i do 15.000 mg Se kg<sup>-1</sup> suhe tvari. Prema **Lindstorm** (1983.) niže biljke, kao što su alge, zahtijevaju selen za rast, iako se ne smatra esencijalnim nutrijentom za više biljke.

Kod viših biljaka, selenat se usvaja korijenjem preko sulfat transporter, stoga se pri visokim razinama sulfata u tlu usvajanje selena smanjuje (**Cary i Gissel-Nielsen**, 1973). Transportira se ksilemom do kloroplasta u listovima gdje se reducira, te potom selen prelazi u organske oblike, od kojih su neki volatilni. Selenat se mnogo lakše transportira od korijena do izdanaka, nego li selenit ili organski selen (**Terry et al.** 2000).

**Courtman et al.** (2012.) su za potrebe svoga istraživanja prikupili 896 uzoraka zrna kukuruza iz 231 silosa u Južnoj Africi. Prikupljene uzorke analizirali su kako bi dobili uvid u sadržaj selena, te izradili mapu koja prikazuje regionalnu distribuciju sadržaja selena u zrnu kukuruza u Južnoj Africi. 94% analiziranih uzoraka sadržavalo je ispod 50 µg selena kg<sup>-1</sup> ST, stoga su klasificirani kao deficitarni s aspekta hranidbe životinja i prehrane ljudi. Unatoč tome što istočni dijelovi zemlje obično imaju visoku koncentraciju selena u tlu, on je biljkama kukuruza nepristupačan zbog niske pH vrijednosti tla. S druge pak strane, zapadniji dijelovi zemlje u kojima tla imaju odgovarajuću pH vrijednost pri kojoj biljke mogu usvojiti selen, čini se sadrže neadekvatne koncentracije raspoloživog selena.

Na temelju prostorne integracije koncentracije selena u zrnu kukuruza, te pregledu tla na 88 lokaliteta, koji predstavljaju 10 primarnih tipova tla i više od 75% nacionalnih površina, **Chilimba et al.** (2011.) ukazali su na činjenicu da je suboptimalan prehrambeni unos selena (tj. 20 – 30 µg Se po osobi dnevno) široko rasprostranjen u afričkoj republici Malawi. Srednja vrijednost koncentracije selena u zrnu kukuruza iznosila je 0,019 mg kg<sup>-1</sup> (raspon od 0,005 do 0,533), dok je srednja vrijednost prehrambenog unosa uporabom kukuruznog brašna, prema nacionalnom obrascu potrošnje, iznosila 6,7 µg selena po osobi dnevno.

Prema **Valentić et al.** (2005.) koncentracija selena u krmivima u Hrvatskoj jako je niska i kreće se: 0,01 – 0,05 mg kg<sup>-1</sup> u kukuruzu, 0,03 – 0,08 mg kg<sup>-1</sup> u suncokretovoj sačmi, 0,16 – 0,38 mg kg<sup>-1</sup> u sojinoj sačmi, te 0,10 – 0,15 mg kg<sup>-1</sup> u djetelini.

**Lyons et al.** (2003.) navode kako su razine selena kojima se životinje i ljudi opskrbljuju konzumacijom određenih biljaka (biljnih proizvoda) često preniske za optimalno zdravlje. Deficit i suboptimalnost selena u ljudskoj se populaciji manifestiraju kroz povećanje disfunkcije štitnjače, rak, ozbiljna virusna oboljenja, kardiovaskularne bolesti, te različita upalna stanja, a s takvim se oboljenjima susreće najmanje milijarda ljudi. Prema njihovu istraživanju procjenjuje se da se konzumacijom pšenice zadovoljava približno polovina potrebe za selenom kod većine stanovnika Australije. S obzirom na prethodno navedeno **Lyons et al.** (2003.) zaključuju da povećanje sadržaja selena u pšenici predstavlja pristup u sustavu prehrane kojim će se povećati unos selena u ljudskoj populaciji, što bi moglo rezultirati poboljšanjem javnog zdravlja i velikim uštedama u zdravstvu.

Prema **Duffield-Lillico et al.** (2002.) studije u SAD-u pokazale su da je 200 µg selena dnevno (u kvascu), u skupini od 1300 ispitanika, umanjilo ukupnu smrtnost od raka za 41 %, ukupnu pojavnost raka za 25 % i pojavnost raka prostate za 52 %. Utjecaj na ukupan rak, s početnim vrijednostima selena ispod 113 µg/l, limitiran je kod muških pušača (trenutnih ili bivših), no unatoč tomu muški bi nepušači vjerojatno mogli imati koristi od dodatka selena u smislu prevencije raka prostate i debelog crijeva.

Utjecaj selena na dugovječnost ljudi ispitali su **Foster i Zhang** (1995.), uspoređujući podatke o broju stanovnika starijih od 80 godina u 2.408 okruga Kine. Zaključili su da u okruzima u kojima se javljaju endemske bolesti poput Keshanske bolesti, Kashin-Beckove bolesti, te endemske selenoze, živi daleko manje ljudi navedene životne dobi. Smatraju da je stanje takvo zbog povećane smrtnosti uslijed kroničnih bolesti i ubrzanog starenja uslijed oštećenja stanica od slobodnih radikala, što je pak uzrokovano nedostatkom selena u određenim promatranim područjima. **Hocman** (2012.) iznosi kako se unos 150 – 300 µg selena dnevno smatra dostatnim za adekvatnu zaštitu ljudskog organizma bez izazivanja toksičnosti.

Prema podacima **FAO/WHO** (2001.) sadržaj selena kod normalnih odraslih ljudi može uvelike varirati. Vrijednosti od 3 mg selena kod Novozelance do 14 mg kod nekih Amerikanaca odraz su dubokog utjecaja prirodnog okruženja na njegov sadržaj u tlima, usjevima i ljudskim tkivima. Približno 30% selena u tkivima nalazi se u jetri, 15% u bubrezima, 30% u mišićima i 10% u krvnoj plazmi.



Rezultati istraživanja **WHO/FAO/IAEA** (1996.) provedenog na odraslim muškim ispitanicima s niskim početnim razinama selena u organizmu, pokazali su da je ukupan dnevni unos selena od 41 µg dovoljan za znatno povećanje GHPSx u plazmi i zasićenje aktivnosti plazme kod ispitanika mase 60 kg, unutar 5 – 8 mjeseci. Ispitanicima je kroz pomno nadziranu prehranu osigurano 11 µg selena na dan, zajedno s dodacima selenometionina (oralno) kojim je osigurano 0, 10, 30, 60 ili 90 µg/dan. Procijenjeno je da će se zadovoljavajuća razina selena u plazmi (> 80 µmol/L) i GHPSx (> 0,3 mmol NADPH oksidiranog/min/L), koja ukazuje na adekvatne rezerve selena, dostići nakon unosa približno 27 µg selena dnevno, kod muških ispitanika mase 65 kg. Na osnovu dobivenih rezultata izrađene su preporuke nutritivnog unosa selena (RNI – recommended nutrient intake) za različite dobne i spolne skupine, s obzirom na pretpostavljenu tjelesnu masu. Tako primjerice preporučeni nutritivni unos selena za djecu u dobi od 4 – 6 godina s pretpostavljenom tjelesnom masom od 19 kg iznosi 22 µg/dan, za djevojke u dobi od 10 – 18 godina s pretpostavljenom tjelesnom masom od 49 kg iznosi 26 µg/dan, za trudnice u trećem tromjesečju iznosi 30 µg/dan itd.

Prema **WHO/IAEA** (1989.) prosječan unos selena kod dojenčadi na području bivše Jugoslavije iznosi  $6.0 \pm 1.3$  µg/dan (srednja vrijednost ± standardna devijacija ili raspon), a reprezentativna srednja vrijednost selena u serumu ispitanika s područja Srbije i Hrvatske prema **FAO/WHO** (2001.) iznosi 0.63 – 0.85 µmol/L.

**Yu et al.** (1999.) istraživali su razine selena u plazmi i utjecaj na rizik od hepatocelularnog karcinoma (HCC) među muškarcima zaraženim kroničnim virusom hepatitisa. Nije zabilježena statistički značajna razlika u razinama selena s obzirom na dob, stupanj obrazovanja, pušenje, konzumaciju alkohola, doba godine u koje je uzorak krvi uziman i broj godina koji je prošao od prikupljanja uzoraka krvi. Međutim, razine selena blago su se snižavale s godinama i bile su niže kod pušača i ispitanika koji su konzumirali alkohol. Srednja vrijednost selena u plazmi u kontrolama iznosila je približno 140 µg/L, što ukazuje da unos selena prehranom kod ove skupine ispitanika nije bio nizak. Autori zaključuju da su potrebna daljnja istraživanja efikasnosti kombinacije selena s drugim nutrijentima u svrhu prevencije HCC-a u slučajevima kroničnog hepatitisa B i/ili C.

Podaci o sadržaju selena u tlima i ljudskom mlijeku u istočnoj Hrvatskoj ukazuju na njegov moguć neadekvatan status u organizmu ljudi s tog područja. Kako bi utvrdili dnevni prehrambeni unos selena **Klapec et al.** (1998.) proveli su sedmodnevno dvostruko istraživanje, u kojemu je sudjelovao 41 ispitanik u dobi od 18 do 53 (14 ♂, 27 ♀). Prosječan dnevni unos selena iznosio je 27,3 µg, a značajna razlika ( $P < 0,05$ ) zabilježena je između muških i ženskih ispitanika (♂ 32,2 µg, ♀ 24,8 µg). Također je promatran odnos između unosa selena i unosa različitih namirnica. Utvrđeno je da postotak optimalnog unosa selena pokazuje obrnutu povezanost s povećanjem dobi ispitanika, te da je suboptimalni unos selena prehranom (RDA za ♂ 70 µg/dan, ♀ 55 µg/dan) odraz njegovih niskih razina u okolišu.

**Schwarz i Foltz** (1957.) svojim su istraživanjem utvrdili da selen u tragovima može spriječiti nekrozu jetre kod štakora, koji su bili hranjeni hranom deficitarnom vitaminom E.

**Djujić et al.** (1992.) ispitivali su učinak dodavanja selena kvascem, te utjecaj ionizirajućeg zračenja na sadržaj i distribuciju selena u tkivima štakora (jetra, bubreg, slezena, srce, mišić, krv, prednji mozak, stražnji mozak, hipotalamus, hipofiza, nadbubrežna žlijezda, testis i dlaka). Istraživanje je izvršeno na 16 Se-suplementiranih (0,5 µg Se/dan) i 16 placebo odraslih mužjaka Wistar štakora (lab. štakori, *Rattus norvegicus*). Jedna polovina životinja (8 Se-suplementiranih (0,5 µg Se/dan) i 8 placebo) ozračeni su jednom dozom od 4,2 Gy Co-60 i žrtvovani 7 dana nakon zračenja, zajedno sa neozračenim životinjama, te analizirani u svrhu determinacije sadržaja selena. Prikupljeni podaci pokazali su da je selenov kvasac povećao razinu selena u tkivima štakora (najveći porast zabilježen u hipotalamusu 161%, stražnjem mozgu 126%, slezeni 110% i nadbubrežnoj žlijezdi 105%). Ionizirajuće zračenje uzrokovalo je značajne promjene u sadržaju i distribuciji selena. Sadržaj selena smanjio se u jetri, krvi, dlaci, bedrenom mišiću, slezeni i hipotalamusu, a povećao se u bubregu, testisima, nadbubrežnoj žlijezdi i mozgu u placebo grupi štakora. **Djujić et al.** (1992.) zaključili su da suplementacija selenovim kvascem umanjuje promjene u sadržaju selena i distribuciji nakon zračenja, te da bi osjetljivost životinjskog tkiva na oksidativna oštećenja mogla biti u korelaciji s njihovom sposobnošću zadržavanja selena u tkivima.

Cilj istraživanja **Akil et al.** (2011.) bio je razmotriti kako suplementacija selena utječe na lipidnu peroksidaciju u moždanom tkivu štakora podvrgnutih napornim vježbama plivanja. Istraživanje je provedeno na 32 Spraque-Dawley odrasla mužjaka štakora, koji su ravnomjerno raspodijeljeni u četiri grupe (Grupa 1 – opća kontrola, Grupa 2 – kontrola suplementacija selena ( $0,6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Na}_2\text{SeO}_3$  na dan), Grupa 3 – kontrola plivanje, Grupa 4 – plivanje uz suplementaciju selena ( $6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Na}_2\text{SeO}_3$  na dan)). Utvrđeno je da su navedene vježbe uzrokovale porast lipidne peroksidacije u moždanom tkivu štakora, te da je suplementacija selena, povećavši antioksidativnu aktivnost, spriječila formiranje slobodnih radikala.

Prema **Lyons et al.** (2003.) različite metode gnojidbe selenom proučavane su više od 30 godina kako bi se u određenim područjima prevladao nizak sadržaj selena u usjevima namijenjenim ljudskoj prehrani. Osobito su značajna istraživanja Yilaranta (Finska), Gissel – Nielsen (Danska) i Gupta (Kanada). Radi se o vrlo jeftinoj metodi kojom bi se povećao unos selena u ljudski organizam. Autori navode i da materijalni trošak primjene  $10 \text{ g selenata ha}^{-1}$  iznosi  $1,15 \text{ \$ ha}^{-1}$ .

Prema **Gupta i Watkinson** (1985.) za gnojidbu usjeva i pašnjaka selenom najčešće se koristi natrijev selenat, jer se slabije adsorbira na koliode tla, što može rezultirati brzim porastom razine selena u biljkama.

**Eurola i Hietaniemi** (2000.) iznose da se u Finskoj prema zakonu od 1984. prakticira dodavanje selena u tlo, trenutno kroz NPK gnojiva po stopi od  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ . **Lyons et al.** (2003.) tvrde da je finski eksperiment pokazao sigurnost, učinkovitost, jednostavnost i ekonomičnost ovog pristupa koji dovodi do povećanja razine selena u ljudskoj populaciji. Navedene su kvalitete također vidljive i u ranijem istraživanju **Eurola et al.** (1990.) prema kojemu je razina selena u zrnu svih domaćih žitarica u Finskoj prije 1984. iznosila  $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$  ili manje, dok danas jara pšenica obično sadrži oko  $0,25 \text{ mg Se kg}^{-1}$ , a slabije gnojena ozima pšenica oko  $0,05 \text{ mg Se kg}^{-1}$ . U 2003. godini stopa aplikacije iznosila je  $5 - 10 \text{ g selenata ha}^{-1}$ , što se do sada u praksi pokazalo sigurnim.

Velik broj studija ukazuje na činjenicu da je selenat, bilo da se primjenjuje u tlo ili folijarno, mnogo učinkovitiji od selenita.

Primjerice **Ylaranta** (1983.) navodi da je sadržaj selena u zrnu ječma u iznosu od 100 – 200  $\mu\text{g kg}^{-1}$  postignut aplikacijom 10 – 20 g selenata  $\text{ha}^{-1}$ , dok je za postizanje jednakog sadržaja selena u zrnu ječma bilo potrebno više od 100 g selenita  $\text{ha}^{-1}$ .

**Gupta et al.** (1993.) zabilježili su značajan porast sadržaja selena u zrnu ječma od 33  $\mu\text{g kg}^{-1}$  u kontroli do 234  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pri aplikaciji 10 g selenata  $\text{ha}^{-1}$  u pjeskovito-ilovastom tlu s pH vrijednošću 6,0. Aplikacija 10 g selenita  $\text{ha}^{-1}$  nije rezultirala porastom sadržaja selena u zrnu. Razlog tomu jest što se selenit u mnogim tlima vrlo lako veže na koloide gline, te na taj način postaje biljkama nepristupačan.

**Ylaranta** (1993.) navodi da su osnovna i folijarna aplikacija selenata jednako učinkovite u niskoj količini od 10 g  $\text{ha}^{-1}$  i visokoj količini od 500 g  $\text{ha}^{-1}$ , te da je folijarna aplikacija učinkovitija od osnovne u količini od 50 g  $\text{ha}^{-1}$ . U daljnjim ispitivanjima folijarna aplikacija selenata u 3 do 4 faze razvoja lista, pokazala se učinkovitijom od osnovne aplikacije na glinenom tlu pri pH vrijednosti 6,3. Sličan učinak gnojidbe su imale na pjeskovitom tlu bogatom humusom uz pH vrijednost 4,6, dok je osnovna aplikacija pokazala neznatno veću učinkovitost na pjeskovitom tlu pH vrijednosti 5,0. **Ylaranta** (1994.) također navodi kako je folijarno aplicirani selenat u količini od 10 g  $\text{ha}^{-1}$ , uz uporabu sredstva za vlaženje, povećao razinu selena u zrnu pšenice sa 16 na 168  $\mu\text{g kg}^{-1}$  na glinovitom tlu, a osnovnom aplikacijom na samo 77  $\mu\text{g kg}^{-1}$ .

**Lyons et al.** (2003.) naglašavaju da će iskorištavanje genetske varijabilnosti za koncentraciju mikrohraniva kod poljoprivrednih usjeva vjerojatno biti učinkovita metoda kojom će se poboljšati prehrana cjelokupne populacije. Ako bi se, primjerice, identificirao varijetet pšenice, koji bi istovremeno bio visokog prinosa, te imao dvostruko veću koncentraciju selena u zrnu u odnosu na većinu drugih varijeteta (tj. 100 umjesto 50  $\mu\text{g Se kg}^{-1}$  na tlu s relativno niskim sadržajem selena), unos selena mogao bi se povećati (pod pretpostavkom da se u Australiji pšenicom unosi 50% selena raspoloživog kroz prehranu) s trenutne procijene od 75  $\mu\text{g}$  dnevno na 113  $\mu\text{g}$  dnevno kod odraslih osoba.

**Hao et al.** (2012.) provodili su vegetacijski pokus u posudama s dva kultivara kukuruza (ZD958 i JN218) kako bi proučili utjecaj različitih koncentracija selena u tlu (0, 10, 25 i 50  $\text{mg kg}^{-1}$ ) na njegovu alokaciju u biljnim organima, te na prinos i kvalitetu zrna. Pri niskim koncentracijama ( $\leq 10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) selen je poticao rast kukuruza, te je značajno povećao akumulaciju u biomasi i prinos zrna.

Pri visokim koncentracijama ( $> 25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) selen je inhibirao rast kukuruza, smanjio akumulaciju u suhoj tvari, te prinos i kvalitetu zrna. Vezano za distribuciju u biljnim organima, koncentracija selena najviša je bila u korijenu kukuruza, zatim u listovima pa stabljici, a najmanja u rukavcu lista. Autori navode da su koncentracije u biljkama bile u pozitivnoj korelaciji s koncentracijama selena u tlu, te da je u usporedbi s ZD958, JN218 mogao akumulirati više selena u prirodnom okruženju s niskim koncentracijama selena, no u okruženju s  $10 \text{ mg Se kg}^{-1}$  usvajao je manje količine. Uzimajući iznos akumulacije selena u zrnu i nadzemnim vegetativnim organima kao standard za evaluaciju, zaključuju da se JN218 pokazao boljim na tlima s prirodno niskim sadržajem selena ( $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ili na tlima s visokim sadržajem selena ( $25 \text{ mg kg}^{-1}$ ), dok se ZD958 pokazao prikladnim za sjetvu na tlima bogatim selenom ( $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ), te na selenom onečišćenim tlima ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Na temelju svog istraživanja **Lyons et al.** (2004.) utvrdili su da nema značajne genotipske varijacije s obzirom na koncentracije selena u zrnu među modernim komercijalnim varijetetima krušne ili durum pšenice, pšenoraži i ječma. Međutim, diploidna pšenica *Aegilops tauschii* i raž imale su 42% i 35% više koncentracije selena u zrnu u odnosu na druge žitarice u odvojenim poljskim pokusima i hidroponskom pokusu. Raž je imala 40% viši sadržaj folijarnog selena u odnosu na dva primitivna varijeteta pšenice. Iako genotipske razlike mogu postojati kod modernih varijeteta pšenice, one su prema riječima autora vjerojatno male u usporedbi s varijacijom tala u Australiji i Meksiku.

**Broadley et al.** (2006.) smatraju da bi izborom kultivara s tendencijom akumulacije većih količina selena bilo moguće povećati razinu selena u biljkama namijenjenim za ljudsku prehranu. Navode kako za sada još nema dovoljno podataka o različitosti varijeteta u pogledu akumulacije selena kod većine uzgajanih biljnih vrsta, no također smatraju da se za svaku biljnu vrstu, ukoliko postoji dovoljna genetska varijabilnost u akumulaciji selena i ukoliko je ona nasljedna, mogu razviti tradicionalni uzgojni programi s ciljem povećanja akumulacije selena u zrnu.

Utjecaj aplikacije selna na prinos biomase (zrno, slama, korijen) jare pšenice (varijetet Banti) i akumulaciju selena ispitali su **Ducsay et al.** (2009.). Selen je apliciran u tlo u pokusnim posudama i to u količinama od 0,05 mg kg<sup>-1</sup>, 0,10 mg kg<sup>-1</sup> i 0,20 mg kg<sup>-1</sup>, zajedno s NPK gnojdbom jare pšenice. Aplikacija različitih količina selena u tlo uzrokovala je značajno povećanje njegovog sadržaja u suhoj tvari zrna, slame i korijena pšenice. Najveći sadržaj selena utvrđen je u varijanti gdje je u tlo dodano 0,2 mg Se kg<sup>-1</sup> (0.732 mg kg<sup>-1</sup> u ST zrna, 0.227 mg kg<sup>-1</sup> u ST slame i 1.375 mg kg<sup>-1</sup> u ST korijena).

**Ježek et al.** (2011.) navode krumpir kao vrlo pogodnu kulturu za gnojidbu selenom. Svoju su tvrdnju potkrijepili rezultatima dvogodišnjeg istraživanja u kojemu su koristili dvije sorte konzumnog krumpira, ranu sortu Karin i srednje ranu sortu Ditta. Eksperimentom su željeli ispitati učinak folijarne aplikacije selena (200 ili 400 g ha<sup>-1</sup>) u fazi stvaranja gomolja na spektar aminokiselina u gomoljima navedenih sorti. Zaključuju da je aplikacija selena povećala relativan sadržaj ukupnih esencijalnih (EAA) i neesencijalnih (NEAA) aminokiselina u tretiranim sortama u odnosu na kontrolnu skupinu (Karin: EAA 16,81 – 21,73% i NEAA 14.18 – 18.63%; Ditta: EAA 4,71 – 13,00% i NEAA 5,78 – 6,49%). Osobito je značajan bio porast sadržaja fenilalanina (čak do 48,9%).

Genetski potencijal mahunarki za biofortifikaciju selenom ispitali su **Thavarajah et al.** (2008.). Na temelju analiza ukupne koncentracije selena 19 genotipova leća, uzgajanih na osam lokaliteta u kanadskoj pokrajini Saskatchewan tijekom dvije godine, zaključuju kako svaka potencijalna strategija za obogaćivanje leće mikrohranivima zahtijeva poman odabir lokaliteta koji umanjuje prostornu varijabilnost sadržaja selena u tlu. Rezultati istraživanja ukazuju da su tla na kojima je leća uzgajanja u svrhu ovog pokusa, bogata selenom (37 – 301 μg kg<sup>-1</sup>) i da se sadržaj selena u leći kretao između 425 i 673 μg kg<sup>-1</sup>, osiguravajući tako 77–122% preporučenog dnevnog unosa ovog za ljude esencijalnog elementa u 100 g suhe leće.

### 3. Materijal i metode

#### 3.1. Izbor proizvodne površine i sorte pšenice

Poljski pokus agrofertifikacije pšenice selenom postavljen je u Srijemu, na karbonatnom tlu južno od naselja Banovci (u blizini naselja Tovarnik). Za pokus su odabrane tri sorte pšenice:

1. Divana, hrvatski standard za kvalitetu,
2. Srpanjka, hrvatski standard za visinu prinosa i najzastupljenija sorta u proizvodnji na hrvatskim poljima i
3. Simonida, novosadska sorta visokog prinosa i vodeća sorta pšenice u poljoprivrednoj proizvodnji u Srbiji.

#### 3.2. Analize tla

Prosječni uzorci oraničnog sloja tla (0-30 cm) izabranih proizvodnih površina prikupljeni su agrokemijskom sondom, te osušeni, samljeveni, prosijani i pripremljeni za agrokemijske analize sukladno standardnom propisanom postupku (ISO, 1994a)

##### 3.2.1. pH reakcija

Reakcija tla, odnosno pH vrijednost definirana kao negativan dekadski logaritam koncentracije vodikovih iona ( $H^+$ ), indikator je kiselosti ili bazičnosti tla i jedan od najznačajnijih pokazatelja kemijskih svojstava tla važnih za ishranu bilja. S povećanjem količine vodikovih iona u tlu smanjuje se pH vrijednost tla, što ukazuje na porast kiselosti i obrnuto. Na pH vrijednost tla utječu njegove mineralne i organske komponente. pH vrijednost uzoraka tla određena je elektrometrijskim mjerenjem pomoću pH-metra (ISO, 1994b). Aktualna kiselost određena je u 1:5 (v/v) suspenziji tla s destiliranom vodom, a supstitucijska kiselost u 1M KCl otopini.

### 3.2.2. Sadržaj humusa u tlu

U tloznanstvu humus predstavlja svu organsku tvar u tlu, nastalu od biljnih i životinjskih ostataka, koja je dosegla određeni stupanj stabilnosti. Nastaje procesom humifikacije, koji je ujedno najznačajniji proces u tlu, uvelike utječe na teksturu tla, te doprinosi retenciji vode i hraniva. Količina i kakvoća organske tvari u tlu utječu na rast biljaka, ali i na čitav proces nastanka tla koji je usko povezan uz njenu prisutnost. Sadržaj humusa u tlu određen je bikromatnom metodom, odnosno mokrim spaljivanjem organske tvari tla kalijevim bikromatom, a koncentracija humusa u uzorcima nakon spaljivanja organske tvari određena je spektrofotometrijski (ISO, 1998.).

### 3.2.3. Koncentracija AL- pristupačnog fosfora i kalija

Lakopristupačni fosfor i kalij u tlu određeni su AL metodom (Egnér, et. al., 1960.), koja se temelji na ekstrakciji biljkama pristupačnog fosfora i kalija pufernom otopinom amonij – laktata čiji pH iznosi 3,75. AL otopina sastoji se od mliječne kiseline, 96%-tne octene kiseline i amonij – acetata. Nakon ekstrakcije fosfor u filtratu određen je "plavom fosfo-molibdenskom" metodom, a njegova je koncentracija izmjerena spektrofotometrijski. Fosfor određen po ovoj metodi najznačajniji je za ishranu bilja, jer se odnosi na frakciju topivu u vodi i slabim kiselinama. Koncentracije biljkama pristupačnog kalija (vodotopivi oblik i izmjenjivi kalij na vanjskim površinama minerala gline) očitane su direktno iz ekstrakta tla atomskim apsorpcijskim spektrofotometrom (ASS). Dobiveni rezultati izražavaju se u mg  $P_2O_5$  i  $K_2O$  na  $100\text{ g}^{-1}$  tla i ukazuju na količinu hraniva u tlu koja je biljci pristupačna.

### 3.2.4. Određivanje sadržaja karbonata u tlu

Sadržaj karbonata u tlu određen je volumetrijskom metodom (ISO, 1995a), odnosno mjerenjem volumena ugljikovog dioksida ( $CO_2$ ) oslobođenog iz karbonata tla uslijed djelovanja klorovodične kiseline (HCl).



Za mjerenje volumena izdvojenog CO<sub>2</sub> (u %) koristi se Scheiblerov kalcimetar sastavljen od tri staklene cijevi (A, B i C), međusobno povezane gumenim cijevima. Razvijeni CO<sub>2</sub> hvata se i mjeri u graduiranoj cijevi kalcimetra i preračunava u postotak kalcijevog karbonata (CaCO<sub>3</sub>) (Lončarić, 2006.).

### *3.2.5. Određivanje ukupnih teških metala i Se u tlu*

Uzorci tla razoreni su zlatotopkom (otopina E), propisanom metodom (ISO, 1995b), prema kojoj je uzorak tla prenesen u teflonsku kivetu i preliven s 12 mL svježe pripremljene zlatotopke (1/3 HNO<sub>3</sub> + 2/3 HCl). Nakon razaranja obavljena je filtracija u odmjerne tikvice, koje su potom nadopunjene destiliranom vodom do volumena 100 mL. Koncentracije teških metala i seleno mjerene su u ekstraktima tla direktno na induktivno spregnutoj plazmi optičkom emisijskom spektrometrijom (ICP-OES) i izražene u mg kg<sup>-1</sup> tla.

## 3.3. Vegetacijski pokus

Vegetacijski pokus proveden je s tri sorte pšenice (Divana, Srpanjka i Simonida) u vegetaciji 2011./12. na proizvodnim površinama PZ "Banovci", u Vukovarsko-srijemskoj županiji.

### *3.3.1. Postavljanje i provedba pokusa tijekom vegetacije*

Osnovna gnojidba proizvodne površine u Banovcima provedena je 11. 10. 2011. s 200 kg/ha NPK gnojiva 8:16:24 i 100 kg/ha uree. Tijekom ožujka (02. 03. 2012.) i travnja (20. 04. 2012.) provedene su dvije prihrane pšenice sa po 135 kg/ha KAN-a. Ukupno je mineralnom gnojidbom u proizvodnji pšenice aplicirano 127 kg/ha N, 32 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 48 kg/ha K<sub>2</sub>O.

Pokusne parcelice bile su površine 20 m<sup>2</sup> (4 × 5 m) s razmakom između parcelica 1 m. Tako je ukupna površina pokusa bila 2.925 m<sup>2</sup> (65 × 45 m) U pokusu su primijenjena 4 tretmana pšenice selenom, koji su postavljeni u 4 ponavljanja prema prikazanoj shemi (shema 1).

Tretmani pšenice selenom:

1. Kontrola - bez aplikacije selena (Kontrola)
2. Folijarno – folijarna aplikacija 5 g Se ha<sup>-1</sup> (Se5F)
3. Folijarno – folijarna aplikacija 10 g Se ha<sup>-1</sup> (Se10F)
4. Aplikacija po površini tla - 10 g Se ha<sup>-1</sup> (Se10T).

Divana				Srpanjka				Simonida					
	3		4		3		4		3		4	5 m	7 m
	2	4	3		2	4	3		2	4	3	5 m	13 m
	1	3	2		1	3	2		1	3	2	5 m	19 m
4		2	1	4		2	1	4		2	1	5 m	25 m
3		1		3		1		3		1		5 m	31 m
2				2				2				5 m	37 m
1	4			1	4			1	4			5 m	43 m
2	4m	4m	4m	4m	4m	4m	4m	4m	4m	4m	4m		45 m
2	19 m			2	19 m			2	19 m			2	
2	21			23	42 m			44	63 m			65	

Shema 1. Raspored pokusnih tretmana

Sjetva pokusa provedena je 14. 10. 2011. Norma sjetve za sortu Divana bila je 230 kg/ha (500 kljavih zrna/m<sup>2</sup>), a za sorte Srpanjka i Simonida 280 kg/ha (650 kljavih zrna/m<sup>2</sup>). Žetva pokusa i uzorkovanje zrna pšenice provedeno je 02. 07. 2012. godine.

### 3.3.2. Aplikacija selena

Aplikacija Se provedena je prema shemi gojidbenih tretmana različitim količinama ili načinom aplikacije. Za gnojidbu je korišten natrijev selenat (Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub>), uz dodatak adheziva (0,1 % Herbovit v/v) za folijarne aplikacije, i primijenjen je po tretmanima na slijedeće načine:

1. Kontrola - bez aplikacije selena
2. Folijarna aplikacija Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> u količini 5 g Se ha<sup>-1</sup> (aplikacija 600 l/ha otopine)
3. Folijarna aplikacija Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> u količini 10 g Se ha<sup>-1</sup> (aplikacija 600 l/ha otopine)
4. Aplikacija Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> otopinom po površini tla u količini 10 g Se ha<sup>-1</sup> (600 l/ha otopine).

Sve su aplikacije selena provedene istog dana, a sorte su bile između faza polovine klasanja (Feekes 10.3) i početka cvatnje (Feekes 10.51).

### *3.3.3. Uzorkovanje pšenice i žetva*

Žetva pšenice obavljena je u srpnju (02. 07. 2012.), ručnim odsijecanjem cijelih biljke neposredno iznad površine tla vinogradarskim škarama s površine 1 m<sup>2</sup> (2 puta po 0,5 m<sup>2</sup>) radi utvrđivanja visine prinosa i žetvenog indeksa. Istovremeno su pripremljeni uzorci 20 vlati za sva ponavljanja kod sve tri sorte pšenice. Uzorci su spremljeni u papirnate vrećice i označeni na adekvatan način (oznaka lokaliteta, sorte i tretmana). Na temelju uzoraka 20 vlati kasnije su utvrđene komponente prinosa. Nakon što je završena ručna žetva, obavljena je i žetva na ostatku svake pokusne parcelice žitnim kombajnom. Svi su uzorci zrna s cijelih parcelica odvagani, te spremljeni za analize i uporabu u daljnjim pokusima.

## 3.4. Određivanje komponenti prinosa i agronomskih svojstava pšenice

Broj klasova pšenice po jedinici površine utvrđen je brojanjem svih klasova u uzorku pšenice uzetom ručnom žetvom s površine 1 m<sup>2</sup>. Istovremeno, većina agronomskih svojstva pšenice utvrđena je na uzorcima 20 vlati (visina vlati i dužina klasa (izraženo u cm), masa klasa i stabljike, te masa klasa (izraženo u g), broj fertilnih i sterilnih klasića u klasu). Ukupna nadzemna masa utvrđena je odvagom uzorka pšenice uzetog ručnom žetvom s površine 1 m<sup>2</sup>, a masa zrna nakon vršidbe istog uzorka. Hektolitarska masa izmjerena je na Dickey-John vlagomjeru (model GAC 2100 Master), također nakon vršidbe.

## 3.5. Priprema i analiza uzoraka zrna pšenice

Zrno pšenice nakon žetve transportirano je u prostoriju za zaprimanje i pripremu uzoraka na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku, te je uslijedila priprema uzoraka za analizu. Iz svakog uzorka izdvojeno je 30 g zrna, koje je zatim samljeveno na posebnim mlinovima za meljavu uzoraka bez rezidua teških metala („heavy metal free“ mlinovi), marke Retsch (modeli Knife Mill GRINDOMIX GM 200 i Mortar Grinder MR 200).

Uzorci zrna pšenice pripremljeni su za mjerenje koncentracije Se razaranjem mokrim postupkom (razaranje dušičnom kiselinom) mikrovalnom tehnikom. U teflonsku posudu odvagano je 0,5 g suhog uzorka mljevenog cjelovitog zrna pšenice i preliveno s 9 ml 65% HNO<sub>3</sub> i 2 ml 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Nakon postupka digestije uz kontrolirani pritisak i temperaturu u mikrovalnoj pećnici, otopina je profiltrirana kroz dvostruki naborani filter papir u odmjerne posude. Koncentracije Se u otopinama uzoraka zrna pšenice utvrđene su nakon redukcije direktnim mjerenjem optičkom emisijskom spektrometrijskom tehnikom na ICP-OES-u. Koncentracije su zatim preračunate na  $\mu\text{g kg}^{-1}$  suhe tvari zrna pšenice.

### 3.6. Priprema peleta i hranidba štakora

Zrno pšenice sorte Divana s površina kontrolnog tretmana (kontrola, bez aplikacije Se) i s površina folijarne aplikacije (Se, aplikacija 10 g Se ha<sup>-1</sup>), korišteno je u pripremi smjese pšenice s ostalim komponentama (Tablica 1) za pelete kojima je provedena hranidba Sprague-Dawley štakora u vivarijskim prostorima Medicinskog fakulteta u Osijeku. Priređeno je 30 kg peleta (promjer peleta 5 mm) od obje smjese (kontrolni tretman i Se tretman pšenice), peletama je provedena hranidba po 15 muških štakora u svakoj grupi (kontrolna i Se grupa) tijekom 10 tjedana. Nakon žrtvovanja životinja, uzorkovano je 15 različitih tkiva žrtvovanih životinja obje grupe, te su uzorci pluća, bubrega, jetre, krvi, slezene, srčanog mišića, timusa, limfnih čvorova, tankog crijeva, masnog tkiva, kože, kosti, mišićnog tkiva, malog mozga i velikog mozga pohranjeni na -20°C, te je kasnijim razaranjem svježe tvari uzorka istim postupkom kao i razaranje zrna pšenice (poglavlje 3.5.), priređena matična otopina za određivanje koncentracije Se. Koncentracije su zatim preračunate na  $\text{mg kg}^{-1}$  svježe tvari tkiva štakora.

Tablica 1. Udio komponenti u pripremi smjesa za pelete i koncentracije Se u početnim komponentama

<b>Br.</b>	<b>komponenta</b>	<b>% udio u smjesi pelete</b>	<b>koncentracija Se (µg/kg)</b>
1	zrno pšenice	68,6	kontrola bez Se: 30 tretman sa Se: 363
2	dehidrirana lucerna	5,0	156
3	saćma soje	8,6	45
4	pogača suncokreta	4,0	281
5	stočni kvasac	5,0	108
6	riblje brašno	4,0	
7	biljno ulje	0,5	
8	fosfonal	1,4	-
9	vapnenac	1,5	-
10	kuhinjska sol	0,3	-
11	vitaminsko mineralni premiks	1,0	
12	lizin	0,1	-
13	metionin	0,1	-

### 3.7. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka obavljena je softverskim paketima Microsoft Excel i SAS for Windows 9.1.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Tijekom obrade korištene su regresijske i korelacijske metode, te analiza varijance (ANOVA) uz test najmanje značajne razlike (LSD).

## 4. Rezultati

### 4.1. Osnovna agrokemijska svojstva tla

Analizirana osnovna agrokemijska svojstva tla obuhvaćaju pH reakciju tla (aktualnu i supstitucijsku kiselost), sadržaj humusa u tlu, količine lakopristupačnog fosfora i kalija, te udio karbonata u tlu. Na temelju navedenih agrokemijskih svojstava tla utvrđuje se plodnosti tla, mogućnost korištenja tla za uzgoj različitih usjeva, te primjenu različitih tehnologija uzgoja (konvencionalna, integrirana ili ekološka poljoprivreda). Informacije o osnovnim agrokemijskim svojstvima tla izuzetno su značajne pri izradi gnojidbenih preporuka.

Rezultati analiza agrokemijskih svojstava tla s lokaliteta Banovci (Tablica 2), ukazuju da se radi o karbonatnom tlu (9,26 %  $\text{CaCO}_3$ ) alkalne reakcije u vodenoj suspenziji tla ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,48$ ) i slabo alkalne izmjenjive reakcije u suspenziji tla u kalij kloridu ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 7,56$ ), srednje humoznom tlu (2,39%), koje je visoko opskrbljeno fosforom (AL- $\text{P}_2\text{O}_5 = 31,62 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ ; klasa D) i dobro opskrbljeno kalijem (AL- $\text{K}_2\text{O} = 27,34 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ ; klasa C).

Tablica 2. Agrokemijska svojstva tla

Lokalitet	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\text{pH}_{\text{KCl}}$	humus (%)	$\text{CaCO}_3$ (%)	AL- $\text{P}_2\text{O}_5$ (mg/100 g)	AL- $\text{K}_2\text{O}$ (mg/100 g)
Banovci	8,48	7,56	2,39	9,26	31,62	27,34

#### 4.1.1. Ukupna koncentracija teških metala i Se

Ukupne koncentracije teških metala i selena u tlu prikazane su u Tablici 3. U najvećoj koncentraciji nalazi se željezo, zatim slijede mangan, cink, bakar, nikal, kobalt, krom, olovo, te kadmij, dok je nemetal selen najslabije zastupljen.

Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja, vrijednosti teških metala u tlu s lokaliteta Banovci niže su od maksimalno dopuštenih količina (MDK) teških metala u poljoprivrednim tlima, iz čega slijedi da se u pogledu onečišćenja radi o čistom, neopterećenom zemljištu.

Tablica 3. Ukupne koncentracije teških metala i Se u tlu (mg/kg)

Lokalitet	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Se
Banovci	25.165	435	50,17	17,96	25,56	9,30	36,46	11,49	0,433	0,191

## 4.2. Komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice

Za sve tri sorte pšenice utvrđene su komponente prinosa i agronomska svojstva, odnosno sklop pšenice (broj vlati/m<sup>2</sup>), visina biljaka, dužina klasa, broj fertilnih i sterilnih klasića po klasu, hektolitarska masa, ukupan prirod nadzemne mase, prinos zrna te žetveni indeks. Također su zabilježene i statistički značajne razlike među sortama za pojedine komponente prinosa, tj. agronomska svojstva pšenice.

### 4.2.1. Sklop pšenice

Utvrđen je najniži sklop pšenice kod sorte Simonida, a najveći kod sorte Srpanjka. Između sve tri sorte utvrđena je statistički vrlo značajna razlika u ostvarenom sklopu (Tablica 4) koji se u prosjeku kretao od 727 do 906, dok tretiranje usjeva pšenice selenom nije statistički značajno utjecalo na broj vlati, tj. sklop pšenice (Tablica 5).

### 4.2.2. Visina biljaka

Između sve tri sorte utvrđena je statistički vrlo značajna razlika u visini biljaka (Tablica 4) koja se u prosjeku kretala od 58,6 do 92,2. Najvišom se pokazala sorta Divana, dok je najniža od tri sorte Srpanjka. Tretiranje usjeva pšenice selenom nije statistički značajno utjecalo na visinu biljaka (Tablica 5).

Tablica 4. Utjecaj sorte na komponente prinosa i agronomska svojstva

Agronomska svojstva	Divana	Srpanjka	Simonida	LSD <sub>0,05</sub>	P	Prosjek
Broj vlati/m <sup>2</sup>	792 <sup>B</sup>	906 <sup>A</sup>	727 <sup>C</sup>	59	<0,0001	808
Visina biljke (cm)	92,2 <sup>A</sup>	58,6 <sup>C</sup>	79,4 <sup>B</sup>	3,2	<0,0001	78,8
Dužina klasa (cm)	8,1 <sup>B</sup>	7,5 <sup>C</sup>	9,4 <sup>A</sup>	0,4	<0,0001	8,4
Broj fertilnih klasića	13,7 <sup>B</sup>	16,5 <sup>A</sup>	16,4 <sup>A</sup>	0,6	<0,0001	15,5
Broj sterilnih klasića	1,7 <sup>A</sup>	1,3 <sup>B</sup>	1,2 <sup>B</sup>	0,2	<0,0001	1,4
Hektolitarska masa	82,9 <sup>B</sup>	82,5 <sup>B</sup>	83,8 <sup>A</sup>	0,5	<0,0001	83,1
Prirod (t/ha ST)	15,29 <sup>B</sup>	17,12 <sup>A</sup>	16,31 <sup>AB</sup>	1,2	0,0133	16,24
Prinos zrna (t/ha)	5,53 <sup>C</sup>	9,16 <sup>A</sup>	8,37 <sup>B</sup>	0,5	<0,0001	7,69
Prirod slame (t/ha)	9,75 <sup>A</sup>	7,96 <sup>B</sup>	7,94 <sup>B</sup>	0,9	0,0002	8,56
Žetveni indeks	36,5 <sup>B</sup>	53,4 <sup>A</sup>	51,3 <sup>A</sup>	2,4	<0,0001	47,1

<sup>ABC</sup> razlike između vrijednosti u određenom redu (između sorti) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

#### 4.2.3. Dužina klasa

Najduži klasovi utvrđeni su kod novosadske sorte Simonida, a najkraći kod sorte Srpanjka. Utvrđena je i statistički vrlo značajna razlika između sve tri sorte u dužini klasova (Tablica 4) koja se u prosjeku kretala od 7,5 do 9,4. Tretiranje usjeva pšenice selenom nije statistički značajno utjecalo na dužinu klasova (Tablica 5).

#### 4.2.4. Broj fertilnih i sterilnih klasića po klasu

Broj fertilnih klasića po klasu u prosjeku se kretao od 13,7 kod sorte Divana do 16,5 kod sorte Srpanjka. Tako je najveći broj sterilnih klasića po klasu utvrđen kod sorte Divana, a najmanji kod sorte Srpanjka. Broj sterilnih klasića po klasu u prosjeku se kretao od 1,3 do 1,7. Statistički značajna razlika u pogledu broja fertilnih i sterilnih klasića po klasu (Tablica 4) utvrđena je između sorti Divana i Srpanjka te Divana i Simonida, dok između sorti Srpanjka i Simonida nema statistički značajne razlike. Tretiranje usjeva pšenice selenom nije statistički značajno utjecalo na broj fertilnih i sterilnih klasića po klasu (Tablica 5).



#### 4.2.5. Hektolitarska masa

Hektolitarska masa u prosjeku se kretala od 82,5 do 83,8 (Tablica 4). Najveća hektolitarska masa utvrđena je kod sorte Simonida, a najmanja kod sorte Srpanjka. Statistički značajna razlika u hektolitarskoj masi utvrđena je između sorti Simonida i Divana te Simonida i Srpanjka, dok između sorti Divana i Srpanjka nema statistički značajne razlike. Na hektolitarsku masu nije statistički značajno utjecalo tretiranje usjeva pšenice selenom (Tablica 5).

#### 4.2.6. Ukupan prirod nadzemne mase

Najviši ukupan prirod nadzemne mase utvrđen je kod sorte Srpanjka, dok je najniži zabilježen kod sorte Divana (Tablica 4). Između sorti Divana i Srpanjka utvrđena je statistički značajna razlika u ukupnom prirod nadzemne mase koji se u prosjeku kretao od 15,29 do 17,12. Između sorti Divana i Simonida te Srpanjka i Simonida nema statistički značajne razlike kako niti kod utjecaja tretmana usjeva pšenice selenom na ukupan prirod nadzemne mase.

Tablica 5. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva

Agronomska svojstva	Kontrola 0 g Se	Folijarno 5 g Se	Folijarno 10 g Se	Površinski 10 g Se	LSD <sub>0,05</sub>	P
Broj vlati/m <sup>2</sup>	813	809	829	781	ns	0,56
Visina biljke (cm)	75,4	76,6	77,0	78,1	ns	0,56
Dužina klasa (cm)	8,3	8,3	8,4	8,4	ns	0,92
Broj fertilnih klasića	15,5	15,6	15,6	15,5	ns	0,99
Broj sterilnih klasića	1,5	1,4	1,4	1,3	ns	0,43
Hektolitarska masa	82,8	83,0	83,0	83,2	ns	0,24
Prirod (t/ha ST)	16,64	15,98	16,43	15,92	ns	0,67
Prinos zrna (t/ha)	7,70	7,75	7,72	7,60	ns	0,96
Prirod slame (t/ha)	8,95	8,22	8,71	8,32	ns	0,49
Žetveni indeks	45,9	48,3	46,9	47,2	ns	0,37

#### 4.2.7. *Prinos zrna*

Najviši prinos zrna utvrđen je kod sorte Srpanjka, a najniži kod sorte Divana. Između sve tri sorte pšenice utvrđena je statistički značajna razlika u prinosu zrna, koji se u prosjeku kretao od 5,53 do 9,16 (Tablica 4). Tretiranje usjeva pšenice selenom nije statistički značajno utjecalo na prinos zrna (Tablica 5).

#### 4.2.8. *Prirod slame*

Prirod slame u prosjeku se kretao od 7,94 do 9,75 (Tablica 4). Najviši prirod slame utvrđen je kod sorte Divana, a najniži kod sorte Simonida. Statistički značajna razlika u prirodslame zabilježena je između sorti Divana i Srpanjka te Divana i Simonida, dok između sorti Srpanjka i Simonida nema statistički značajne razlike. Aplikacija selena niti u ovom slučaju nije statistički značajna (Tablica 5).

#### 4.2.9. *Žetveni indeks*

Najviši žetveni indeks zabilježen je kod sorte Srpanjka, dok je najniži žetveni indeks zabilježen kod sorte Divana, a u prosjeku se kretao od 36,5 do 53,4 (Tablica 4). Statistički značajna razlika utvrđena je između sorti Divana i Srpanjka te Divana i Simonida, dok između sorti Srpanjka i Simonida nema statistički značajne razlike. Nije utvrđena statistički značajna razlika između kontrole i tretmana (Tablica 5).

### 4.3. *Koncentracija i odnošenje selena*

Na temelju analiza zrna pšenice utvrđene su koncentracije selena u zrnu za sve tri sorte. Osim utjecaja sorte na koncentracije selena u zrnu, utvrđen je i utjecaj sorte na odnošenje selena prinosom zrna. Pored utjecaja pojedine sorte, također je promatran te utvrđen utjecaj svakog tretmana na koncentracije selena u zrnu pšenice kao i na odnošenje selena prinosom zrna.

#### 4.3.1. *Koncentracija Se u zrnu pšenice*

Najviša koncentracija selena u zrnu pšenice utvrđena je kod sorte Divana, a najniža kod sorte Simonida. Koncentracija selena u zrnu u prosjeku se kretala od 237 do 280  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Tablica 6) ovisno o sorti, no statistički značajne razlike u koncentracijama između sorti nema.

Između kontrole i tretmana zabilježena je statistički značajna razlika, budući da su tretmani značajno utjecali na povećanje koncentracije selena u zrnu pšenice (Tablica 7). Najviše su vrijednosti utvrđene pri Se10F, a najniže pri Se5F. U prosjeku se koncentracija selena u zrnu pšenice u ovisnosti o tretmanu kretala od 200 do 410  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Statistički značajna razlika u koncentraciji selena u zrnu pšenice utvrđena je za sve tretmane u odnosu na kontrolu bez selena (Tablica 7), te između Se5F i dva tretmana s 10 g selena (Se10F i Se10T).

Tablica 6. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna

Se	Divana	Srpanjka	Simonida	LSD <sub>0,05</sub>	P	Prosjek
Koncentracija Se ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	<b>280</b>	<b>264</b>	<b>237</b>	ns	0,683	260
Oдноšenje Se ( $\text{g ha}^{-1}$ )	<b>1,54<sup>B</sup></b>	<b>2,45<sup>A</sup></b>	<b>1,99<sup>AB</sup></b>	0,90	0,134	1,99

<sup>AB</sup> razlike između vrijednosti u određenom redu (između sorti) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

#### 4.3.2. Odnosenje Se prinosom zrna pšenice

U prosjeku se ukupno odnošenje selena prinosom zrna po sortama kretalo od 1,54 do 2,45  $\text{g ha}^{-1}$  (Tablica 6), pri čemu su najviše vrijednosti zabilježene kod sorte Srpanjka, a najmanje kod sorte Divana.

Statistički značajna razlika u odnošenju selena prinosom zrna zabilježena je između sorti Srpanjka i Divana, dok između sorti Srpanjka i Simonida te Divana i Simonida nema statistički značajne razlike.

Utjecaj tretmana na odnošenje selena prinosom zrna vrlo je izražen, osobito kod tretmana Se10F. Statistički značajna razlika utvrđena je između kontrole i svih tretmana (Tablica 7) te između Se5F i tretmana s 10 g selena (Se10F i Se10T).

Tablica 7. Utjecaj tretmana na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna

Se	Kontrola 0 g Se	Folijarno 5 g Se	Folijarno 10 g Se	Površinski 10 g Se	LSD <sub>0,05</sub>	P
Koncentracija Se ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	52 <sup>C</sup>	200 <sup>B</sup>	410 <sup>A</sup>	379 <sup>A</sup>	117	<0,0001
Odnosenje Se ( $\text{g ha}^{-1}$ )	0,44 <sup>C</sup>	1,47 <sup>B</sup>	3,15 <sup>A</sup>	2,91 <sup>A</sup>	1,03	<0,0001

<sup>ABC</sup> razlike između vrijednosti u određenom redu (između kontrole i tretmana sa Se) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

#### 4.4. Koncentracije Se u tkivima štakora

U svrhu istraživanja provedena je hranidba po 15 muških štakora podijeljenih u dvije grupe, kontrolnu i Se grupu, u trajanju od 10 tjedana. Nakon žrtvovanja životinja, provedena je analiza 15 različitih tipova tkiva životinja iz obje grupe. Na temelju koncentracija selena utvrđen je utjecaj konzumacije zrna pšenice obogaćene selenom na njegovu akumulaciju u analiziranim tkivima.

Rezultati analiza tkiva pokazuju da se u prosjeku koncentracija selena kretala od 0,433 u kontroli do 0,563  $\text{mg kg}^{-1}$  kod jedinki koje su konzumirale brikete pripravljene od zrna pšenice obogaćene selenom. Konzumacija briketa utjecala na povećanje koncentracije selena u svim analiziranim tkivima pokusnih životinja, od čega je u 10 tipova tkiva povećanje koncentracije Se i statistički značajno (Tablica 8).

Statistički značajna razlika između kontrole i tretmana selenom zabilježena je u bubrezima, jetri, krvi, slezeni, timusu, koži, kosti, mišićnom tkivu, malom mozgu i mozgu. Najviša je koncentracija selena utvrđena u bubrezima gdje iznosi 1,079  $\text{mg kg}^{-1}$  u kontrolnim uzorcima i 1,479  $\text{mg kg}^{-1}$  u uzorcima štakora hranjenih pšenicom obogaćenom selenom.

Najniža koncentracija selena utvrđena je u kontrolnim uzorcima mišićnog tkiva gdje iznosi 0,093 mg kg<sup>-1</sup>, dok je kod štakora hranjenih pšenicom obogaćenom selenom koncentracija značajno povećana na 0,209 mg kg<sup>-1</sup>.

Tablica 8. Utjecaj tretmana na koncentracije Se u organima štakora

Koncentracija Se (mg kg <sup>-1</sup> )	Broj uzoraka (Kont + Se)	Kontrola	+Se	LSD <sub>0,05</sub>	P	Prosjek
Pluća	8 (4+4)	1,270	1,304	1,112	ns	1,287 <sup>a</sup>
Bubrezi	18 (9+9)	<b>1,079<sup>B</sup></b>	<b>1,479<sup>A</sup></b>	<b>0,095</b>	<0,0001	1,279 <sup>a</sup>
Jetra	17 (8+9)	<b>0,634<sup>B</sup></b>	<b>0,899<sup>A</sup></b>	<b>0,096</b>	<0,0001	0,775 <sup>b</sup>
Krv	15 (8+7)	<b>0,382<sup>B</sup></b>	<b>0,800<sup>A</sup></b>	<b>0,408</b>	0,047	0,577 <sup>c</sup>
Slezena	12 (6+6)	<b>0,357<sup>B</sup></b>	<b>0,464<sup>A</sup></b>	<b>0,038</b>	<0,0001	0,410 <sup>d</sup>
Srce	16 (8+8)	0,378	0,399	0,092	ns	0,388 <sup>de</sup>
Timus	8 (4+4)	<b>0,272<sup>B</sup></b>	<b>0,374<sup>A</sup></b>	<b>0,052</b>	0,0029	0,323 <sup>def</sup>
Limfni čvor	16 (7+9)	0,225	0,316	0,100	ns	0,277 <sup>def</sup>
Crijevo	7 (3+4)	0,233	0,291	0,075	ns	0,266 <sup>defg</sup>
Masno tkivo	8 (4+4)	0,141	0,314	0,338	ns	0,228 <sup>efg</sup>
Koža	8 (4+4)	<b>0,158<sup>B</sup></b>	<b>0,209<sup>A</sup></b>	<b>0,030</b>	0,0065	0,184 <sup>fg</sup>
Kost	4 (1+3)	<b>0,129<sup>B</sup></b>	<b>0,177<sup>A</sup></b>	<b>0,011</b>	0,0027	0,165 <sup>fg</sup>
Mišićno tkivo	5 (2+3)	<b>0,093<sup>B</sup></b>	<b>0,209<sup>A</sup></b>	<b>0,040</b>	0,0027	0,162 <sup>fg</sup>
Mali mozak	8 (4+4)	<b>0,128<sup>B</sup></b>	<b>0,168<sup>A</sup></b>	<b>0,023</b>	0,0055	0,148 <sup>fg</sup>
Mozak	16 (7+9)	<b>0,102<sup>B</sup></b>	<b>0,150<sup>A</sup></b>	<b>0,009</b>	<0,0001	0,129 <sup>g</sup>
Prosjek	168 (79+87)	<b>0,433<sup>B</sup></b>	<b>0,563<sup>A</sup></b>	<b>0,062</b>	<0,0001	

<sup>abcd<sup>efg</sup></sup> razlike između vrijednosti u koloni koje u oznaci ne sadrže isto slovo statistički su značajne (razlike prosječnih koncentracija Se između pojedinih organa)

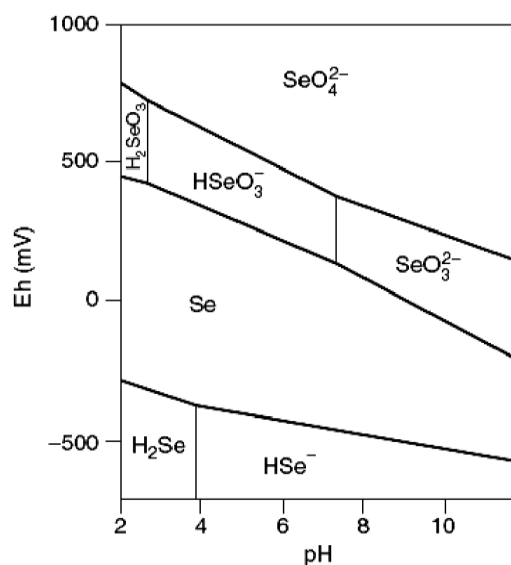
<sup>AB</sup> razlike između vrijednosti u određenom redu (između kontrole i tretmana sa Se) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

## 5. Rasprava

### 5.1. Utjecaj agrokemijskih svojstava tla na razvoj pšenice i usvajanje Se

Rezultati analize uzoraka tla s lokaliteta Banovci, na kojemu je proveden vegetacijski pokus u svrhu ovog istraživanja, ukazuju da se radi o srednje humoznom, karbonatnom tlu, koje je visoko opskrbljeno fosforom, te dobro opskrbljeno kalijem. Iako je pH vrijednost tla nešto viša od vrijednosti koju pšenica preferira, adekvatna je za njezin normalan rast i razvoj. Koncentracije teških metala i selena niže su od maksimalno dopuštenih količina (MDK) teških metala u poljoprivrednim tlima, što znači da je zemljište čisto i neopterećeno te prema tome pogodno za poljoprivrednu proizvodnju, odnosno pogodno za uzgoj pšenice.

**Öbron et al.** (1995.) proučavali su kako pH vrijednosti tla (kao jedan od najznačajnijih faktora koji utječu na topivost i raspoloživost elemenata u tragovima u obradivim tlima) te sadržaj organske tvari utječu na koncentracije Cd, Ni, Zn, Cu, Mn, Cr, Al i Se u jaroj pšenici, krumpiru i mrkvi.



Slika 1. Distribucija Se u tlu u ovisnosti o pH reakciji tla i redoks potencijalu

Izvor: **Ježek et al.** (2012.)

Autori zaključuju da u slučaju kada se depozicija kiselina, u kombinaciji s drugim procesima acidifikacije tla ne dovede u ravnotežu kalcizacijom, dolazi do smanjenja koncentracije selena i povećanja koncentracije teških metala, odnosno drugih elemenata u tragovima u usjevima namijenjenima ljudskoj prehrani.

S obzirom na alkalnu reakciju u vodenoj suspenziji tla ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,48$ ) i slabo alkalnu izmjenjivu reakciju u suspenziji tla u kalij kloridu ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 7,56$ ), tlo s lokaliteta Banovci pokazalo se pogodnim za istraživanje utjecaja tretmana usjeva pšenice selenom na povećanje koncentracije selena u zrnu (slika 1).

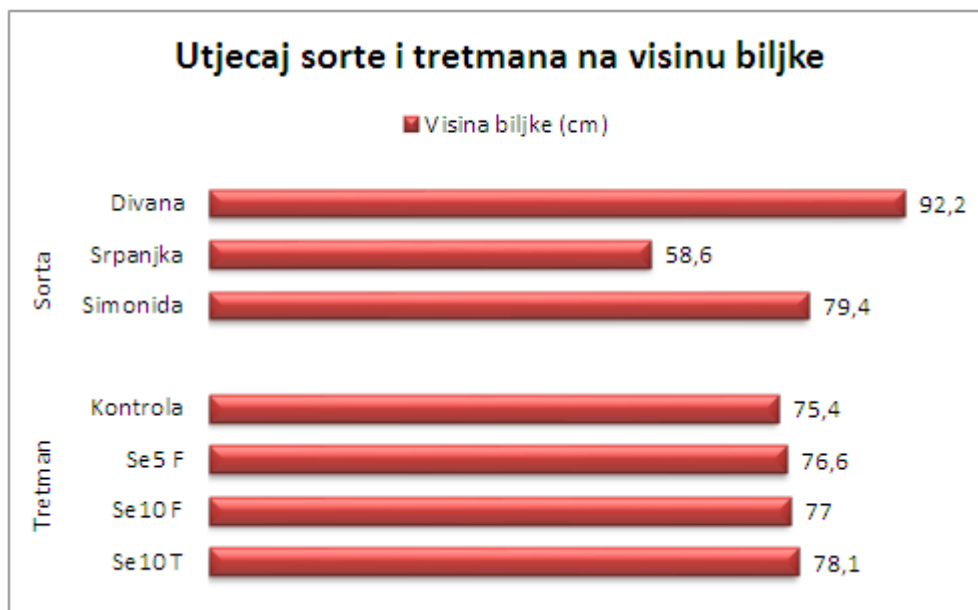
## 5.2. Utjecaj sorte i tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice

Komponente prinosa i agronomska svojstva utvrđene su za sve tri sorte pšenice. Iako su se sorte razlikovale u pogledu agronomskih svojstava, što je i očekivano, statistički značajne razlike između sve tri sorte utvrđene su za samo četiri svojstava. Tako je, primjerice, utvrđeno da se sve tri sorte pšenice međusobno statistički značajno razlikuju s obzirom na ostvaren sklop, dostignutu visinu biljke, dužinu klasa te prinos zrna.



Graf 1. Utjecaj sorte i tretmana na broj vlati/m<sup>2</sup> (sklop pšenice)

Najveći sklop utvrđen je kod sorte Srpanjka (grafikon 1.), najvišom se pokazala Divana (grafikon 2.), a najduži klasovi utvrđeni kod novosadske sorte Simonida (grafikon 3.). Najbolji rezultat u pogledu prinosa zrna ostvarila je sorta Srpanjka (grafikon 4.).



Grafikon 2. Utjecaj sorte i tretmana na visinu biljke (cm)

Tretiranje usjeva pšenice selenom nije statistički značajno utjecalo na komponente prinosa i agronomska svojstva, što je očekivano s obzirom da selen nije esencijalan element za biljke, a njegova uloga u biljnom organizmu nije u potpunosti definirana.



Grafikon 3. Utjecaj sorte i tretmana na dužinu klasa (cm)



Pozitivno je pak što tretmani nisu izazvali nikakav negativan učinak, odnosno nisu inhibirali rast i razvoj biljaka, čime je utvrđena određena sigurnost primjene ovakvog postupka povećanja koncentracije selena u zrnu pšenice.



Grafikon 4. Utjecaj sorte i tretmana na prinos zrna pšenice (t/ha)

**Broadley et al.** (2010.) proučavali su biofortifikaciju visokoprosne ozime pšenice selenom, koristeći otopinu natrijevog selenata i granulirane proizvode (gnojiva) koji sadrže selen te su zaključili da fertilizacija usjeva selenom nije imala učinak na prinos pšenice i žetveni indeks.

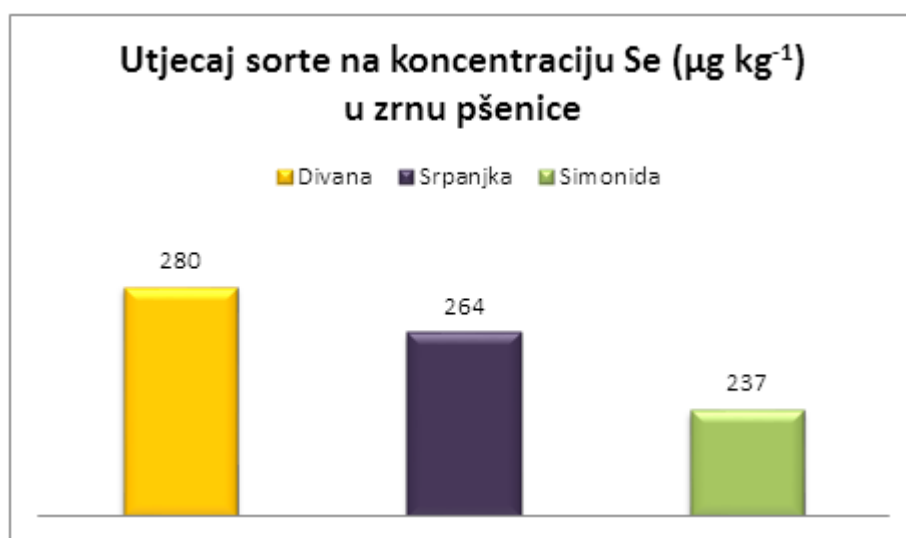
Primjer pozitivnog efekta na povećanje prinosa tretiranih usjeva dali su **Hu et al.** (2003.). Svojim su istraživanjem utvrdili da je folijarnom aplikacijom selena (u obliku  $\text{SeO}_3^{2-}$  i  $\text{SeO}_4^{2-}$ ) povećan broj zaperaka i prinos listova zelenog čaja. Slatkoća i aroma listova znatno su poboljšane, a gorčina je znatno smanjena. Folijarnom aplikacijom selena značajno je povećan i sadržaj ukupnih aminokiselina te vitamina C u listovima.

**Hartikainen i Xue** (1999.) zaključuju da selen u nižim dozama, kao fotonaponski element, u kombinaciji sa UV(B) svjetlošću potiče rast biljaka. U tom slučaju UV svjetlost djeluje kao okidač pomoću kojega selen utječe na rast biljke.

Istraživanje je provedeno na riži i salati (pokus u loncima) i to u varijanti bez dodatka i uz dodatak selena gnojivom, te u uvjetima normalnog osvjetljenja i osvjetljenja UV(B) svjetlošću. U uvjetima normalnog osvjetljenja selen u nižim dozama nije imao utjecaj na prinos.

### 5.3. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna

Na temelju analiza zrna pšenice među sortama su utvrđene razlike u koncentracijama selena u zrnu (grafikon 5.). Iako određene razlike postoje, one nemaju statistički značaj, što znači da nije dokazano da koncentracija selena u zrnu ovisi o sorti pšenice. Najviša koncentracija selena u zrnu utvrđena je kod sorte Divana i iznosila je  $280 \mu\text{g kg}^{-1}$ , a najniža koncentracija od  $237 \mu\text{g kg}^{-1}$  zabilježena je kod sorte Simonida.

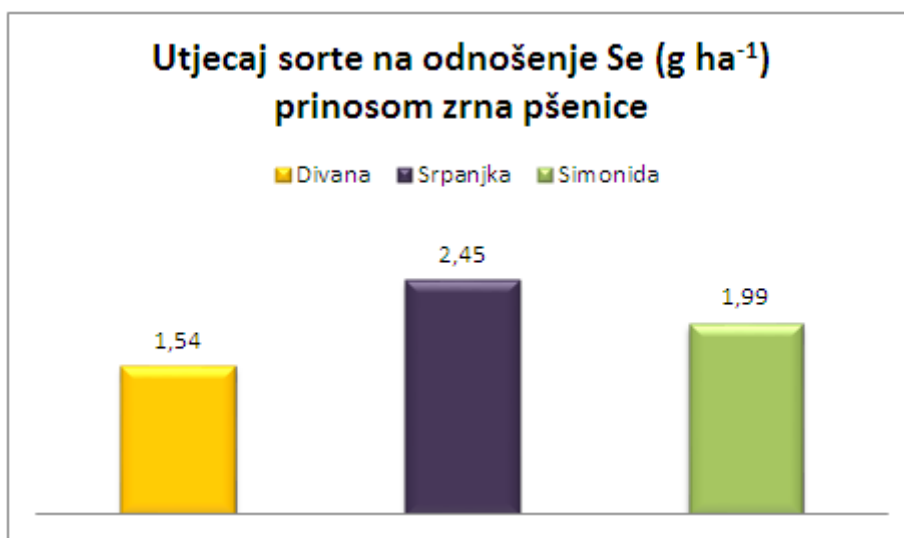


Grafikon 5. Utjecaj sorte na koncentraciju Se ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) u zrnu pšenice

Ukupno prosječno odnošenje selena prinosom zrna po sortama kretalo se od  $1,54$  do  $2,45 \text{ g ha}^{-1}$  (grafikon 6.). Najviše su vrijednosti zabilježene kod sorte Srpanjka kod koje su također utvrđeni najviši prirodni prinosi zrna (Tablica 4), dok je najmanje odnošenje selena utvrđeno kod sorte Divana, naravno, zbog najnižeg prinosa zrna. Razlika u odnošenju selena prinosom zrna između ove dvije sorte i statistički značajna, dok ostale razlike nisu statistički značajne.

Istraživanjem provedenim u Australiji i Meksiku **Lyons et al.** (2004.) željeli su utvrditi postoji li genotip sa značajnim utjecajem na povećanje koncentracije selena u zrnu. Zaključili su da među komercijalnim varijetetima durum pšenice, pšenoraži i ječma takva genotipska varijacija ne postoji.

**Hawkesford i Zhao** (2007.) navode kako je genetska varijacija u sposobnosti akumulacije selena među ne-akumulatorima, kao što su žitarice, relativno mala te kako je trenutno agrofortifikacija, odnosno aplikacija gnojiva koja sadrže selen, trenutno najbolje kratkoročno rješenje za povećanje njegova sadržaja u pšenici. Prema riječima autora dugoročan genetski napredak, osobito u smislu različitosti transformacija i transporta selenata i sulfata, mogao bi biti način kojim bi se unaprijedilo usvajanje i akumulacija selena.



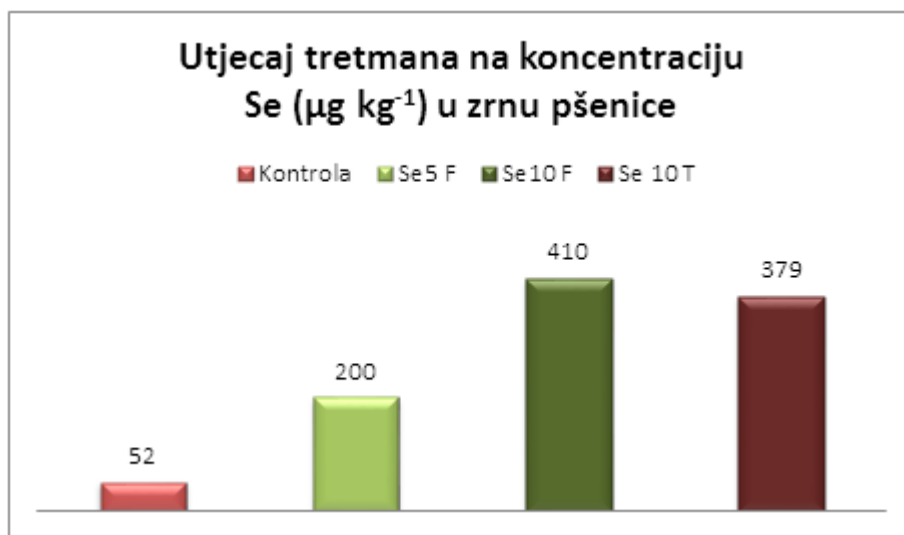
Grafikon 6. Utjecaj sorte na odnošenje Se (g ha<sup>-1</sup>) prinosom zrna pšenice

**Farnham et al.** (2007.) provodili su istraživanje na 20 hibrida i 15 linija brokule na tri različite lokacije bez dodatka selena gnojidbom, kako bi utvrdili utjecaj genotipa i okoliša na koncentraciju selena u glavicama. Zaključili su da postoji značajan utjecaj genotipa na koncentraciju selena u glavicama brokule kod hibrida, ali ne i u linijama. No unatoč tomu utjecaj okoliša na koncentraciju selena u glavicama bio je 10 puta veći od onog koji je imao genotip. Ukupan sadržaj selena značajno je varirao između hibrida i linija, ali i u ovom je slučaju utjecaj okoliša bio višestruko veći.

Utjecaj genotipa i okoliša na koncentraciju selena u sjemenkama leće utvrdili su **Thavarajah et al.** (2011.). Istraživanje je provedeno u šest zemalja koje su vodeći proizvođači leće u svijetu. Značajan utjecaj genotipa na povećanje koncentracije selena u sjemenkama utvrđen je u lećama proizvedenim u Siriji, Turskoj, Maroku i SAD-u.

#### 5.4. Utjecaj tretmana na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna

Rezultati ovog istraživanja pokazuju značajan utjecaj tretmana pšenice selenom na povećanje koncentracije selena u zrnu. Između kontrole i tretmana zabilježena je statistički značajna razlika, a koncentracija selena u zrnu tretirane pšenice u prosjeku se kretala od 200 do 410  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (grafikon 7), što upućuje na nejednak učinak tretmana. Koncentracija selena u zrnu ponajviše je ovisila o količini apliciranog selena te neznatno o načinu aplikacije. Najbolji rezultati ostvareni su tretmanom Se10F (410  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), a odmah zatim slijedi tretman Se10T (379  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ). Najslabiji učinak imao je tretman Se5F (200  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), što i nije iznenađujuće s obzirom da je aplicirana upola manja količina selena nego li u preostala dva tretmana.

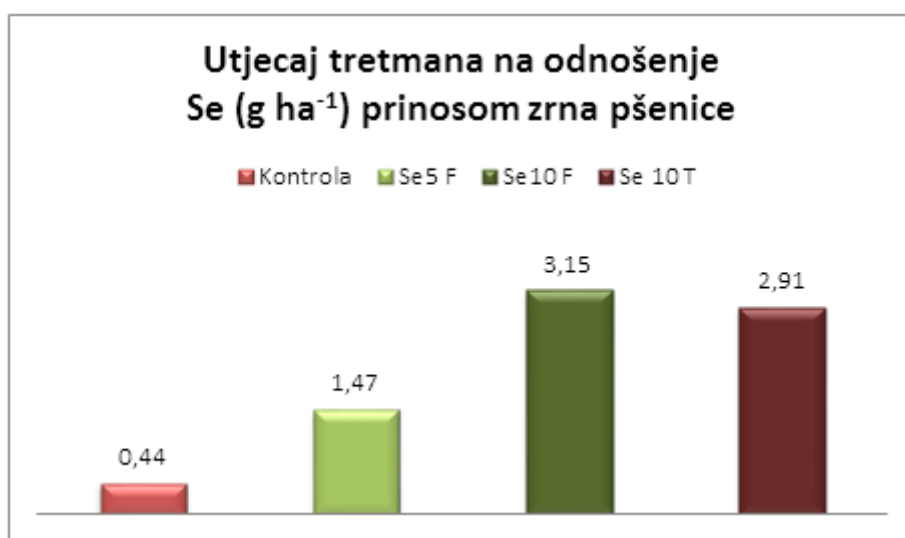


Grafikon 7. Utjecaj tretmana na koncentraciju Se ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) u zrnu pšenice

Utjecaj tretmana na odnošenje selena prinosom zrna vrlo je izražen te je utvrđena statistički značajna razlika između kontrole i svih tretmana, ali također i među samim tretmanima (grafikon 8.).

Najbolji rezultat i u ovom je slučaju utvrđen pri Se10F (3,15 g ha<sup>-1</sup>), a odmah zatim slijedi Se10T (2,91 g ha<sup>-1</sup>). Jednako kao i u pogledu utjecaja tretmana na koncentraciju selena u zrnu pšenice, najslabiji utjecaj na odnošenje selena prinosom zrna imao je tretman Se5F (1,47 g ha<sup>-1</sup>). Značajno je prikazati da je prinosom zrna izneseno prosječno od 29,1% apliciranog selena (2,91 g iznesenog od 10 g apliciranog selena tretmanom Se10T) i 29,4% (1,47 g od 5 g tretmanom Se5F) do najviše 31,5% (3,15 g od 10 g) nakon folijarne aplikacije 10 g Se ha<sup>-1</sup>. Međutim, od ovih vrijednosti svakako treba oduzeti količinu selena iznesenu na kontrolnom tretmanu bez aplikacije selena (0,44 g ha<sup>-1</sup>), te je iznošenje tretiranim zrnom od 20,6% (folijarna aplikacija 5 g ha<sup>-1</sup>), preko 24,7% (aplikacija 10 g ha<sup>-1</sup> na površinu tla), do 27,1% pri folijarnoj aplikaciji 10 g Se ha<sup>-1</sup>.

Učinak aplikacije selena na povećanje koncentracije selena u zrnu pšenice proučavali su i **Eurola et al.** (1990.), **Lyons et al.** (2003.), **Ducsay i Ložek** (2006.), **Broadley et al.** (2010.) te mnogi drugi.



Grafikon 8. Utjecaj tretmana na odnošenje Se (g ha<sup>-1</sup>) prinosom zrna pšenice

**Eurola et al.** (1990.) u svome radu iznose da gnojidba selenom značajno povećava koncentraciju selena u zrnu pšenice te navode kako je u Finskoj prije 1984. razina selena u žitaricama iznosila 0,01 mg kg<sup>-1</sup> ili manje, dok danas jara pšenica obično sadrži oko 0,25 mg Se kg<sup>-1</sup>, a aplikacija selena u obliku selenata u količinama od 5 – 10 g ha<sup>-1</sup> pokazala se opravdanim, isplativim i sigurnim postupkom.

**Broadley et al.** (2010.) promatrali su utjecaj aplikacije selena na povećanje njegove koncentracije u zrnu pšenice u Velikoj Britaniji. Selen je apliciran u obliku otopine natrijevog selenata i granuliranih proizvoda koji sadrže selen. U svim je tretmanima zabilježeno povećanje koncentracije selena od 16 - 26 ng Se g<sup>-1</sup> svježe tvari po gramu apliciranog Se ha<sup>-1</sup>. Na osnovu navedenog zaključuju kako bi aplikacija 10 g Se ha<sup>-1</sup> deseterostruko povećala koncentraciju selena u zrnu pšenice u odnosu na trenutne razine, te da je primjenom ovog načina agrofortifikacija pšenice u Velikoj Britaniji izvediva.

**Ducsay i Ložek** (2006.) provodili su poljski pokus u svrhu ispitivanja utjecaja folijarne aplikacije selena u količini od 0,5, 1,0, 10 g i 20 g Se ha<sup>-1</sup> na prinos ozime pšenice te akumulaciju selena u zrnu. Gnojidba selenom provedena je zajedno s aplikacijom tekućeg gnojiva DAM-390 (30 kg N ha<sup>-1</sup>) u stadiju razvoja šestog lista (Zadoks = 29). Tretmani nisu imali utjecaj na prinos zrna, no aplikacija selena u količini od 10 i 20 g Se ha<sup>-1</sup> značajno je povećala akumulaciju selena u zrnu, u svim godinama provedbe pokusa. Prosječan sadržaj selena u suhoj tvari zrna iznosio je 0,045 mg kg<sup>-1</sup> u kontroli, a aplikacijom selena u iznosu 10 i 20 g ha<sup>-1</sup> ta je vrijednost porasla na 0,088 i 0,145 mg kg<sup>-1</sup>. Navode kako se na sličan način povećalo i odnošenje selena prinosom zrna.

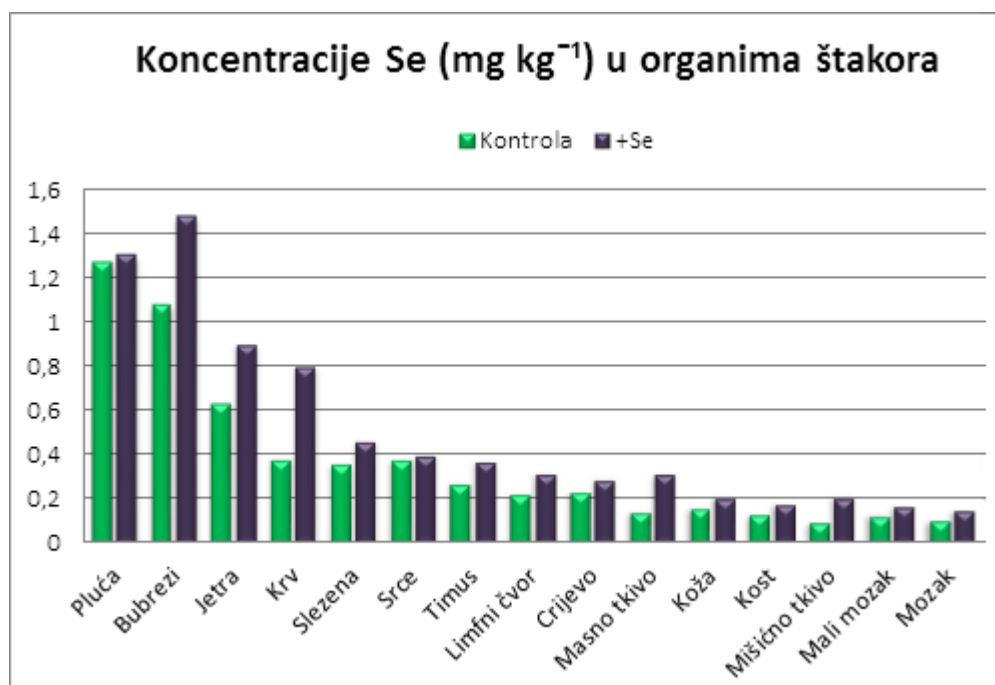
Učinak folijarne aplikacije selena na koncentraciju i odnošenje prinosom zrna proučavali su i **Čurlejšová i Ducsay** (2004.). Svojim su istraživanjem utvrdili da je ukupno odnošenje selena zrnom pšenice s površine 1 ha povećano s 207,75 mg Se ha<sup>-1</sup> u kontrolnom tretmanu na 941,36 mg Se ha<sup>-1</sup> aplikacijom 20 g Se ha<sup>-1</sup>.

## 5.5. Utjecaj konzumacije pšenice obogaćene Se na koncentracije Se u tkivima štakora

Rezultati analiza tkiva pokusnih životinja pokazuju da je konzumacija briketa pripremljenih od pšenice s povećanom koncentracijom selena u zrnu itekako utjecala na akumulaciju, odnosno povećanje koncentracije selena u analiziranim tkivima (grafikon 9.). Iako je u svim tkivima štakora iz Se grupe evidentno povećanje koncentracije selena, ono je u čak 10 tipova tkiva (bubrezi, jetra, krv, slezena, timus, koža, kost, mišićno tkivo, mali mozak i mozak) i statistički značajno u odnosu na kontrolnu skupinu (grafikon 10.).

Najviša koncentracija selena u kontrolnim uzorcima utvrđena je u bubrezima i iznosi 1,079 mg kg<sup>-1</sup>, što je i očekivano s obzirom na njihovu funkciju u organizmu, a najniža u uzorcima mišićnog tkiva gdje iznosi 0,093 mg kg<sup>-1</sup>. U tkivima štakora hranjenih briketama s agrofertificiranom pšenicom najviša je koncentracija također zabilježena u bubrezima (1,479 mg kg<sup>-1</sup>), dok je najniža koncentracija utvrđena u mozgu (0,150 mg kg<sup>-1</sup>).

Koncentracija selena u mišićnom tkivu štakora iz Se grupe statistički se značajno povećala na 0,209 mg kg<sup>-1</sup> u odnosu na kontrolu, iz čega slijedi zaključak da je ovim postupkom moguće na prihvatljiv način povećati koncentraciju selena u mišićnom tkivu domaćih životinja, te time osigurati veću količinu selena u ljudskoj prehrani.



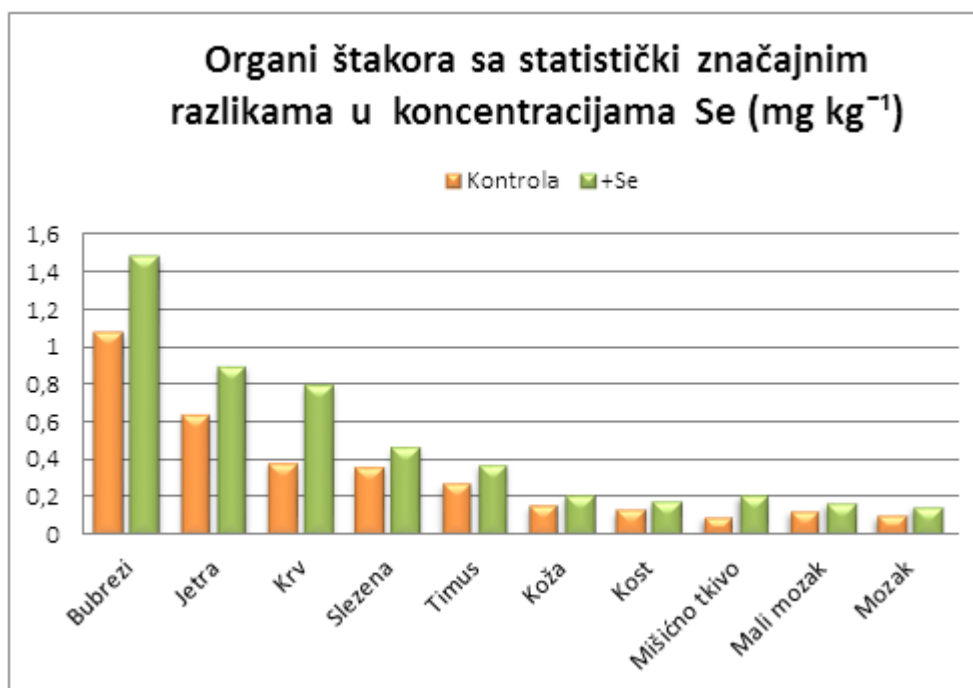
Grafikon 9. Odnos koncentracija selena u tkivima štakora iz kontrolne i Se grupe

Slična je situacija i s ostalim tkivima u kojima je zabilježen značajan porast sadržaja selena, a mogu se koristiti u prehrani ljudi.

**Saha et al.** (1994.) vršili su ispitivanje na štakorima kako bi utvrdili bioraspoloživost kalcija, željeza, cinka i selena iz cjelovitog pšeničnog brašna s različitim sadržajem fitata (nizak 0,19%, srednji 0,67%, srednje visok 1,64% i visok 1,85%), pripremljenog od pšenice iz hidroponskog uzgoja.

Rezultati su pokazali da je apsorpcija selena kod štakora u slučaju srednje visokog ( $81,52 \pm 2,0$ ) i visokog sadržaja fitata ( $81,08 \pm 1,8$ ) bila znatno niža, nego li kod niskog sadržaja ( $84,49 \pm 1,8$ ) fitata u brašnu.

Reeves et al. (2007.) na temelju koncentracija selena u plazmi, jetri, bubrezima i mišićima te na temelju enzimatskih aktivnosti jetre i eritrocita ovisnih o selenu, pokazali su da je selen iz pšeničnog brašna (~75% ekstrakcija) bio gotovo 100% raspoloživ, u usporedbi sa sličnim mjerilima kod štakora kojima je selen davan u obliku natrijevog selenita ili selenometionina. Međutim, na temelju sličnih kriterija utvrđuju da je selen iz pšeničnih pogača bio samo 85% raspoloživ za apsorpciju, a iz pšeničnih klica 60%. Ovi rezultati indiciraju da bi proizvodi pripremljeni od pšenice bogate selenom, pogotovo oni od rafiniranog brašna, mogli biti osobito prikladni za uporabu kao dodatak selena u prehrani.



Grafikon 10. Organi štakora kod kojih je utvrđena statistički značajna razlika između kontrolne i Se grupe

Usporedni metabolizam organskog i anorganskog selena kod ovaca ispitivali su **van Rysen et al.** (1989.) analizom koncentracije selena i aktivnosti glutacione peroksidaze u tkivima ovaca kojima je u hranu dodan selen u obliku selenita ili su hranjene pšenicom obogaćenom selenom.



Konstatirali su da je razina selena u krvi i svim analiziranim organima (osim plazme i bubrega) bitno veća kod ovaca koje su hranjene obogaćenom pšenicom, nego li kod ovaca kojima je selen dodan u hranu u obliku selenita.

## 6. Zaključak

Ovim istraživanjem ispitivan je utjecaj agrofortifikacije pšenice selenom na povećanje koncentracije selena u zrnu tri sorte pšenice te utjecaj konzumacije iste na akumulaciju selena u tkivima pokusnih životinja (štakora).

Na temelju rezultata provedenih ispitivanja može se utvrditi nekoliko osnovnih zaključaka koji potvrđuju ili negiraju polazne hipoteze ovoga rada:

1. aplikacijom selena folijarno i po površini tla povećava se koncentracija selena u zrnu pšenice,
2. količina apliciranog selena značajno utječe na koncentraciju selena u zrnu pšenice, no ne i način aplikacije,
3. sorte pšenice ne razlikuju se značajno po akumulaciji apliciranog selena u zrno,
4. konzumacija selenom agrofortificirane pšenice značajno utječe na povećanje koncentracije selena u tkivima (organima) pokusnih životinja,
5. agrofortifikacija pšenice selenom rezultira povećanim unosom selena u prehrambeni lanac.

## 7. Literatura

1. Adriano, D. C. (1986.): Trace elements in the terrestrial environment, Edited by Springer, New York, Inc., 391—420.
2. Akil, M., Bicer, M., Menevse, E., Baltaci, A.K., Mogulkoc, R. (2011.): Selenium supplementation prevents lipid peroxidation caused by arduous exercise in rat brain tissue. Bratislavske Lekarske Listy, 112(6): 314 – 317.
3. Antunović, Z., Steiner, Z., Steiner, Z., Šperanda, M., Domačinović, M., Karavidović, P. (2005): Content of selenium and cobalt in soil, plants and animals in Eastern Slavonia. Proceedings of XII International Conference Krmiva (p. 204), Opatija, Croatia.
4. Antunović, Z., Steiner, Z., Vegara, M., Šperanda, M., Steiner, Z., Novoselec, J. (2010): Content of selenium and cobalt in soil, plants and animals in Eastern Slavonia. Acta Veterinaria, 60(2-3): 263 – 271.
5. Antunović, Z., Klapac, T., Čavar, S., Špereanda M., Pavić, V., Novoselec, J., Klir, Ž. (2012.): Status selenia u koza iz ekološkog uzgoja. Zbornik radova. 47<sup>th</sup> Croatian and 7<sup>th</sup> International Symposium on Agriculture. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Opatija, 645-649.
6. Baker, A.J.M., Brooks, R.R. (1989.): Terrestrial higher plants which accumulate metallic elements – a review of their distribution ecology and phytochemistry. Biorecovery, 3: 81 – 126.
7. Beath, O.A., Eppson, H.F., Gilbert, C.S. (1937.): Selenium distribution in and seasonal variation of vegetation occurring in seleniferous soil. Journal of the American Pharmaceutical Association, 26: 394 – 398.
8. Berrow, M.L., Ure, A.M. (1989.): Geological materials and soils. Occurrence and distribution of selenium. Edited by Ihnat, M. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 226 – 228.
9. 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.
10. Broadley, M.R., Alcock, J., Alford, J., Cartwright, P., Foot, I., Fairweather-Tait, S.J., Hart, D.J., Hurst, R., Knott, P., McGrath, S.P., Meacham, M.C., Norman, K., Mowat,

- H., Scott, P., Stroud, J.L., Matthew, T., Tucker, M., White, P.J., Young, S.D., Zhao, F.-J. (2010.): Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. *Plant and Soil*, 332(1-2): 5-18.
11. Cary, E.E., Allaway, W.H. (1969.): The stability of different forms of selenium applied in low-selenium soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 33, 571.
  12. Cary, E.E., Gissel – Nielsen, G. (1973.): Effect of fertilizer anions on the solubility of native and applied selenium in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 37: 590.
  13. Chilimba, A.D.C., Young, S.D., Black, C.R., Rogerson, K.B., Ander, E.L., Watts, M.J., Lammel, J., Broadley, M.R. (2011.): Maize grain and soil surveys reveal suboptimal dietary selenium intake is widespread in Malawi. *Scientific Reports* (2011) 1: 72.
  14. Combs, G.F. (2001.): Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*, 85: 517 – 547.
  15. Courtman, C., van Ryssen, J.B.J., Oelofse, A. (2012.): Selenium concentration of maize grain in South Africa and possible factors influencing the concentration. *South African Journal of Animal Science*, 42 (Issue 5, Supplement 1). Peer-reviewed paper: Proc. 44th Congress of the South African Society for Animal Science.
  16. Čurlejšová, P., Ducsay, L. (2004.): Uptake and accumulation of selenium by winter wheat grain. In: MendelNET 2004 [electronic resource]: Conference of PhD students. - [1 ed.]. - Electronic conference proceedings. - Brno: Mendel University of Agriculture and Forestry - ISBN 80-7302-088-2.
  17. Čuvarđić, M.S. (2003.): Selenium in soil. *Proceedings for Natural Sciences, Matica Srpska, Novi Sad*, 104: 23 – 37.
  18. Djujić, I.S., Jozanov-Stankov, O., Mandić, M., Demajo, M., Vrvic, M.M. (1992.): Selenium content and distribution in rat tissues irradiated with gamma rays. *Biological Trace Element Research*, 33(1-3): 197 – 204.
  19. Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske (2010.): *Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2010*. Zagreb.
  20. Ducsay, L., Ložek, O. (2006.): Effect of selenium foliar application on its content in winter wheat grain. *Plant, Soil and Environment*, 52(2): 78 – 82.
  21. Ducsay, L., Ložek, O., Varga, L. (2009): The influence of selenium soil application on its content in spring wheat. *Plant, Soil and Environment*, 55(2): 80 – 84.

22. Duffield-Lillico, A.J., Turnbull, B.W., Combs, G.F., Slate, E.H., Fischbach, L.A., Marshall, J.R., Clark, L.C. (2002.): Baseline characteristic and the effect of selenium supplementation on cancer incidence in a randomized clinical trial: a summary report of the Nutritional Prevention of Cancer Trial. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*, 11: 630 – 639.
23. Eđed, A. (2011.): Sortna specifičnost akumulacije cinka, kadmija i željeza u zrnu ozime pšenice (*Triticum aestivum L.*). Doktorski rad. Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijek, Institut Ruđer Bošković u Zagrebu, Sveučilište u Dubrovniku, Sveučilišni poslijediplomski interdisciplinarni doktorski studij “Molekularne bioznanosti”.
24. Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960.): Untersuchung über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden II. Chemische Extraktionsmethoden zu Phosphor- und Kaliumbestimmung. *K. Lantbr. Hogsk. Annlr. W.R.* 26: 199 – 215.
25. Elis, D.R., Salt, D.E. (2004.): Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology*, 273 – 279.
26. Eurola, M., Efhalm, P., Ylinen, M., Koivistoinen, P., Varo, P. (1990): Effects of selenium fertilization on the selenium content of cereal grains, flour, and bread produced in Finland. *Cereal Chemistry*, 67: 334–337.
27. Eurola M., Hietaniemi, V. (editors) (2000): Report of the Selenium Monitoring Programme 1997–1999. Publications of Agricultural Research Centre of Finland, series B24. Jokioinen, Finland: Agricultural Research Centre of Finland.
28. FAO/WHO (2001.): Human Vitamin and Mineral Requirements. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Bangkok, Thailand.
29. Farnham, M.W., Hale, A.J., Grusak, M.A., Finley, J.W. (2007.): Genotypic and environmental effects on selenium concentration of broccoli heads grown without supplemental selenium fertilizer. *Plant Breeding*, 126(2): 195 – 200.
30. Foster, H.D., Zhang, L. (1995.): Longevity and selenium deficiency: evidence from the People’s Republic of China. *Science of the Total Environment*, 170: 133 – 139.
31. Galeas, M.L., Zhang L.H., Freeman J.L., Wegner, M., Pilon-Smits E.A. (2007.): Seasonal fluctuations of selenium and sulfur accumulation in selenium hyperaccumulators and related nonaccumulators. *The New Phytologist*, 173(3): 517 - 25.

32. Gavrilović, B., Matešić, D.(1986.): Importance of selenium quantity in soil and fodder in regard to some diseases occurring in cattle, pigs, sheep and poultry. In: Combs, G.F. Jr., Spallholz, J.E., Levander, O.A., Oldfield, J.E. (eds) , Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Symp. on Selenium in Biology and Medicine, pp. 740 - 749. Avi. Publ. Co., Westport, CT, USA.
33. Gumze, A. (2012.): Genetski i agroekološki činitelji akumulacije selena i mikroelemenata u kukuruzu. Doktorski rad. Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
34. Gupta, U.C., Watkinson, J.H. (1985): Agricultural significance of selenium. Outlook in Agriculture, 14: 183–189.
35. Gupta, U.C., Winter, K.A., Sanderson, J.B. (1993.): Selenium content of barley as influenced by selenite- and selenate-enriched fertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 24: 1165 – 1170.
36. Hao, YB., Liu HL., Ci XK., An, HM., Shu-Ting, D., Zhang JW., Liu, P., Zhao B. (2012.): Effects of applying selenium on selenium allocation, grain yield, and grain quality of two maize cultivars, 23(2): 411-8.
37. Hartikainen, H., Xue, T. (1999.): The Promotive Effect of Selenium on Plant Growth as Triggered by Ultraviolet Irradiation. Journal of Environmental Quality, 28(4): 1372 – 1375.
38. Hawkesford, M.J., Zhao, F-J. (2007.): Strategies for increasing the selenium content of wheat. Journal of Cereal Science, 46(3): 282 – 292.
39. Hocman, G. (1988.): Chemoprevention of cancer: Selenium. International Journal of Biochemistry 1988: 123 – 132.
40. Hu, Q. , Xu , J. and Pang, G. (2003.): Effect of Selenium on the Yield and Quality of Green Tea Leaves Harvested in Early Spring. J. Agric. Food Chem., 51(11): 3379–3381.
41. ISO (1994a): Soil quality – pretreatment of samples for physico-chemical analyses. International Organization for Standardization 11464: 1994,
42. ISO (1994b): Soil quality – Determination of pH. International Organization for Standardization 10390:1994.
43. ISO (1995a): Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. International Organization for Standardization 10693:1995.

44. ISO (1995b): Soil quality – Extraxtion of trace elements soluble in aqua regia. International Organization for Standardization 11466:1995.
45. Ježek, P., Hlušek, J., Tlošák, T., Jůzl, M., Elzner, P., Kráčmar, S., Buňka, F., Martensson, A. (2011.): Effect of foliar application of selenium on the content of selected amino acids in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Plant, Soil and Environment*, 57(7): 315 – 320.
46. Ježek, P., Škarpa, P., Lošák, T., Hlušek, J., Jůzl, M., Elzner, P. (2012.): Selenium – An Important Antioxidant in Crops Biofortification. *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology - "Antioxidant Enzyme"* edited by Mohammed Amr El-Missiry, Published under CC BY 3.0 license
47. Kang, Y., Yamada, H., Kyuma, K., Hattori, T. (1990.): Selenium content and distribution in various Japanese soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 36(3): 475 – 462.
48. Klapac, T., Mandić, M.L., Grgić, J., Primorac, Lj., Ikić, M., Lovrić, T., Grgić, Z., Herceg, Z. (1998.): Daily dietary intake of selenium in eastern Croatia. *Science of The Total Envrionment*, 217(1-2): 127 – 136.
49. Kubota, J., Allaway, W.H., Carter, D.L., Cary, E.E., Lazar, V.A. (1967.): Selenium in the United States in relation to selenium – responsive diseases of animals. *Jurnal of Agricultural and Food Chemistry*, 14: 448 – 453.
50. Lakin, H. W. (1972): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 181—190.
51. Lindstrom, K. (1983.): Selenium as a growth factor for plankton algae in laboratory experiments and in some Swedish lakes. *Hydrobiologia*, 101: 35 – 48.
52. Lončarić, Z. (2006.): Program vježbi iz kolegija Agrokemija. Praktikum za studente općeg smjera. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
53. Lončarić, Z., Kadar, I. (2013.): Elementi u tragovima i teški metali u antroposferi. Interna skripta. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
54. Lončarić, Z., Kádár, I., Jurković, Z., Kovačević, V., Popović, B., Karalić, K. (2012.): Teški metali od polja do stola. Zbornik radova. 47<sup>th</sup> Croatian and 7<sup>th</sup> International Symposium on Agriculture. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Opatija, 14-23.
55. Lončarić, Z., Ivezić, V., Kovačević, V., Kadar, I., Popović, B., Karalić, K., Rastija, D. (2012.): Heavy metals in agricultural soils of eastern Croatia. *Proceeding Safe Food. XVI. International Eco-conference 2012. Ecological Movement of Novi Sad. Novi Sad*, 155-164.

56. Lončarić, Z., Popović, B., Karalić, K., Rékási, M., Kovačević, V. (2010): Regression model for prediction availability of essential heavy metals in soils. In: Gilkes, R.J., Prakongkep, N. (ed.) Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. ISBN 978-0-646-53783-2. IUSS (International Union of Soil Sciences). Brisbane, Australia. Published on DVD: <http://www.iuss.org>: 92-95.
57. Lončarić, Z., Karalić, K., Popović, B., Rastija, D., Vukobratović, M. (2008.): Total and plant available micronutrients in acidic and calcareous soils in Croatia. *Cereal Research Communications*, 36: 331-334.
58. Lyons, G., Stangoulis, J., Graham, R. (2003.): High-selenium wheat: biofortification for a better health. *Nutrition Research Reviews*, 16: 45 – 60.
59. McLaughlin, M.J., Parker D.R., Clarke J.M. (1999.): Metals and micronutrients – food safety issues. *Field Crops Research* 60: 143 – 163.
60. Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja RH (2010.): Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. *Narodne novine* 32, 2010.
61. Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva RH (2001.): Pravilnik o ekološkoj proizvodnji u uzgoju bilja i u proizvodnji biljnih proizvoda. *Narodne novine* 91, 2001.
62. Öborn, I., Jansson, G., Johnsson, L. (1995): A field study on the influence of soil pH on trace element levels in spring wheat (*Triticum aestivum*), potatoes (*Solanum tuberosum*) and carrots (*Daucus carota*). *Water, Air, and Soil Pollution*, 85(2): 835-840.
63. Popijač, V., Prpić-Majić, D. (2002.): Soil and wheat grain selenium content in the vicinity of Koprivnica (Croatia). *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 53(2): 125-133.
64. Reeves, P.G., Gregoire, B.R., Garvin, D.F., Hareland, G.A., Lindlauf, J.E., Johnson, L.K., Finley, J.W. (2007.): Determination of Selenium Bioavailability from Wheat Mill Fractions in Rats by Using the Slope-Ratio Assay and a Modified Torula Yeast-Based Diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2): 516 – 522.
65. Romić, M., Romić, D. (2003.): Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environmental Geology*, 43: 795-805.
66. Rosenfeld, I., Beath, O.A. (1964.): Selenium: geobotany, biochemistry, toxicity and nutrition. Academic Press, New York, 411.



67. Sager, M. (2006.): Selenium in agriculture, food and nutrition. *Pure and Applied Chemistry*, 78: 111-133.
68. Saha, P.R., Weaver, C.M., Mason, A.C. (1994.): Mineral Bioavailability in Rats from Intrinsically Labeled Whole Wheat Flour of Various Phytate Levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 2531 – 2535.
69. Schwarz, M., Foltz, C. (1957.): Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degradation. *Journal of American Chemical Society*: 3292 – 3293.
70. Shrift, A. (1973.): Metabolism of selenium by plants and microorganisms. *Organic Selenium Compounds: Their Chemistry and Biology*. Edited by Klayman, D.L., Gunther, W.H., John Wiley and Sons, New York, pp. 763. – 814.
71. Sposito, G. (2008.): *The chemistry of soils*. Oxford University Press. New York. USA.
72. Swaine, D.J. (1955): The trace element content of soils, *Bul. Soil Sci. Tech. Commun.*, 48.
73. Šperanda, M. (2013.): Teški metali esencijalni za životinje. Nastavni material za modul: Teški metali u antroposferi. Sveučilište J.J. Strossmayera, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
74. Terry, N., Zayed, A.M., De Souza, M.P., Tarun, A.S. (2000.): Selenium in higher plants. *Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 401–32.
75. Thavarajah, D., Ruszkowski, J., Vandenberg, A. (2008.): High Potential for Selenium Biofortification of Lentils (*Lens culinaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22): 10747 – 10753.
76. Thavarajah, D., Thavarajah, P., Sarker, A., Materne, M., Vandemark, G., Shrestha, R., Idrissi, O., Hacikamiloglu, O., Bucak, B., Vandenberg, A. (2011.): A global survey of effects of genotype and environment on selenium concentration in lentils (*Lens culinaris* L.): Implications for nutritional fortification strategies. *Food Chemistry*, 125: 72 – 76.
77. Van Ryssen, J.B.J., Deagen, J.T., Beilstein, M.A., Whanger, P.D. (1989.): Comparative Metabolism of Organic and Inorganic Selenium by Sheep. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 37: 1358 – 1363.
78. Vukadinović, V., Bertić, B. (1989.): *Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja*. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.

79. Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1997.): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
80. WHO/IAEA (1989.): Minor and Trace elements in milk. Geneva, World Health Organisation.
81. WHO/FAO/IAEA (1996.): Trace elements in human nutrition and health. Geneva, World Health Organisation.
82. Wu, J., Salisbury, C., Graham, R., Lyons, G., Fenech, M. (2009.): Increased consumption of wheat biofortified with selenium does not modify biomarkers of cancer risk, oxidative stress, or immune function in healthy Australian males. *Environmental and Molecular Mutagenesis*.
83. Ylaranta, T. (1983.) Effect of applied selenite and selenate on the selenium content of barley (*Hordeum vulgare*). *Annales Agriculturae Fenniae*, 22: 164 – 174.
84. Ylaranta, T. (1984.): Raising the selenium content of spring wheat and barley using selenite and selenate. *Annales Agriculturae Fenniae*, 23: 75 – 84.
85. Yu, MW., Horng, IS., Hsu, KH., Chiang, YC., Liaw, YF., Chen, CJ. (1999.): Plasma selenium levels and risk of hepatocellular carcinoma among men with chronic hepatitis virus infection. *American Journal of Epidemiology*, 150(4): 367 – 374.

## **8. Sažetak**

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi mogućnost agrofertifikacijskog povećanja koncentracije selena u zrnju različitih sorata pšenice, usporedno promatrajući učinak folijarne aplikacije i aplikacije selena po površini tla te naknadno ispitati utjecaj provedenih tretmana na povećanje unosa selena u prehrambeni lanac. Vegetacijski pokus proveden je s tri sorte pšenice (Divana, Srpanjka i Simonida) u vegetaciji 2011./12. na proizvodnim površinama PZ "Banovci" u Vukovarsko-srijemskoj županiji. Za gnojdbu je korišten natrijev selenat ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ), uz dodatak adheziva (0,1 % Herbovit v/v) za folijarne aplikacije, a primijenjen je po tretmanima na slijedeće načine: kontrola - bez aplikacije selena, folijarna aplikacija  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  u količini 5 g Se  $\text{ha}^{-1}$ , folijarna aplikacija  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  u količini 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$ , aplikacija  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  otopinom po površini tla u količini 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$ . Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice nije zabilježen, međutim kod svih tretmana utvrđeno je značajno povećanje koncentracije selena u zrnju. Koncentracije su povećane s prosječnih 52  $\mu\text{g kg}^{-1}$  u kontroli na 200  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pri folijarno aplikaciji 5 g Se  $\text{ha}^{-1}$ , 410  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pri folijarnoj aplikaciji 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$  te na 379  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pri aplikaciji 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$  po površini tla. Odnos selena prinosom zrna pšenice kretalo se od 0,44 g  $\text{ha}^{-1}$  bez aplikacije selena do 3,15 g  $\text{ha}^{-1}$  aplikacijom 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$ . Pri tome je odnos selena aplikiranog selena zrnju bilo u rasponu 20,6-27,1%. Za razliku od tretmana, sorta pšenice nije imala značajan utjecaj na povećanje koncentracije i odnose selena prinosom zrna. Na temelju analiza 15 tipova tkiva pokusnih životinja utvrđeno je povećanje koncentracije selena u svim tkivima, u prosjeku od 0,433  $\text{mg kg}^{-1}$  u kontroli do 0,563  $\text{mg kg}^{-1}$  kod jedinki tretiranih selenom, a u 10 tipova utvrđene vrijednosti su i statistički značajne.

**Ključne riječi:** agrofertifikacija, pšenica, selen, pokusne životinje

## 9. Summary

The aim of this study was to determinate the impact of the agronomic fortification of wheat with Se on Se concentration enhancement in grain of different wheat cultivars, simultaneously observing foliar and soil application, and to examine the influence of performed treatments on increment of Se intake into the food chain, afterwards. Field experiment was conducted with three wheat varieties (Divana, Srpanjka, Simonida), in year 2011/2012, on the production field area near Banovci in Vukovar-Srijem County. Sodium selenate ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) was used as fertilizer, with addition of adhesive (0,1 % Herbovit v/v) for foliar applications and it was applied by treatments as follows: control - without Se application, foliar application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  in the amount of  $5 \text{ g Se ha}^{-1}$ , foliar application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  in the amount of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$ , soil application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  solution in the amount of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$ . The influence of treatments on yield components and agronomic properties was not found, but Se concentration enhancement in grain was found in all treatments. Concentrations increased from  $52 \mu\text{g kg}^{-1}$  in control to  $200 \mu\text{g kg}^{-1}$  at foliar application of  $5 \text{ g Se ha}^{-1}$ ,  $410 \mu\text{g kg}^{-1}$  at foliar application of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$  and to  $379 \mu\text{g kg}^{-1}$  at soil application of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$ . The range of removal of applied Se by grain was 20,6-27,1%. Unlike treatments, wheat cultivars did not have a significant influence on increment of Se concentrations in grain and Se removal by grain yield. Based on the analysis of 15 tissue types of test animal, the increment of Se was determined in all tissues, which average values ranged from  $0,433 \text{ mg kg}^{-1}$  in control to  $0,563 \text{ mg kg}^{-1}$  in Se-supplemented animals, and for 10 tissues those values were statistically significant.

**Key words:** agrofertilization, wheat, selenium, test animals

## **10. Popis tablica**

- Tablica 1. Udio komponenti u pripremi smjesa za pelete i koncentracije Se u početnim komponentama
- Tablica 2. Agrokemijska svojstva tla
- Tablica 3. Ukupne koncentracije teških metala i Se u tlu
- Tablica 4. Utjecaj sorte na komponente prinosa i agronomska svojstva
- Tablica 5. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva
- Tablica 6. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna
- Tablica 7. Utjecaj tretmana na koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna
- Tablica 8. Utjecaj tretmana na koncentracije Se u organima štakora

## 11. Popis grafikona

- Grafikon 1. Utjecaj sorte i tretmana na broj vlati/m<sup>2</sup> (sklop pšenice)
- Grafikon 2. Utjecaj sorte i tretmana na visinu biljke (cm)
- Grafikon 3. Utjecaj sorte i tretmana na dužinu klasa (cm)
- Grafikon 4. Utjecaj sorte i tretmana na prinos zrna pšenice (t/ha)
- Grafikon 5. Utjecaj sorte na koncentraciju Se ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) u zrnu pšenice
- Grafikon 6. Utjecaj tretmana na koncentraciju Se ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) u zrnu pšenice
- Grafikon 7. Utjecaj sorte na odnošenje Se ( $\text{g ha}^{-1}$ ) prinosom zrna pšenice
- Grafikon 8. Utjecaj tretmana na odnošenje Se ( $\text{g ha}^{-1}$ ) prinosom zrna pšenice
- Grafikon 9. Odnos koncentracija selena u tkivima štakora iz kontrolne i Se grupe
- Grafikon 10. Organi štakora kod kojih je utvrđena statistički značajna razlika između kontrolne i Se grupe

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera  
Poljoprivredni fakultet u Osijeku  
Sveučilišni diplomski studij, smjer Ekološka poljoprivreda

Diplomski rad

### Agrofortifikacija pšenice selenom

Iva Tokić

#### Sažetak

Cilj istraživanja bio je utvrditi utjecaj agrofortifikacija na koncentraciju Se u zrnu različitih sorata pšenice, te učinak folijarne aplikacije i aplikacije Se po površini tla i ispitati utjecaj provedenih tretmana na unos Se u prehrambeni lanac. Vegetacijski pokus proveden je s tri sorte pšenice (Divana, Srpanjka i Simonida) u vegetaciji 2011./12. na proizvodnim površinama PZ "Banovci" u Vukovarsko-srijemskoj županiji. Za gnojdbu je korišten natrijev selenat ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ), uz dodatak adheziva (0,1 % Herbovit v/v) za folijarne aplikacije, a primijenjen je po tretmanima kako slijedi: kontrola bez aplikacije Se, folijarna aplikacija  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  s 5 g Se  $\text{ha}^{-1}$ , folijarna aplikacija  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  s 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$ , aplikacija  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  otopinom po površini tla s 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$ . Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice nije zabilježen, međutim kod svih tretmana utvrđeno je značajno povećanje koncentracije Se u zrnu. Koncentracije su povećane s prosječnih 52  $\mu\text{g kg}^{-1}$  u kontroli na 200  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pri folijarno aplikaciji 5 g Se  $\text{ha}^{-1}$ , 410  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pri folijarnoj aplikaciji 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$  te na 379  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pri aplikaciji 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$  po površini tla. Odnosenje Se prinosom zrna pšenice kretalo se od 0,44 g  $\text{ha}^{-1}$  bez aplikacije Se do 3,15 g  $\text{ha}^{-1}$  aplikacijom 10 g Se  $\text{ha}^{-1}$ . Odnosenje apliciranog Se zrnom bilo je u rasponu 20,6-27,1%. Sorta pšenice nije značajno utjecala na povećanje koncentracije i odnošenje Se prinosom zrna. Na temelju analiza 15 tipova tkiva pokusnih životinja utvrđeno je povećanje koncentracije Se u svim tkivima, u prosjeku od 0,433 mg  $\text{kg}^{-1}$  u kontroli do 0,563 mg  $\text{kg}^{-1}$  kod jedinki tretiranih selenom, a u 10 tipova utvrđene vrijednosti su i statistički značajne.

**Rad je izrađen pri:** Poljoprivredni fakultet u Osijeku

**Mentor:** prof. dr. sc. Zdenko Lončarić

**Broj stranica:** 56

**Broj grafikonika i slika:** 11

**Broj tablica:** 8

**Broj literaturnih navoda:** 85

**Broj priloga:**

**Jezik izvornika:** Hrvatski

**Ključne riječi:** agrofortifikacija, pšenica, selen, pokusne životinje

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. doc. dr. sc. Brigita Popović, predsjednik
2. prof. dr. sc. Zdenko Lončarić, mentor
3. dr. sc. Vladimir Ivezić, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Agriculture in Osijek**  
**University Graduate Studies, Organic agriculture**

**Graduate thesis**

### **Wheat Agrofortification with Selenium**

**Iva Tokić**

#### **Abstract:**

The aim of this study was to determinate the impact of the agronomic fortification of wheat with Se on Se concentration enhancement in grain of different wheat cultivars, simultaneously observing foliar and soil application, and to examine the influence of performed treatments on increment of Se intake into the food chain, afterwards. Field experiment was conducted with three wheat varieties (Divana, Srpanjka, Simonida), in year 2011/2012, on the production field area near Banovci in Vukovar-Srijem County. Sodium selenate ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) was used as fertilizer, with addition of adhesive (0,1 % Herbovit v/v) for foliar applications and it was applied by treatments as follows: control - without Se application, foliar application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  in the amount of  $5 \text{ g Se ha}^{-1}$ , foliar application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  in the amount of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$ , soil application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  solution in the amount of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$ . The influence of treatments on yield components and agronomic properties was not found, but Se concentration enhancement in grain was found in all treatments. Concentrations increased from  $52 \mu\text{g kg}^{-1}$  in control to  $200 \mu\text{g kg}^{-1}$  at foliar application of  $5 \text{ g Se ha}^{-1}$ ,  $410 \mu\text{g kg}^{-1}$  at foliar application of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$  and to  $379 \mu\text{g kg}^{-1}$  at soil application of  $10 \text{ g Se ha}^{-1}$ . The range of removal of applied Se by grain was 20,6-27,1%. Unlike treatments, wheat cultivars did not have a significant influence on increment of Se concentrations in grain and Se removal by grain yield. Based on the analysis of 15 tissue types of test animal, the increment of Se was determined in all tissues, which average values ranged from  $0,433 \text{ mg kg}^{-1}$  in control to  $0,563 \text{ mg kg}^{-1}$  in Se-supplemented animals, and for 10 tissues those values were statistically significant.

**Thesis performed at:** Faculty of Agriculture in Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Zdenko Lončarić

**Number of pages:** 56

**Number of figures:** 11

**Number of tables:** 8

**Number of references:** 85

**Number of appendices:**

**Original in:** Croatian

**Key words:** agrofortification, wheat, selenium, test animals

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. doc. dr. sc., Brigita Popović, chairman
2. prof. dr. sc. Zdenko Lončarić, mentor
3. dr. sc. Vladimir Ivezić, member

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