

Utjecaj bifortifikacije cinkom i selenom na sadržaj mikroelemenata u soku i prahu pšenične trave

Štengl, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:720874>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



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](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Ivona Štangel, apsolvant

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**UTJECAJ BIOFORTIFIKACIJE CINKOM I SELENOM NA SADRŽAJ
MIKROELEMENTA U SOKU I PRAHU PŠENIČNE TRAVE**

Diplomski rad

Osijek, 2022.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Ivona Štangl, apsolvant

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**UTJECAJ BIOFORTIFIKACIJE CINKOM I SELENOM NA SADRŽAJ
MIKROELEMENTA U SOKU I PRAHU PŠENIČNE TRAVE**

Diplomski rad

Osijek, 2022.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ivona Štangl, apsolvant

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**UTJECAJ BIOFORTIFIKACIJE CINKOM I SELENOM NA SADRŽAJ
MIKROELEMENTATA U SOKU I PRAHU PŠENIČNE TRAVE**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Sonja Petrović, predsjednica
2. izv. prof. dr. sc. Andrijana Rebekić, mentorica
3. izv. prof. dr. sc. Miroslav Lisjak, član

Osijek, 2022.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Cilj istraživanja	2
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1. Agronomska biofortifikacija	3
2.2. Važnost mikroelemenata za biljke i ljude	4
2.3. Pšenična trava.....	8
3. MATERIJALI I METODE	11
3.1. Biljni materijal.....	11
3.2. Priprema sjemena za sjetvu i naklijavanje	11
3.3. Sjetva pšenice	12
3.4. Otkos listova pšenične trave.....	12
3.5. Određivanje ukupnih koncentracija mikroelemenata.....	13
3.6. Statistička obrada podataka	14
4. REZULTATI.....	15
4.1. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju željeza u soku i prahu pšenične trave	15
4.2. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju mangana u soku i prahu pšenične trave.....	17
4.3. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju cinka u soku i prahu pšenične trave	20
4.4. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju selena u soku i prahu pšenične trave	22
5. RASPRAVA.....	26
6. ZAKLJUČAK	29
7. POPIS LITERATURE	30
8. SAŽETAK.....	33
9. SUMMARY	34
10. POPIS TABLICA.....	35
11. POPIS SLIKA	36
12. POPIS GRAFIKONA	37
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	
BASIC DOCUMENTATION CARD	

1. UVOD

Pšenična trava predstavlja mlade izdanke biljnih vrsta iz *Triticum* spp. U posljednja vrijeme joj raste popularnost, te se sve više koristi kao prirodni dodatak prehrani u obliku svježeg soka ili praha. Status poželjnog prirodnog dodatka prehrani, pšenična trava je zaslužila zahvaljujući vrlo raznolikom kemijskom sastavu. Naime, pšenične trava sadrži brojne minerale, vitamine, bioflavonoide, fenole, enzime, ima visok sadržaj proteina i sadrži sve esencijalne aminokiseline. Osim toga, ima visoku koncentraciju klorofila, koji zbog svoje kemijske sličnosti s hemoglobinom iz ljudske krvi, značajno pomaže u čišćenju organizma, prevenciji i liječenju anemija izazvanih nedostatkom hemoglobina u krvi.

Uzgoj i istraživanja na pšeničnoj travi počeli su tijekom 20. – ih godina 20. stoljeća u Americi. Kao rezultat tog rada, licenciran je prvi prirodni dodatak prehranu u svijetu, a sadržavao je dehidrirani prah pšenične, zobene i ječmene trave. Navedeni proizvod poznat pod nazivom Cerophyl proizvodio se od žitarica proizvedenih na polju. Tijekom 50. – ih godina 20. stoljeća populariziran je uzgoj pšenične trave u kontroliranim uvjetima. Takav uzgoj podrazumijeva uzgoj pšenične trave u plitkim posudama, s ili bez supstrata najduže 10 do 14 dana.

Osim uvjeta uzgoja, značajnu ulogu u definiranju kvalitete pripravaka od pšenične trave ima sorta koja se koristi za uzgoj, odnosno kemijski sastava zrna iz kojeg se pšenična trava uzgaja, klijavost te bujnost u početnim fazama uzgoja.

Poznato je da se sorte pšenice razlikuju s obzirom na sposobnost akumulacije mikroelemenata zrno. U početnim fazama razvoja mlade biljke, odnosno u klijanju i nicanju, mlada klica koristi zalihe iz zrna te što su one dostupnije biljka je bujnija i bogatija mikroelementima. S obzirom na to, za uzgoj pšenične trave važno je izbrati sjeme bogato mikroelementima.

Obogaćivanje zrna mikroelementima može se postići biofortifikacijom. Obogaćivanje zrna mikroelementima može se postići biofortifikacijom. Biofortifikacija predstavlja postupak kojim se ciljano želi povećati koncentracija pojedinih mikroelemenata u jestivim dijelovima biljaka. S obzirom na način primjene, razlikujemo agronomsku i genetsku biofortifikaciju. Agronomska biofortifikacija je pristup u kojemu se provodi dodatna prihrana gnojivima koja sadržavaju povećane koncentracije ciljanih mikroelemenata. Do sada, je fokus biofortifikacije bio usmjeren na elemente koji su esencijalni za ljude, a njihov nedostatak je globalni problem, zbog broja ljudi koji su njime zahvaćeni i zdravstvenih problema koje taj nedostatak uzrokuje. Tako je najveći broj istraživanja bio usmjeren na biofortifikaciju željezom, cinkom, selenom i jodom.

1.1. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja bio je utvrditi utjecaj biofortifikacije cinkom i selenom na ukupne koncentracije željeza, mangana, cinka i selena u soku i prahu pšenične trave. Osim toga, ispitan je i utjecaj starosti pšenične trave na sadržaj navedenih elemenata u soku i prahu pšenične trave.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Agronomska biofortifikacija

Biofortifikacija obuhvaća postupke kojima se jestivi dijelovi biljaka obogaćuju esencijalnim elementima (Foti i sur., 2021). S obzirom na način provođenja biofortifikacije, razlikujemo agronomsku i genetsku ili oplemenjivačku biofortifikaciju. Agronomska biofortifikacija je jeftin i jednostavan pristup koji se koristi za obogaćivanje jestivih dijelova biljaka esencijalnim makro i mikroelementima primjenom gnojiva bogatih elementima čija se koncentracija u biljnim dijelovima želi povećati. Ovisno o usjevu i cilju biofortifikacije, hranjiva se primjenjuju u različitim količinama i fazama rasta usjeva (Shukla i sur., 2018.). Kad se usjevi uzgajaju na tlima u kojima su mineralni elementi odmah nedostupni u tlu, ciljano se primjenjuju topljiva anorganska gnojiva u tlo. U situacijama kada se mineralni elementi ne prenose lako iz korijena u jestiva tkiva, biofortifikacija se provodi folijarno (White i Broadley., 2009.).

Za razliku od agronomske, genetska ili oplemenjivačka biofortifikacija je znatno dugotrajniji i skuplji proces. Genetska biofortifikacija predstavlja proces oplemenjivanja biljaka s ciljem stvaranja kultivara s pojačanom sposobnošću usvajanja i akumulacije poželjnih elemenata u jestivim dijelovima biljaka.

S obzirom na jednostavnost provedbe, agronomska biofortifikacija je puno zastupljenija nego genetska te su do sada objavljeni rezultati brojnih istraživanja koji se bave ispitivanjem biofortifikacije u različitim usjevima. Cakmak i sur. (2010.) navode kako je većina trenutnih programa istraživanja i razvoja biofortifikacije usredotočena na biofortifikaciju cinkom, zbog toga što je cink element čiji nedostatak u tlu ograničava prinos usjeva, a istovremeno je i esencijalni element u prehrani ljudi. Brojna istraživanja ukazuju na to da gnojidba cinkom može povećati prinose usjeva kao i nutritivnu kvalitetu usjeva, zbog povećane koncentracije cinka u jestivim dijelovima biljaka. Istraživanja provedena u Turskoj, ukazuju na to da biofortifikacija cinkom kod raznih žitarica (kukuruz, sirak, ječam, pšenica) i mahunarki (soja, grašak, obični grah) utječe na povećanje prinosa i koncentracije Zn u zrnu (Cakamak i sur., 2010.). Osim biofortifikacije cinkom, provode se istraživanja biofortifikacije željezom, jodom i selenom, elementima koji su esencijalni u prehrani ljudi, a čijim bi se povećanjem u jestivim dijelovima biljaka, moglo utjecati na povećanje kvalitete prehrane ljudi.

Poljskim pokusom u radu Xia i sur. (2019.) provedena je procjena učinkovitosti folijarne primjene gnojidbe selenom u različitim koncentracijama (37,50., 56,25., 75,00., 93,75 i 112,50 g ha⁻¹ Se). Rezultati su pokazali da Se utječe na koncentraciju hranjivih tvari u pšenici. Folijarna

primjena Se u optimalnoj dozi ($37,5 \text{ g ha}^{-1}$) se pokazala najučinkovitijom. Koncentracije glijadina i glutenina su bile značajno povećane, dok su koncentracije albumina i globulina smanjene. Istraživanje je pokazalo da je folijarna primjena Se povećala koncentraciju željeza i cinka, ali i smanjila koncentraciju bakra i mangana.

U radu Mao i sur. (2014.) proveli su istraživanje biofortifikacije selena i cinka na pšenici putem folijarne primjene natrijevog selenita (Na_2SeO_3) i cinkovog sulfata (ZnSO_4). Natrijev selenit se pokazao učinkovit na ozimoj pšenici, tako da su se povećale koncentracije Se s 25 na $312 \mu\text{g kg}^{-1}$ u zrnu pšenice. Također, folijarni cink sulfat se pokazao učinkovitim u biofortificiranju ozime pšenice, povećavajući koncentracije Zn s 20 na 30 mg kg^{-1} .

Poljskim pokusom na dva tipa tla u Južnoj Australiji u radu Lyons i sur. (2004.) pokazala su da se koncentracija Se u zrnu progresivno povećava bilo da se Se primjenjuje u tlu ili folijarno. Se u tlu povećao je koncentraciju Se u zrnu za 20 do 133 puta, a folijarno za 6 do 20 puta. A postignuli su i maksimalna koncentraciju Se u zrnu od 12 mg kg^{-1} . Prinos zrna i proteini nisu bili pod utjecajem primijenjenog Se.

Cilj istraživanja Broadley i sur. (2009.) bio je utvrditi potencijal za povećanje koncentracije Se u zrnu. Radila se gnojidba Se određena standardnim uvjetima u dvije uzastopne godine na do 10 lokacija u Velikoj Britaniji. Gnojiva su primjenjena kao otopina natrijevog selenata ili kao granulirani Se. Pod svim tretmanima, koncentracija Se u zrnu je povećana za 16–26 ng Se.

2.2. Važnost mikroelemenata za biljke i ljude

Mikroelementi imaju ključnu ulogu u rastu i razvoju biljaka, životinja i ljudi. Mikroelementi: cink (Zn), bakar (Cu), željezo (Fe), mangan (Mn), bor (B), molibden (Mo), klor (Cl), nikal (Ni); kobalt (Co), su neophodni za biljke, također i za ljude. Jod (I), selen (Se), fluor (F) i krom (Cr) su neophodni za ljude, ali ne i za biljke. Navedene elemente biljka usvaja iz tla i vode, a životinje i ljudi ih usvajaju kroz lanac ishrane (Shukla i sur., 2018.), konzumacijom hrane biljnog porijekla. Unatoč sve većem pristupu dovoljnoj količini hrane za sve i značajnom postignuću u smanjenju gladi na globalnoj razini, nedostatak mikroelemenata uključujući cink (Zn), jod (I), i selen (Se) i dalje predstavljaju globalni zdravstveni problem, koji pogađa oko 2 milijarde ljudi (Bailey i sur., 2015). Niz ozbiljnih zdravstvenih komplikacija i kroničnih bolesti

može se pripisati nedovoljnim unosom mikroelemenata u organizam, a kronični nedostatak može uzrokovati smrt (Cakmak i sur. 2017.).

Sadržaj mikroelemenata u tlu ovisi o nekoliko čimbenika, a najvažniji su geokemijski sastav tla (ukupni sadržaj makro i mikroelemenata u tlu), tip tla, svojstva tla (pH, redoks potencijal (Eh), konduktivitet (EC), kvaliteta i količina organske tvari u tlu i sadržaj kalcijevog karbonata), raspoloživost makro i mikroelemenata, fauna tla, i interakcije koje nastaju u tlu (Alloway, 2008.).

Problemi s nedostatkom Mn javljaju se na tlima s niskim ukupnim sadržajem Mn (jako istrošenim tropskim i pjeskovitim tlima), na tresetnim tlima, ili organski bogatim tlom s pH iznad 6. Dostupni sadržaj Mn varira od 0,01 do 445,0 mg kg⁻¹, a prosječna vrijednost je oko 22 mg kg⁻¹ (Shukla i sur., 2018.).

Željezo je jedan od najzastupljenijih elementa na Zemlji. Ipak, njegov nedostatak je uobičajen diljem svijeta, te utječe na čak oko 2 milijarde ljudi (preko 30% svjetskog stanovništva). Globalno gledano, anemija s nedostatkom Fe najčešći je poremećaj prehrane, pogađa više od 50 % trudnica i žena te 40 % dojenčadi i djece predškolske dobi (Shukla i sur., 2018.).

U radu Mathur i sur. (2017.) provedeno je istraživanje utjecaja soka pšenične trave na razinu hemoglobina u krvi prilikom liječenja anemije. U istraživanje su bile uključene umjereno anemične žene u dobi između 35 - 45 godina. Ispitivana skupina konzumirala je sok od pšenične trave u razdoblju od 30 dana u količini od 30 ml dnevno. Sadržaj hemoglobina u krvi izmjeren je prije i nakon primijenjene terapije sokom pšenične trave. Rezultati istraživanja o utjecaju soka pšenične trave na razinu hemoglobina u krvi otkrili su da je kod svih ispitanica zabilježeno povećanje razine hemoglobina u krvi za oko 3 g/dl. U prvom mjerenju hemoglobina, na početku istraživanja, srednja razina hemoglobina ispitanica bila je oko 8,7 g/dl, odnosno bile su umjereno anemične, a nakon istraživanja utvrđeno je srednja vrijednost od 11,4 g/dl. To pokazuje da postoji pozitivan učinak soka pšenične trave na razinu hemoglobina u krvi.

Cink je mikroelement koji je esencijalan za biljke, životinje i ljude. Biljke usvajaju cink iz tla, a u prosjeku cink je prisutan u tlu u količini od 5 – 25 mg kg⁻¹ tla. Usvajanje cinka je aktivan proces, a biljke ga usvajaju kao kation Zn²⁺, ZnCl⁺, [Zn(NH₃)₄]²⁺, Zn(OH)⁺ i Zn-kelate, a za razliku od Fe, Mn, Cu i Mo u biljkama je uvijek u Zn²⁺ obliku (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Zbog fiksacije, visokog pH i drugih čimbenika njegova dostupnost biljkama može biti niska (Mathur i sur., 2017). Neki spojevi koji se koriste kao gnojiva mogu sadržavati značajne

količine Zn. Superfosfat je gnojivo za koje je utvrđeno da sadrži najviše koncentracije Zn (< 600 mg Zn kg⁻¹), ali njegova upotreba opada zbog zamjene gnojiva sa spojevima s višom čistoćom kao što je monoamonijev fosfat (MAP) i diamonijev fosfat (DAP) (Alloway, 2008.).

Korištenjem gnojiva koja sadrže cink i druge mikroelemente poboljšava se proizvodnja usjeva, međutim kada elementi nisu prisutni u dovoljnoj količini dolazi do narušavanja procesa fotosinteze, smanjene sinteze ugljikohidrata i proteina što uzrokuje smanjenje količine i kvalitete usjeva (Efe i Yarpuz., 2011.). U biljkama cink igra ključnu ulogu kao strukturni, sastavni ili regulatorni kofaktor širokog raspona različitih enzima i proteina u mnogim važnim biokemijskim putevima koji su povezani s metabolizmom ugljikohidrata, pretvorbom šećera u škrob, metabolizmom proteina, metabolizmom auksina (regulator rasta), stvaranjem polena, održavanjem cjelovitosti bioloških membrana, otpornosti na infekcije određenih patogena (Alloway, 2008.).

Nedostatak cinka uglavnom se javlja kada je pH tla visok, kada je visok sadržaj organske tvari u tlu, kod intenzivno obrađenih tala, te kod vapnenastih tala s visokim sadržajem bikarbonata. Simptomi nedostatka Zn vidljivi su na mlađim ili srednje starim listovima, smeđe do prašnjavo - smeđe mrlje na mlađem lišću, žutilo lišća / izbjeljivanje srednjeg rebra lista (Barman i sur., 2018.).

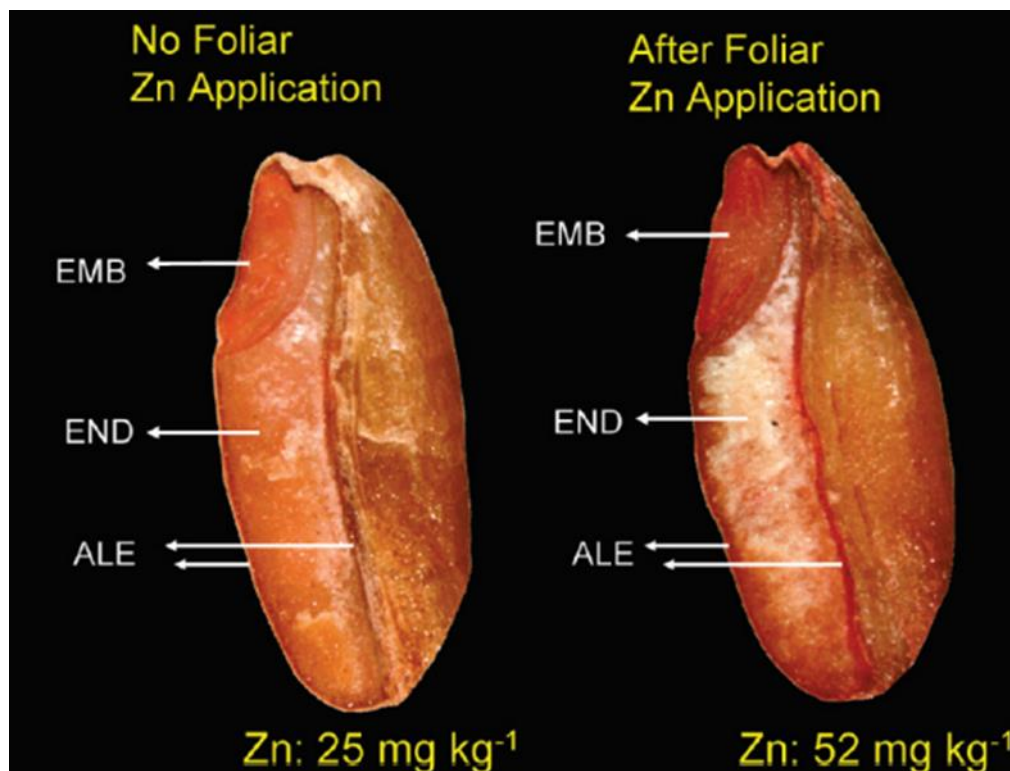
Nedostatak Zn povezan je i s brojnim problemima u zdravlju ljudi, npr. usporenim rastom, oslabljenim imunitetom, povećanim rizikom od infekcija itd. (Cakmak, 2008., Praharaj i sur., 2021.).

Velu i sur. (2018.) su utvrdili značajan utjecaj genotipova pšenice i značajnu interakciju genotip x okolina na koncentraciju cinka u zrnu u različitim vegetacijskim sezonama i lokacijama. Razlike u koncentracijama cinka u zrnu između okoliša vjerojatno su uzrokovane različitim razinama Zn u tlu na svakom mjesto ispitivanja. Uočene su velike varijacije koncentracije Zn u zrnu, s rasponom od 35,5 – 67,7 mg kg⁻¹ u prvoj godini istraživanja i 42,5 – 80,3 mg kg⁻¹ u drugoj godini istraživanja, odnosno srednja vrijednost koncentracije cinka u zrnu kretala se u prosjeku od 47,8 - 56,9 mg kg⁻¹.

Cakmak i sur. (2008.) navode da je folijarna ili kombinirana primjena Zn gnojiva u poljskim uvjetima vrlo učinkoviti i vrlo praktičan način povećanja unosa i akumulacije Zn u cjelovitom zrnu pšenice, te su na taj način postignute koncentracije cinka do 60 mg kg⁻¹.

U poljskim pokusom s pšenicom Cakmak i sur. (2010.) ispituju utjecaj tla i folijarne primjene ZnSO₄ na koncentracije Zn u cijelom zrnu i frakcijama zrna (npr. mekinje, klica i endosperm).

Folijarna primjena $ZnSO_4$ bila je provedena u različitim fazama razvoja zrna (npr. mliječna zrioba, tjestasto stanje, puna zrioba) na koncentraciju Zn u zrnu. Sazrijevanje zrna odvija se u nekoliko faza: mliječna zrioba (zrno je mliječne konzistencije), tjestasto stanje, voštana zrioba i puna zrioba. S napredovanjem sazrijevanja prema punoj zriobi smanjuje se vlažnost zrna, a povećava udio suhe tvari u zrnu (Kovačević i Rastija, 2014.). U pokusu Cakmak i sur. (2010.) primijenili su folijarnu gnojdbu Zn (u obliku $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$ ha^{-1}) u svakoj fazi rasta zrna pšenice u količini od $4 kg ha^{-1}$. Na svim mjestima, folijarna primjena Zn značajno je povećala koncentraciju Zn u zrnu i u svakoj frakciji zrna. Na slici je prikazano (slika 3) bojenje i lokalizacija Zn u zrnu krušne pšenice (Ozcan) bez (lijevo) i (desno) sa folijarnim prskanjem u fazi nalijevanja zrna i mliječnoj zriobi zrna. Koncentracije Zn u zrnu su bile $25 mg kg^{-1}$ bez apliciranog gnojiva (lijevo) i $52 mg kg^{-1}$ (desno) s aplikacijom gnojiva. Uzdužno izrezana površina sjemena obojena je Zn reagensom ditizona ($500 mg L^{-1}$ 1,5-difenil tiokarbazona otopljenog u metanolu; inkubacija na sobnoj temperaturi, 30 minuta). Formiranje crvene boje ukazuje da je lociran Zn, osobito u području klice i aleuronskog sloja zrna. (Slika 1.)



Slika 1. Bojenje i lokalizacija Zn u zrnu krušne pšenice (izvor: Cakmak i sur., 2010)

Selen (Se) je 1817. godine u, švedskom gradu Gripsholmu, otkrio kemičar Jacob Berzelius. (Kieliszek, 2019.). Selen se može pronaći kao elementarni Se (Se^0), selenid (Se^{2-}), selenit

(SeO_3^{2-}) i selenat (SeO_4^{2-}). Komercijalno dostupni oblici Se su H_2Se , H_2SeO_3 , H_2SeO_4 , Na_2SeO_4 , SeCl_2 i SeF_4 (Rayman, 2000.).

Selen nije esencijalan za biljke, ali neka istraživanja ukazuju na njegov pozitivan učinak na opće stanje biljke te povećanje otpornosti na brojne štetnike (Mechora, 2019.) Biljke nakupljaju selen u obliku anorganskih spojeva, selenata (IV) ili (VI), koji se zatim pretvaraju u organske oblike, posebno selenometionin i selenocistein. Anorganske vrste Se u tlu su selenid, elementarni Se, selenit i selenat (Mechora, 2019.). Za sadržaj selena u biljnom tkivu, važnija je dostupnost Se iz tla nego ukupni sadržaj Se u tlu.

Selen je esencijalna mikroelement u prehrani ljudi. Preporučena količina selena u prehrani za odrasle je 55 $\mu\text{g}/\text{dan}$, a samo pojedine zemlje (npr. SAD) postižu ovu razinu, dok većina zemalja ima veće preporučene doze zbog nižeg prosječnog statusa selena u njihovim populacijama (Avery i Hoffmann, 2018., Ebrahimi, 2020.). Pokazalo se da povećani unos selena hranom smanjuje smrtnost povezanu s karcinomima, smanjuje oksidativna oštećenja, težinu autoimunih bolesti, poboljšava mentalno zdravlje, poboljšava reproduktivnu učinkovitost i funkciju štitnjače (Weeks i sur., 2012.).

Tla na području Velike Britanije sadrže niske koncentracije Se. Iz toga razloga od 1980-ih unos Se u ljudski organizam u Velikoj Britaniji opada. Broadleya i sur. (2010.) ispituju potencijal ozime pšenice (*Triticum aestivum*) za povećanje koncentracije Se u zrnu koristeći se gnojivom u obliku otopine natrijevog selenata ili u obliku granuliranog selena. Istraživanje je provedeno kroz dvije godine na 10 lokacija na području Velike Britanije. U svim tretmanima, koncentracija selena u zrnu se povećala za 16-26 ng Se po 1 g svježe tvari (FW) za svaki dodani gram selena po hektaru. Drugim riječima, biofortifikacija selenom u koncentraciji od 10 g Se ha^{-1} , povećala se koncentracija selena u zrnu pšenice za prosječno deset puta. Uz to, negativan utjecaj selena na biljke pšenice nije primijećen.

2.3. Pšenična trava

Pšenična trava označava mladu biljku pšenice koja se reže u fazi vlatanja (Slika 2), a njeni mladi listovi se koriste za pripremu svježeg soka ili praha. Popularnost joj je porasla u proteklom desetljeću, kada se sve češće, zbog svoje nutritivne vrijednosti, koristi kao prirodni dodatak prehrani.



Slika 2. Pšenična trava (*Triticum spp.*) (Izvor: Ivona Štangl)

U posljednjih nekoliko godina konzumacija pšenične trave postala je široko rasprostranjena u cijelom svijetu, te postaje tražena među ljudima kao funkcionalno piće sa snažnim terapeutskim svojstvima.

Poznato je da pšenična trava ima visok sadržaj proteina, sadrži sve esencijalne aminokiseline, gotovo sve vitamine i minerale među kojima se ističe visok sadržaj vitamina A, B1, B2, B3, B5, B6 i E. Osim toga, ima izuzetno visok sadržaj magnezija te mikroelemenata Fe, Zn, Mn, i Cu (Chomchan, 2018.). Osim toga, pšenična trava može sadržavati i druge bioaktivne spojeve kao što su: bioflavonoidi, fenoli, flavonoidi, saponini, tanini, fitosteroli (Ashok, 2011.).

Pšenična trava se kao dodatak prehrani najčešće konzumira u obliku svježeg soka ili praha. Sok pšenične trave dobiva se hladnim prešanjem svježih listova pšenične trave, pri čemu se vlaknasti dio odvaja i dobiva se čisti sok. Sok pšenične trave je najbolje konzumirati svjež, odmah nakon pravljenja, jer je u svježem soku najviša enzimatska i antioksidativna aktivnost. Sok pšenične trave preporučuje se pacijentima koji boluju od kroničnih bolesti poput astme, ateroskleroze, Parkinsonove bolesti, bolovima u zglobovima, zatvora, dijabetesa, bronhitisa, nesаницe, ekcema, steriliteta, krvarenja, pretilosti i nadutosti. Također je koristan u liječenju raka (Mujoriya, 2011), kao dodatak koji pomaže u jačanju organizma, kako bi pacijenti lakše podnijeli nuspojave kemoterapije. Glavna klinička korist soka od pšenične trave je zbog njegovog antioksidativnog djelovanja koje proizlazi iz visokog sadržaja bioflavonoida kao što su apigenin, kvercetin i luteolin. Klorofil prisutan u pšeničnoj travi i hemoglobin iz ljudske krvi

imaju slične kemijske strukture, a pH vrijednost soka pšenične trave je oko 7,4 što je vrlo slično pH vrijednosti ljudske krvi. Zbog toga, se brzo apsorbira u krv i pomaže u liječenju anemija (Padalia i sur., 2010.).

U Istraživanju Ashoka (2011.) ispitano je antioksidativno djelovanje soka pšenične trave u usporedbi sa standardnim lijekom od askorbinske kiseline. Grafikon postotka inhibicije i IC50 su pokazali kako sok od pšenične trave ima značajno antioksidativno djelovanje te je usporedivo sa standardnim lijekom od askorbinske kiseline.

Prah pšenične trave dobiva se dobiva sušenjem listova pšenične trave. Zbog očuvanja nutritivne vrijednosti, listovi pšenične trave suše se na niskoj temperaturi, a nakon toga se melju, kako bi se dobio prah željene strukture.

Pokušaji da se očuva pšenična trava sušenjem u vakuumu pri povišenim temperaturama rezultirali su proizvodom koji je lošeg okusa i sniženog sadržaja hrvjivih tvari, a posebno značajno smanjene razine aktivnosti enzima (Sagliano i Sagliano, 1998).

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Biljni materijal

Istraživanje je provedeno na dvije sorte ozime pšenice hrvatskog podrijetla (Divana i Ilirija). Zrno korišteno za uzgoj pšenične trave dobiveno je iz poljskog pokusa provedenog u okviru projekta pod nazivom „Genotipska specifičnost pšenične trave (*Triticum aestivum* L.), visokonutritivnog prirodnog dodatka prehrani" financiranog od Hrvatske zaklade za znanost.

Poljski pokus je bio postavljen po slučajnom blok sustavu u tri ponavljanja na pokušalištu Klisa Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek u vegetacijskoj sezoni 2019./2020. U okviru poljskog pokusa provedena je biofortifikacija pšenice cinkom i selenom. Primijenjene su tri razine biofortifikacije, kako je prikazano u Tablici 1. Nakon žetve, zrno je spremljeno u komoru za čuvanje sjemena na +4°C.

Tablica 1. Tretmani i vrijeme primjene biofortifikacije cinkom i selenom

	ZnSO ₄	Na ₂ SeO ₄	Vrijeme primjene
Kontrola	0	0	-
Biofortifikacija 1	1,5 kg Zn ha ⁻¹	10 g Se ha ⁻¹	Cvatnja
Biofortifikacija 2	0,75 kg Zn ha ⁻¹	5 g Se ha ⁻¹	Cvatnja
	0,75 kg Zn ha ⁻¹	5 g Se ha ⁻¹	Mliječna zrioba

3.2. Priprema sjemena za sjetvu i naklijavanje

Na laboratorijskoj vagi izvagano je 60 g sjemena, koje je preliveno sa destiliranom vodom, te stavljeno na magnetsku mješalicu na 5 minuta. Nakon toga, izlivena je voda, te je postupak ponovljen još jedanput. Zatim je sjeme preliveno autoklaviranom vodom, te stavljeno na miješanje u trajanju od 5 minuta. Nakon zadnjeg ispiranja vodom, sjeme je stavljeno u staklene sterilizirane teglice. Teglice su prekrivene mrežicom i okrenute naopako kako bi eventualni višak vode istekao van (Slika 3.). Zrno je naklijavano 48 sati.



Slika 3. Sjeme u staklenim teglicama (Ivona Štangl)

3.3. Sjetva pšenice

Posude za sjetvu napunjene su s 300 g supstrata koji je ravnomjerno raspoređen po posudi. Supstrat je lagano pritisnut uz posudu i zaliven sa 150 ml destilirane vode. Naklijano zrno pažljivo je istreseno iz teglica na pripremljeni supstrat i ravnomjerno raspoređeno po cijeloj posudi. Zrno je prekriveno supstratom i zaliveno sa 150 ml destilirane vode. Nakon toga, posijana pšenica je stavljena u komoru za rast biljaka. Pšenična trava se uzgajala najduže 10 dana u komori za rast biljaka, gdje je dan trajao 14 sati pri temperaturi od 22 °C, a je noć trajala 10 sati pri temperaturi od 20 °C.

3.4. Otkos listova pšenične trave

Otkos listova pšenične trave rađen je 6, 8 i 10 dana nakon sjetve. Listovi pšenične trave rezani su oko 2 cm iznad površine supstrata (Slika 4), pri čemu se vodilo računa da se škarama ne dodiruje supstart, kako ne bi došlo do kontaminacije. Nakon otkosa na preciznoj laboratorijskoj vagi izvagano je 30 grama listova pšenične trave od kojih je pripremljen sok, a ostatak listova

pšenične trave stavljen je na sušenje za pripremu praha Sok od pšenične trave dobiven je cijedenjem pšenične trave na ručnom sokovniku za pšeničnu travu (Wheatgrass BL-30) (Slika 4). Listovi pšenične trave sušeni su u sušioniku za hranu (Klarstein, Fruit jerky 14) na 40 stupnjeva u trajanju od 60 sati. Nakon sušenja listovi su samljeveni u mlinu IKA Tube Mill (22 300 obrtaja) (Slika 4.).



Slika 4. Otkos, cijedenje soka te priprema praha pšenične trave (Izvor: Ivona Štangl)

3.5. Određivanje ukupnih koncentracija mikroelemenata

Ukupne koncentracije elemenata izmjerene su uzorcima soka i praha pšenične trave, nakon razaranja po mokrom postupku. Odpipetirano je 2 mL soka pšenične trave i preliveno je s 30 mL 65% HNO₃ + 2 ml 30% H₂O₂, te je stavljeni u mikrovalnu pećnicu. Prah pšenične trave

razara se tako što se prvo odvaži 0,5 g praha, koji se prelije s 50 mL HNO₃ + 2 mL 30% H₂O₂, te se također stavi u mikrovalnu peć (Slika 5.). Nakon završetka procesa kivete se vade van, a razoreni uzorak se pažljivo prelijeva u Falcon epruvetu od 50 mL, nakon čega se nadopunjava destiliranom vodom do 30 mL volumena. Ukupne koncentracije izmjerene su na ICP – OES uređaju (Perkin Elmer 2100 DW).



Slika 5. Kivete u mikrovalnoj pećnici (Izvor: Ivona Štangl)

3.6. Statistička obrada podataka

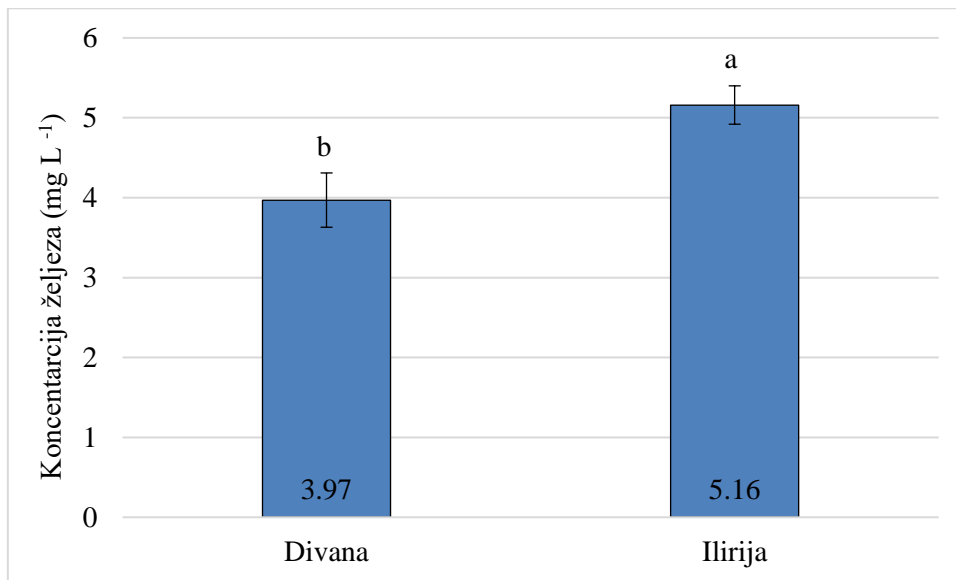
Utjecaj biofortifikacije, sorte i termina žetve na koncentraciju željeza, mangana, cinka i selena u soku i prahu pšenične trave ispitan je višefaktorijalnom analizom varijance ($p < 0,05$). Razlike između ispitivanih srednjih vrijednosti tretmana utvrđene Tukeyevim HSD testom na razini značajnosti od 95 %. Statistička obrada podataka napravljena je pomoću statističkog paketa SAS for windows 9.1.3. (SAS Institute INC, Cary, NC, USA).

4. REZULTATI

4.1. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju željeza u soku i prahu pšenične trave

Višefaktorijskom analizom varijance utvrđen je značajan utjecaj sorte ($F = 307,01$; $P < 0,001$; $df = 1$), termina žetve ($F = 4,50$; $P = 0,018$; $df = 2$) na koncentraciju željeza u soku pšenične trave. Biofortifikacija cinkom i selenom nije imala značajan utjecaj na koncentraciju željeza u soku pšenične trave ($F = 3,32$; $P > 0,05$; $df = 2$)

Uspoređujući utjecaj pojedinih tretmana na koncentraciju Fe u soku pšenične trave, vidljivo je da je najveći utjecaj imala sorta Ilirija (Grafikon 1), 30 % višu koncentraciju željeza nego Divana.



Grafikon 1. Koncentracija željeza u soku pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

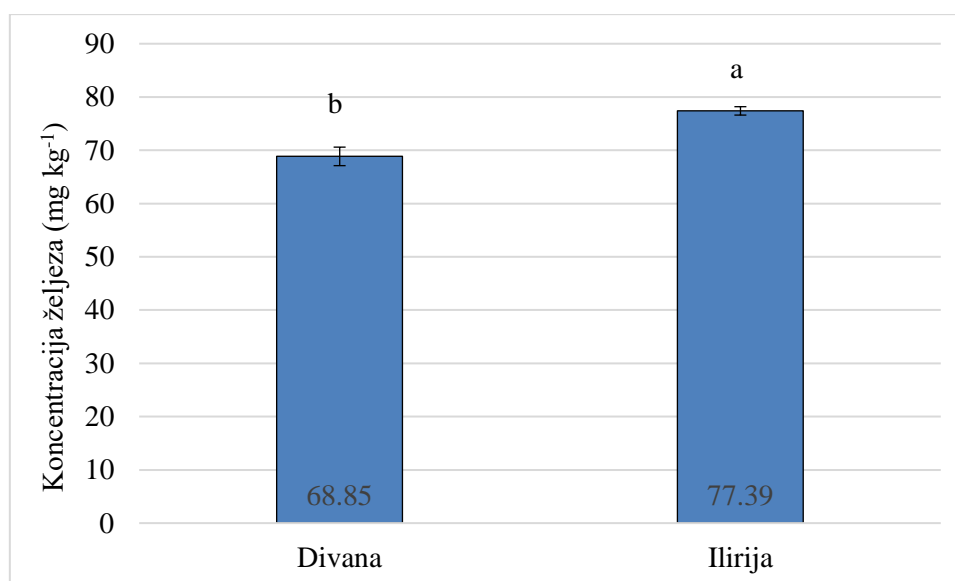
Tukeyevim testom ispitane su razlike između srednjih vrijednosti koncentracije željeza u soku pšenične trave između termina žetve. Najviša koncentracija željeza utvrđena je u prvom terminu žetve, odnosno 6. dan nakon sjetve, dok su 8. i 10. dan utvrđene niže koncentracije (Tablica 2).

Tablica 2. Koncentracija Fe (mg L^{-1}) u soku pšenične trave po tretmanima biofortifikacije i danima žetve

Tretman/Dan žetve	6 dan	8 dan	10 dan	Ukupno
Kontrola	$4,64 \pm 0,66$	$4,34 \pm 0,39$	$4,58 \pm 0,58$	$4,52 \pm 0,54^a$
Biofortifikacija 1	$4,71 \pm 0,83$	$4,90 \pm 0,71$	$4,46 \pm 0,70$	$4,69 \pm 0,73^a$
Biofortifikacija 2	$4,79 \pm 0,66$	$4,22 \pm 0,95$	$4,46 \pm 0,94$	$4,49 \pm 0,84^a$
Prosjeak	$4,71 \pm 0,68^a$	$4,48 \pm 0,74^b$	$4,50 \pm 0,71^b$	

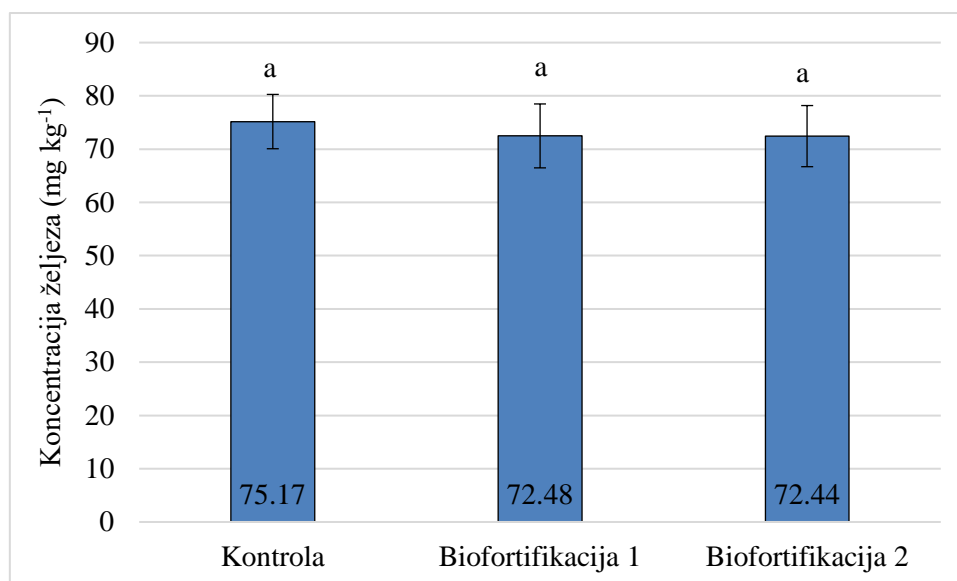
Prosječne srednje vrijednosti \pm standardna devijacija koje se statistički značajno razlikuju označene su različitim slovima ($p < 0,05$) (Tukey HSD test)

Provedena je dvofaktorijalna analiza varijance pri čemu je ispitan utjecaj sorte i tretmana biofortifikacije na koncentraciju željeza u prahu pšenične trave. Provedenom analizom utvrđen je značajan utjecaj sorte ($F = 30,16$; $P < 0,001$; $df=1$) na koncentraciju željeza u prahu pšenične trave (Grafikon 2). Utvrđeno je da je sorta Ilirija imala 12 % višu koncentraciju željeza nego sorta Divana.



Grafikon 2. Koncentracija željeza u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

Provedenom analizom varijance nije utvrđen značajan utjecaj tretmana biofortifikacije na koncentraciju željeza u prahu pšenične trave ($F = 0,72$; $P > 0,05$; $df = 2$) (Grafikon 3)



Grafikon 3. Koncentracija željeza u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortifikacije (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

4.2. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju mangana u soku i prahu pšenične trave

Višefaktorijskom analizom varijance utvrđen je značajan utjecaj biofortifikacije ($F = 11,43$; $P < 0,001$; $df = 2$) i dana žetve ($F = 43,25$; $P < 0,001$; $df = 2$) na koncentraciju mangana u soku pšenične trave (Tablica 3).

Najviša koncentracija mangana u soku pšenične trave utvrđena je pri biofortifikaciji 1 i nije se značajno razlikovala od kontrolnog tretmana, dok je najniža koncentracija utvrđena pri biofortifikaciji 2 te je bila 19 % niže nego u biofortifikaciji 1 (Tablica 3).

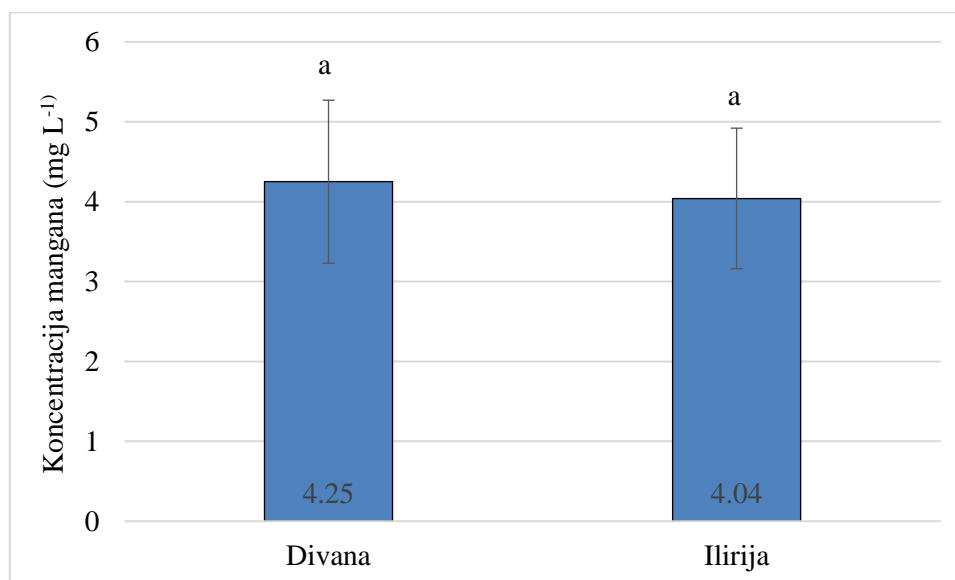
Što se tiče termina žetve, koncentracija mangana je rasla od 6. prema 10. danu žetve između kojih je i utvrđena najveća razlika, s tim da je koncentracija mangana u soku pšenične trave 10. dan bila 54 % veća nego 6. dan žetve (Tablica 3).

Tablica 3. Koncentracija Mn (mg L^{-1}) u tretmanima, te danima žetve u soku pšenične trave

Tretmani/Dan žetve	6 dan	8 dan	10 dan	Prosjek
Kontrola	$3,45 \pm 0,58$	$4,12 \pm 0,89$	$5,30 \pm 1,15$	$4,29 \pm 1,16^a$
Biofortifikacija 1	$3,53 \pm 0,61$	$4,51 \pm 0,47$	$5,49 \pm 0,70$	$4,51 \pm 1,00^a$
Biofortifikacija 2	$2,89 \pm 0,22$	$3,55 \pm 0,38$	$4,44 \pm 0,75$	$3,63 \pm 0,81^b$
Prosjek	$3,29 \pm 0,56^c$	$4,06 \pm 0,71^b$	$5,08 \pm 0,96^a$	

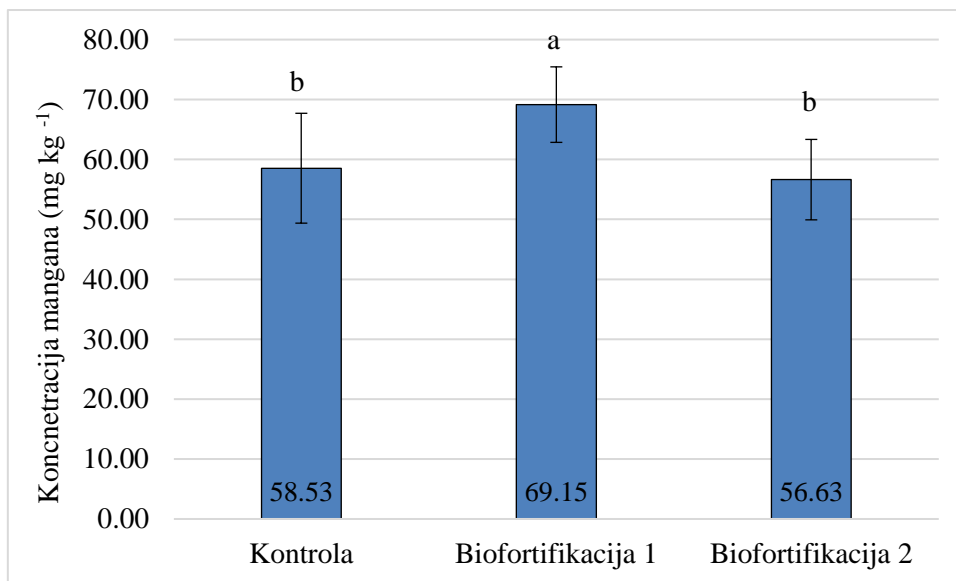
Prosječne srednje vrijednosti \pm standardna devijacija koje se statistički značajno razlikuju označene su različitim slovima ($p < 0,05$) (Tukey HSD test)

Provedenom analizom nije utvrđen značajan utjecaj sorte ($F = 1,70$; $P = 0,20$; $df = 1$) na koncentraciju mangana u soku pšenične trave (Grafikon 4).



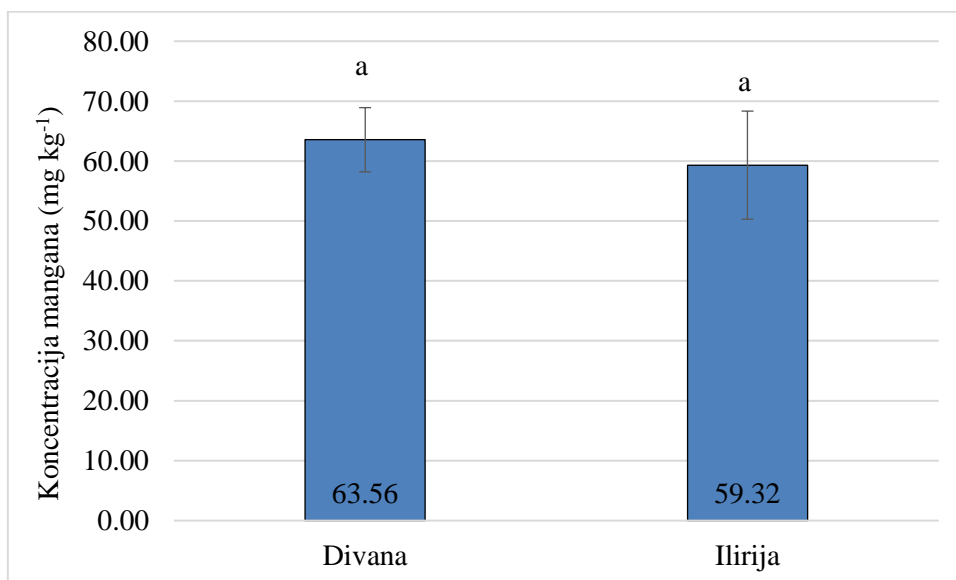
Grafikon 4. Koncentracija mangana u soku pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

Provedena je dvofaktorijalna analiza varijance kako bi se utvrdio utjecaj sorte i tretmana na koncentraciju mangana u soku pšenične trave. Navedenom analizom utvrđen je značajan utjecaj tretmana ($F = 5,01$; $P < 0,026$; $df=2$) (Grafikon 5), dok utjecaj sorte na koncentraciju mangana u prahu pšenične trave nije utvrđen ($F = 1,50$; $P = 0,245$; $df=1$) (Grafikon 6). Najviša koncentracija mangana utvrđena pri biofortifikaciji 1, i bila je za 22 % viša nego kod biofortifikacije 2, te 18 % viša nego u kontrolnom tretmanu (Grafikon 5).



Grafikon 5. Koncentracija mangana u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortifikacije (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

U prahu pšenične trave sorte Divane utvrđena je 7 % viša koncentracija mangana u odnosu na sprtu Iliriju, no navedena razlika nije statsitički značajna (Grafikon 6).

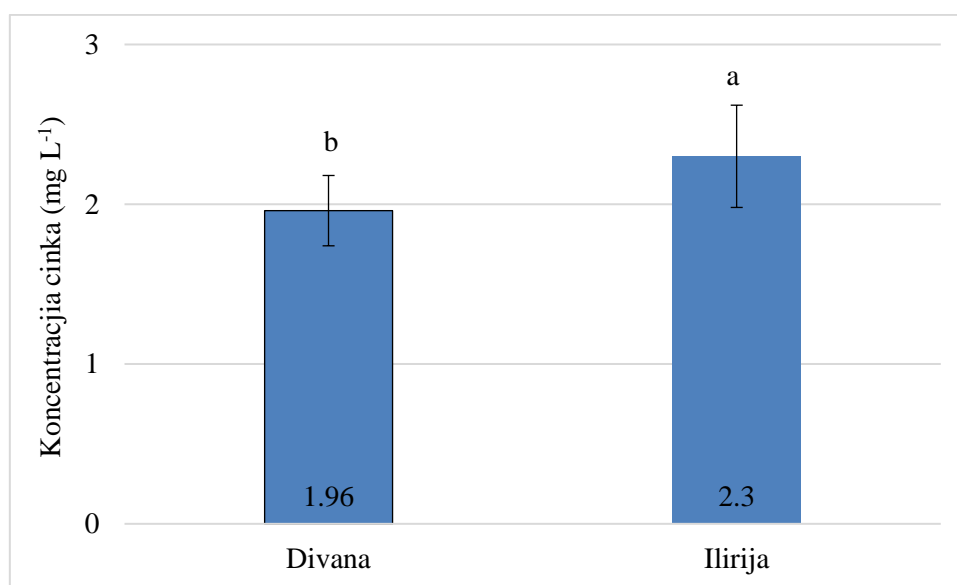


Grafikon 6. Koncentracija mangana u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

4.3. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju cinka u soku i prahu pšenične trave

Višefaktorijskom analizom varijance utvrđen je značajan utjecaj sorte ($F = 77,66$; $P < 0,001$; $df = 1$), tretmana ($F = 36,32$; $P < 0,001$; $df = 2$), dana žetve ($F = 15,06$; $P < 0,001$; $df = 2$) i interakcije sorta x tretman ($F = 17,07$; $P < 0,001$; $df = 2$) na koncentraciju cinka u soku pšenične trave.

Sorta Ilirija imala je 17 % višu koncentraciju cinka u soku pšenične trave u odnosu na sortu Divana (Grafikon 7).



Grafikon 7. Koncentracija cinka u soku pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

Biofortifikacija je također imala značajan učinak na koncentraciju cinka u soku pšenične trave, te je utvrđen porast koncentracije cinka pod utjecajem biofortifikacije za prosječno 17% u odnosu na kontrolni tretman (Tablica 4).

Najviša koncentracija cinka utvrđena je u soku pšenične trave 6. dan nakon žetve, a od 6. prema 10. danu koncentracija cinka se snizila za prosječno 10 %. Najveću prosječnu koncentraciju cinka je imala pšenična trava čija se žetva odvila šesti dan (Tablica 4).

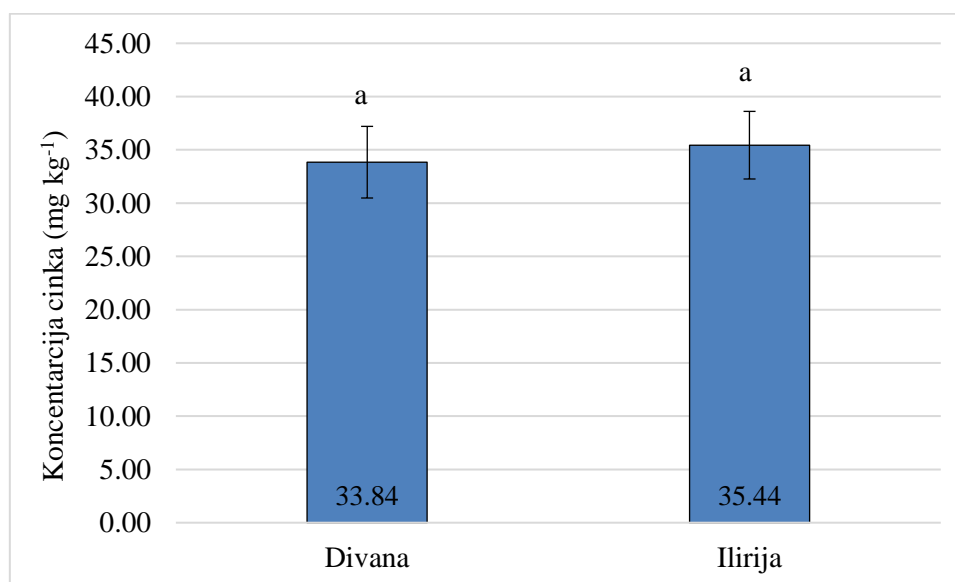
Tablica 4. Koncentracija cinka (mg L^{-1}) po tretmanima biofortifikacije, te danima žetve u soku pšenične trave

Tretmani/Dani žetve	6. dan	8. dan	10. dan	Prosjeak
Kontrola	$2,01 \pm 0,27$	$1,78 \pm 0,06$	$1,93 \pm 0,28$	$1,91 \pm 0,23^b$
Biofortifikacija 1	$2,30 \pm 0,11$	$2,22 \pm 0,22$	$2,12 \pm 0,08$	$2,21 \pm 0,08^a$
Biofortifikacija 2	$2,53 \pm 0,43$	$2,17 \pm 0,43$	$2,14 \pm 0,24$	$2,28 \pm 0,40^a$
Prosjeak	$2,28 \pm 0,36^a$	$2,06 \pm 0,33^b$	$2,06 \pm 0,22^b$	

Prosječne srednje vrijednosti \pm standardna devijacija koje se statistički značajno razlikuju označene su različitim slovima ($p < 0,05$) (Tukey HSD test)

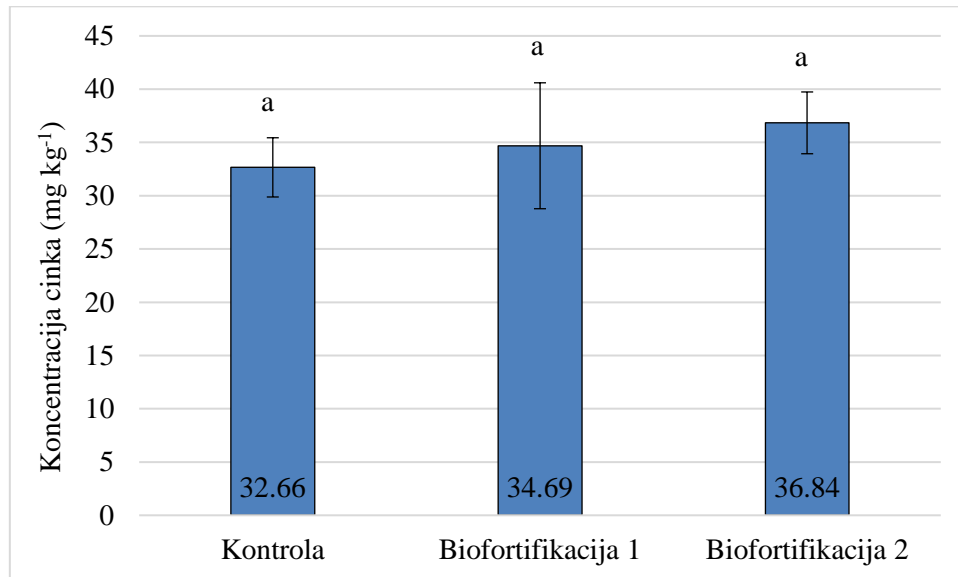
Dvofaktorijskom analizom varijance nije utvrđen značajan utjecaj sorte ($F = 0,72$; $P = 0,414$; $df = 1$), tretmana ($F=1,83$; $P = 0,202$; $df=2$), niti njihove interakcije ($F=1,45$ $P = 0,273$; $df=2$) na koncentraciju cinka u prahu pšenične trave.

Sorta Ilirija imala je 4 % višu koncentraciju cinka u prahu pšenične trave nego sorta Divana, no razlika između koncentracija nije statistički značajna (Grafikon 8).



Grafikon 8. Koncentracija cinka u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

Najviša koncentracija cinka u prahu pšenične trave utvrđena je pri biofortifikaciji 2 i bila je 12 % viša u odnosu na koncentraciju utvrđenu u kontrolnom tretmanu. Između srednjih vrijednosti tretmana nisu utvrđene statistički značajne razlike (Grafikon 9).



Grafikon 9. Koncentracija cinka u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortifikacije (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

4.4. Utjecaj biofortifikacije na koncentraciju selena u soku i prahu pšenične trave

Višefaktorijalnom analizom varijance utvrđen je značajan utjecaj sorte ($F = 14,40$; $P < 0,01$; $df=1$), tretmana ($F = 383,75$; $P < 0,01$; $df = 2$), dana žetve ($F = 9,32$; $P < 0,01$; $df = 2$) te interakcije sorta x tretman ($F = 11,47$; $P < 0,01$; $df = 2$) na koncentraciju selena u soku pšenične trave.

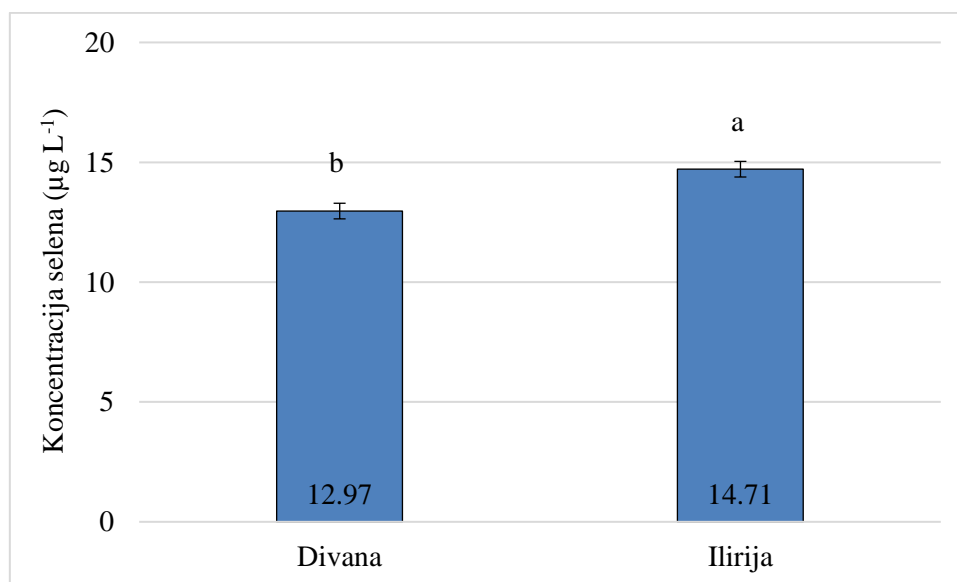
Iako su svi ispitivani faktori imali statistički značajan utjecaj na koncentraciju selena u soku pšenične trave, najjači utjecaj je imao tretman biofortifikacije. Biofortifikacija je povećala koncentraciju selena u soku za 3,88 puta pri biofortifikaciji 1 u odnosu na kontrolu, te za 2,92 puta pri biofortifikaciji 2 u odnosu na kontrolu. Statistički značajne razlike utvrđene su između svih razina biofortifikacije (Tablica 5).

Tablica 5. Koncentracija selena ($\mu\text{g L}^{-1}$) po tretmanima biofortifikacije, te danima žetve u soku pšenične trave

Tretman/Dan Žetve	6 dan	8 dan	10 dan	Prosjek
Kontrola	$5,88 \pm 0,95$	$5,35 \pm 1,05$	$4,73 \pm 1,44$	$5,32 \pm 1,20^a$
Biofortifikacija 1	$21,53 \pm 3,75$	$21,07 \pm 1,00$	$19,34 \pm 2,28$	$20,65 \pm 2,61^b$
Biofortifikacija 2	$17,91 \pm 2,60$	$14,76 \pm 3,54$	$13,98 \pm 2,15$	$15,55 \pm 3,18^c$
Prosjek	$15,11 \pm 7,33^a$	$13,73 \pm 6,96^b$	$12,68 \pm 6,49^b$	

Koncentracija selena u soku pšenične trave opada s danima nakon žetve. Tako je najviša koncentracija selena utvrđena 6. dan nakon žetve, a najniža 10. dan nakon žetve. Razlika u koncentraciji selena u soku pšenične trave između 6. i 10. dana bila je 19 %, a statistički značajne razlike utvrđene su između 6. te 8. i 10. dana (Tablica 5).

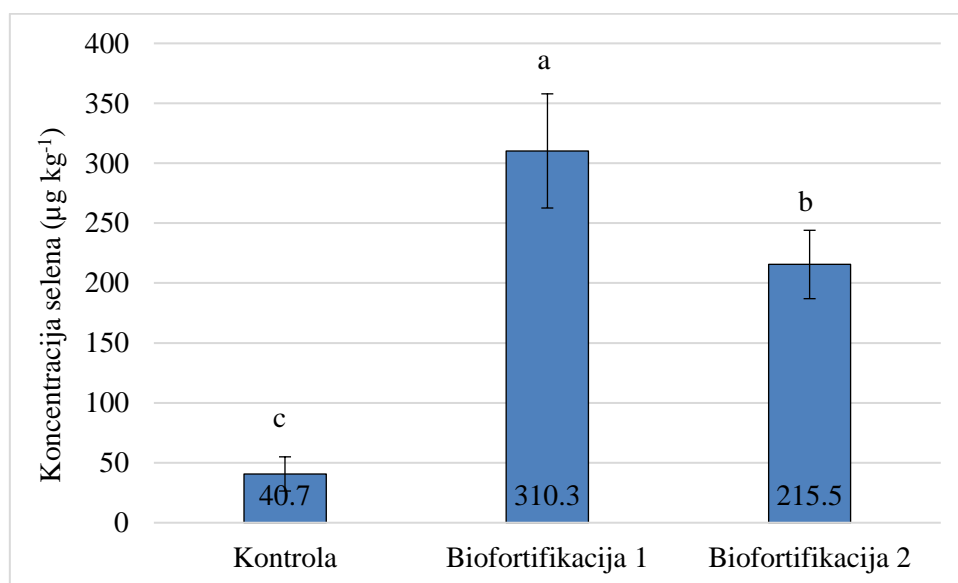
Između sorata su također utvrđene statistički značajne razlike u koncentraciji selena u soku pšenične trave, pri čemu je sorta Ilirija imala 13 % višu koncentraciju nego sorta Divana (Grafikon 10).



Grafikon 10. Koncentracija selena u soku pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

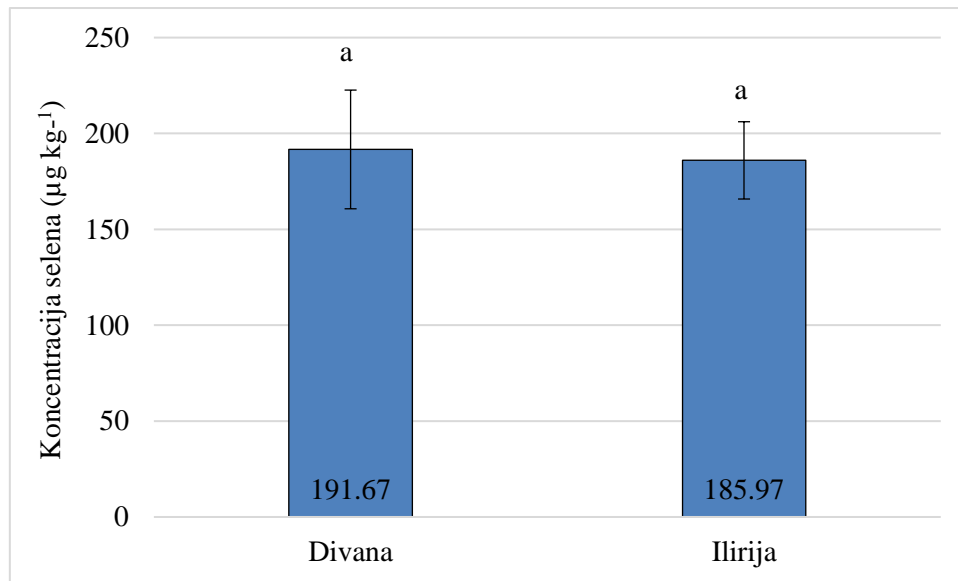
Dvofaktorijalnom analizom varijance utvrđen je značajan utjecaj tretmana ($F = 170,81$; $P < 0,001$; $df = 2$) i interakcije sorta x tretman ($F = 6,40$; $P = 0,013$; $df = 2$) na koncentraciju selena u prahu pšenične trave. Utjecaj sorte na koncentraciju selena u prahu pšenične trave nije utvrđen ($F = 0,22$; $P = 0,645$; $df = 1$).

Pod utjecajem biofortifikacije 1, koncentracija selena u prahu pšenične trave porasla je 7,6 puta dok je nakon biofortifikacije 2, koncentracija selena u prahu pšenične trave porasla 5,3 puta u odnosu na koncentraciju utvrđenu u kontroli (Grafikon 11).



Grafikon 11. Koncentracija selena u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortifikacije (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

Sorta Divana imala je za 3 % višu koncentraciju selena u prahu pšenične trave u odnosu na sortu Ilirija, no utvrđena razlika nije statistički značajna (Grafikon 12).

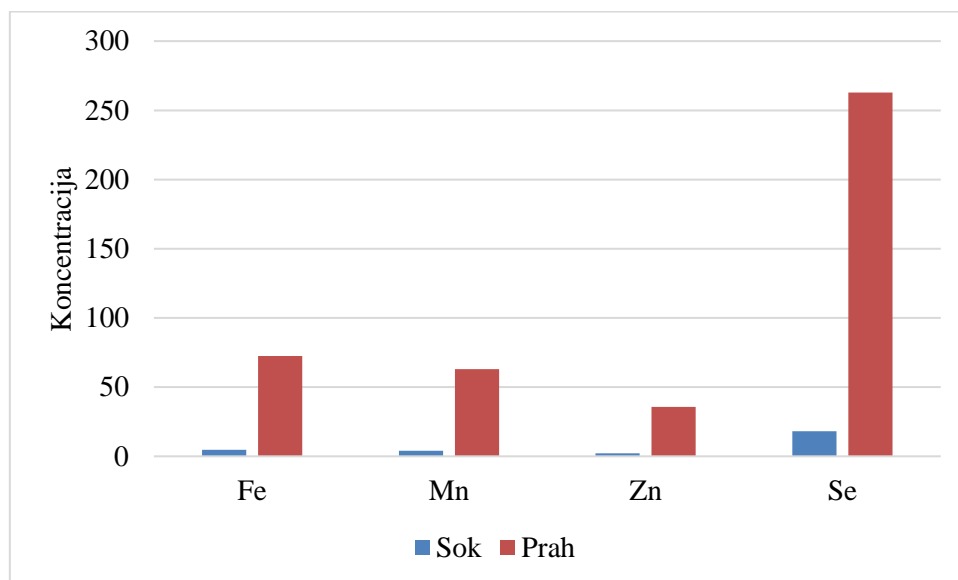


Grafikon 12. Koncentracija selena u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija (stupci označeni različitim slovima značajno se razlikuju $p < 0,05$ prema Tukeyevom HSD testu)

5. RASPRAVA

U ovom istraživanju ispitivan je utjecaj biofortifikacije cinkom i selenom na koncentraciju željeza, mangana, cinka i selen u soku i prahu pšenične trave sorti Divana i Ilirija. Sok i prah pšenične trave koriste se kao prirodni dodatci u prehrani ljudi. S aspekta nutritivne vrijednosti, važno je utvrditi imaju li sok i prah jednaku vrijednost ili je moguće izdvojiti jedan kao bolji u odnosu na drugi.

U provedenom istraživanju, utvrđene su značajno više koncentracije svih ispitivanih elemenata u prahu pšenične trave u odnosu na koncentracije u soku (Grafikon 13). Unatoč tome, na temelju predočenih rezultata ne možemo zaključiti da prah pšenične trave ima veću nutritivnu vrijednost nego sok.



Grafikon 13. Koncentracije ispitivanih elemenata u soku i prahu pšenične trave (u soku su koncentracije prikazane u mg L⁻¹, za selen u μg L⁻¹; u prahu su koncentracije prikazane u mg kg⁻¹, za selen u μg kg⁻¹)

Naime, ukupne koncentracije elemenata jesu značajan faktor koji u određenoj mjeri utječe na nutritivnu vrijednost, no da bi utvrdili i usporedili nutritivne vrijednosti soka i praha pšenične trave, potrebno je utvrditi bioraspoložive koncentracije ispitivanih elemenata. Osim toga, sok pšenične trave ima niz prednosti u odnosu na prah jer se konzumira u svježem obliku, te ima značajno veću antioksidativnu i enzimsku aktivnost.

Istraživanje je pokazalo da sorta Ilirija sadrži veće količine Fe u soku od sorte Divane, za 29,97 %. Najveća prosječna koncentracija Fe u soku je izmjerena šesti dan ($5,35 \text{ mg L}^{-1}$), što je više za 7,10 % od osmog dana otkosa, te 3,55 % od desetog dana otkosa pšenične trave (Tablica 2.). U prahu pšenične trave sorta Ilirija imala je veću koncentracije Fe od sorte Divane za 13,42 % (Grafikon 1.).

Koncentracije Mn između sorti Divane i Ilirije se nisu znatno razlikovale, ali je između dana otkosa utvrđena statistički značajna razlika. Najveće koncentracije Mn u soku pšenične trave su izmjerene desetog dana otkosa. Prosječna koncentracija Mn u soku pšenične trave desetog dana otkosa iznosila je $5,08 \text{ mg L}^{-1}$, što je za 25,12 % više od 8. dana otkosa, te 54,41 % više od šestog dana otkosa pšenične trave (Tablica 3). Razlika u koncentracijama Mn u prahu pšenične trave nije utvrđena između sorti, ali je utvrđena između tretmana. Najbolji se pokazao prvi tretman pri kojem je utvrđena koncentracija od $69,15 \text{ mg kg}^{-1}$. To je više od kontrole za 18,12 %, te od drugog tretmana za 22,11 % (Grafikon 5).

Između sorti Divane i Ilirija utvrđena je statistički značajna razlika u koncentracijama Zn u soku pšenične trave. Ilirija je imala veću prosječnu koncentraciju od $2,30 \text{ mg L}^{-1}$, što je 16 % više od Divane (Grafikon 7). Najveća prosječna koncentracija Zn je izmjerena šestog dana otkosa, te je bila za 10,68 % više nego osmi dan otkosa (Tablica 4).

Ilirija je imala prosječnu koncentraciju od $14,71 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ Se, što je za 13,42 % više od sorte Divana (Grafikon 10). Šestog dana otkosa izmjerena je najveća prosječnu koncentraciju Se od $15,11 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$, što je za 10,05 % više od osmog dana, odnosno 19,16 % više nego koncentracije izmjerene desetog dana otkosa pšenične trave (Tablica 5). Koncentracija selena u prahu pšenične trave bila je pod značajnim utjecajem biofortifikacije. Najviša koncentracija selena utvrđena je pri biofortifikaciji 1 i iznosila $310,25 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$, što je za 7,6 puta više od kontrolnog tretmana, te 43,97 % više od drugog tretmana, odnosno biofortifikacije 2 (Tablica 5).

Uzimajući u obzir dobivene rezultate, jasno je da je izbor sorte važan korak u uzgoju pšenične trave, kojim se značajno utječe na nutritivnu vrijednost soka ili praha koji će se od nje napraviti. U radu Grubišić i sur. (2019.) opisan je optimalan način sjetve pšenične trave. Rezultati su pokazali da sorta, u odnosu na ostale ispitivane tretmane, ima najveći utjecaj na broj i masu biljaka. Također je dokazano da je masa biljaka u pozitivnoj vezi s količinom soka, pa prema tome izbor sorte značajno utječe na količinu dobivenoga soka. Uzgoj bez podloge pokazao se najnepovoljnijim s obzirom na pojavu plijesni. Uspješniji način je ukoliko se koristi podloga sa supstratom za uzgoj pšenične trave. Osim sorte i podloge, veliki utjecaj na masu biljaka,

količinu i kvalitetu pšeničnog soka, te pojavu plijesni imaju i uvjeti uzgoja kao što su temperatura i vlaga zraka, jačina osvjetljenja, režim dan-noć, te broj dana uzgoja. Uz navedeno, provedenim istraživanjem, utvrđeno je da se sorte razlikuju prema koncentraciji elemenata u soku i prahu te da različito reagiraju na biofortifikaciju. Shodno tome, prilikom izbora sorte za uzgoj pšenične trave, treba se voditi račun da se izabere što bolje sorta.

Biofortifikacija je prihvaćena kao mjera za povećanje mikroelemenata u zrnju pšenice. Također se razvijaju i predlažu budući smjerovi biofortifikacije, a ističe se biofortifikacija posredovana mikroorganizmima koja ima veliki potencijal primjene (Stangoulis i Knez, 2022.).

Prilikom provedbe biofortifikacije, osim utjecaja elemenata kojima se biofortificira na koncentraciju istih tih elemenata u jestivim dijelovima, jasno je da će biofortifikacija utjecati i na druge elemente i njihove interakcije. Tako u provedenom istraživanju kombinirana biofortifikacija cinkom i selenom, osim na koncentracije selena i cinka, značajno utječe i na koncentraciju mangana u soku i prahu pšenične trave, dok utjecaj biofortifikacije na koncentraciju željeza nije utvrđen. Germ i sur. (2013.) ispitivali su utjecaj biofortifikacije cinkom i selenom na 36 elemenata u zrnju pšenice. U usporedbi sa zrnjem iz nebiofortificiranih biljaka, gnojidba Zn povećala je koncentraciju Zn, Ca i Mo u zrnju, dok je folijarna primjena Se samo povećala koncentracije Se u zrnju. Dvostruka biofortifikacija (kombinirana gnojidba Zn i folijarno Se) bila je učinkovitija za povećanje koncentracije Se u zrnju, u usporedbi s biljkama obogaćenim samo Se. Koncentracije Mo ostale su na istim razinama kao i za biljke obogaćene samo Zn. U zrnju pšenice, koncentracije Zn, Na, K, Ca, Fe, Mo, Br, Rb i Ba bile su iznad granica detekcije u svim tretmanima.

Provedenim istraživanjem utvrđeno je da se koncentracije elemenata u pšeničnoj travi mijenjaju ovisno o starosti biljaka. Uglavnom su najviše koncentracije elemenata utvrđene u soku napravljenom 6. dana nakon žetve, dok su u starijim biljkama utvrđene niže koncentracije

6. ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata provedenog istraživanja može se zaključiti sljedeće:

1. Ispitivane sorte (Divana i Ilirija) značajno se razlikuju s obzirom na koncentraciju željeza u soku i prahu pšenične trave te cinka i selena u soku pšenične. Za mangan u soku i prahu, te cink i selen u prahu nisu utvrđene statistički značajne razlike između sorata.
2. Biofortifikacija selenom i cinkom značajno je utjecala na povećanje koncentracije selena u soku i prahu te cinka u soku pšenične trave. Koncentracija mangana u soku pšenične trave je opala, a u prahu porasla pod utjecajem biofortifikacije. Biofortifikacija nije utjecala na koncentraciju željeza u prahu i soku pšenične trave.
3. Starost klijanaca, odnosno broj dana nakon sjetve značajno je utjecao na koncentraciju željeza, mangana, cinka i selena. Koncentracija željeza, cinka i selena u soku pšenične trave opadaju od 6. prema 10. danu nakon sjetve, dok je koncentracija mangana rasla.
4. Uzgojem pšenične trave iz biofortificiranog zrna, može se povećati koncentracije mikroelemenata u soku i prahu pšenične trave. Da bi se precizno procjenio učinak biofortifikacije na koncentraciju elemenata u soku i prahu pšenične trave, potrebno je provesti detaljnija istraživanja s više razina biofortifikacije, na većem broju sorata te ispitati utjecaj na koncentracije, ali i bioraspoloživost, većeg broja elemenata.

7. POPIS LITERATURE

1. Aggett, P. J. (2010.): Population reference intakes and micronutrient bioavailability: a European perspective. American Society for Clinical Nutrition, 1433-1437.
2. Alloway, B. J. (2008.): Zinc in Soils and Crop Nutrition. Layam i Gannava, Brussels, Belgium, Paris, France.
3. Ashok, S.A. (2011.): Hytochemical and pharmacological screening of wehatgrass juice (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Pharmaceutical Sciences, 9(1):159-164.
4. Avery, J. C., Hoffmann P.R. (2018.): Selenium, Selenoproteins, and Immunity. Nutrients, 10(9): 1203.
5. Bailey, R.L., West, K.P. Jr., Black, R.E. (2015.): The epidemiology of global micronutrient deficiencies. Ann Nutr Metab, 66(2):22–33.
6. Barman, H., Das, S. K., Roy, A. (2018.): Zinc in Soil Environment for Plant Health and Management Strategy. Universal Journal of Agricultural Research, 6(5): 149-154.
7. 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., Tovey, M., Tucker White, M., Young, S.D., Zhao, F.J.(2010.): Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. Plant Soil, 332:5–18.
8. Cakmak, I., (2008.): Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant Soil, 302:1–17.
9. Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A.A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., Horst, W.J.(2010.): Biofortification and localization of zinc in wheat grain. Agric Food Chem, 58(16):9092-102.
10. Cakmak, I., Pfeiffer, W.H., McClafferty, B.(2010.): Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. Plant Soil, 10-20.
11. Cakmak, I., Prom-u-Thai, C., Guilherme, L.R.G., Rashid, A., Hora, K. H., Yazici, A., Savasl, E., Kalayci, M., Tutus, Y., Phuphong, P., Rizwan, M., Martins, F.A.D., Dinali, G.S., Ozturk, L. (2017.): Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. Plant Soil, 418:319–335.
12. Chomchan, R. (2018.): Selenium biofortified ricegrass (*Oryza Sativa* L.) juice powder with an enhancement of its selenium content, bioactive compounds content and biological properties. Doktorska teza, Sveučilište Songkla, Tajland.

13. Ebrahimi, N. (2020.): Selenium biofortification in crops and its cycling in the agroecosystem. Doktorska teza, Sveučilište u Helsinku, Finska.
14. Efe, L., Yarpuz, E. (2011.): The effect of zinc application methods on seed cotton yield, lint and seed quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in east Mediterranean region of Turkey. African Journal of Biotechnology, (44):8782-8789.
15. Foti, V.T., Scuderi, A., Bellia, C., Timpanaro, G. (2021.): Biofortification of tomatoes in Italy: Status and level of knowledge. Agricultural Economics, (6): 227–235.
16. Germ, M., Pongrac, M., Regvar, K., Vogel-Mikuš, K., Stibilj, V., Jaćimović, R., Kreft, I.(2013.): Impact of double Zn and Se biofortification of wheat plants on the element concentrations in the grain. Plant Soil Environ, (59): 316-321.
17. Grubišić, S., Orkić, V., Guberac, S., Petrović, S., Lisjak, M., Kristić, M., Rebekić, A. (2019.): Optimal method of sowing wheat (*Triticum aestivum* L.) for growing wheatgrass. Poljoprivreda, (2): 31-37.
18. Kieliszek, M. (2019.): Selenium–Fascinating Microelement, Properties and Sources in Food. Molecules, (24): 1298.
19. Kovačević, V., Rastija, M. (2014.): Žitarice, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
20. Lyons, G.H., Lewis, J., Lorimer, M.F., Holloway, M., Brace, J., Stangoulis, C.R., Gragam, R.D.(2004.): High-selenium wheat: agronomic biofortification strategies to improve human nutrition. Food, Agriculture & Environment, (1):171-178.
21. Mao, H., Wang, J., Wang, Z., Zan, Y., Lyons, G., Zou, C. (2014.): Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(2):459-470.
22. Maqbool, M.A., Beshir, A.R. (2019.): Zinc biofortification of maize (*Zea mays* L.): Status and challenges. Plant Breeding, (138):1–28.
23. Mathur, S., Mathur, R., Kohli, G. (2017.): Therapeutic Use of Wheat Grass Juice for the Treatment of Anemia in Young Women of Ajmer City (Rajasthan, India). International Journal of Nutritional Sciences, 2(1): 1014.
24. Mechora, Š. (2019.): Selenium as a Protective Agent against Pests: A Review. Plants, (8):262.
25. Mujoriya, R., Bodla, R. (2011.): A study on wheat grass and its Nutritional value. Food Science and Quality Management, 2224-6088.
26. Padalia, S., Drabu, S., Raheja, I., Gupta, A., Dhamija, M. (2010.): Multitude potential of wheatgrass juice (Green Blood): An overview. Chronicles of Young Scientists, 1(2):23-28.

27. Praharaaj, S., Skalicky, M., Maitra, S., Bhadra, P., Shankar, T., Brestic, M, Hejnak, V., Vachova, P., Hossain, A. (2021.): Zinc Biofortification in Food Crops Could Alleviate the Zinc Malnutrition in Human Health. *Molecules*, 26(12):3509.
28. Rayman, M. P. (2000.): The importance of selenium to human health. *Lancet*, (9225):233.
29. Sagliano, F.S., Sagliano, A.S. (1998.): Method for growing and preserving wheatgrass nutrients and products thereof. United States Patent, 516.
30. Shukla, A.K., Sanjib, K. B., Abhijit, P., Chaudhari, S.K. (2018.): Micronutrients in Soils, Plants, Animals and Humans. *Indian Journal of Fertilisers*, (4):30-54.
31. Shukla, A.K., Sanjib, K. B., Satyanarayana, T., Majumdar, K. (2019.): Importance of Micronutrients in Indian Agriculture. *Better crops - South Asia*, 6-10.
32. Stangoulis, J.C.R., Knez, M. (2022.): Biofortification of major crop plants with iron and zinc - achievements and future directions. *Plant and Soil*, 57-76.
33. Velu, G., Prakash Singh, R., Crespo-Herrera, L., Juliana, P., Dreisigacker, S., Valluru, R., Stangoulis, J., Singh Sohu, V., Mavi, G.S., Mishra, V.K., Balasubramaniam, A., Chatrath, R., Gupta, V., Sing, G.P., Kumar Joshi, A. (2018.): Genetic dissection of grain zinc concentration in spring wheat for mainstreaming biofortification in CIMMYT wheat breeding. *Scientific reports*, 8:13526.
34. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): *Ishrana bilja*, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
35. Weeks, B.S., Hanna, M.S., Cooperstein, D. (2012.): Dietary selenium and selenoprotein function. *Med Sci Monit*, (8):127-132.
36. Welch, R.M., Graham, R.D. (2012.): Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany*, (396):353-364.
37. White, P.J., Broadley, M. (2009.): Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182: 49–84.
38. Xia, Q., Yang, Z.P., Xue, N.W., Dai, X.J., Zhang, X., Gao, Z.Q. (2019.): Effect of foliar application of selenium on nutrient concentration and yield of colored-grain wheat in China. *Applied ecology and environmental research*, 17(2):2187-2202.

8. SAŽETAK

Biofortifikacija je postupak kojim se ciljano želi povećati koncentracija pojedinih mikroelemenata. U radu je ispitan utjecaj biofortifikacije cinkom i selenom na koncentraciju željeza, mangana, cinka i selena u soku prahu pšenične trave na sortama Divana i Ilirija. Utvrđene se značajno više koncentracije svih ispitivanih elemenata u prahu u odnosu na sok pšenične trave. Ispitana je i starost klijanaca, odnosno kako broj dana nakon sjetve utječu na koncentraciju Fe, Mn, Zn i Se. Koncentracija Fe, Zn i Se u soku pšenične trave opadaju od 6. prema 10. danu nakon sjetve, dok koncentracija Mn raste.

Ključne riječi: biofortifikacija, sok pšenične trave, prah pšenične trave, mikrolementi, cink, selen

9. SUMMARY

Biofortification is a procedure that aims to increase the concentration of individual microelements. This research is about the influence of biofortification with zinc and selenium on the concentration of iron, manganese, zinc and selenium in the juice and wheatgrass powder on the Divana and Ilirija wheatgrass varieties. Significantly higher concentrations of all tested elements were found in powder compared to wheatgrass juice. The age of the seedlings, i.e. the number of days after sowing, affects the concentration of Fe, Mn, Zn and Se. The concentration of Fe, Zn and Se in wheatgrass juice decreased from the 6th to the 10th day after sowing, while the concentration of Mn increased.

Keywords: biofortification, wheatgrass juice, wheatgrass powder, microelements, zinc, selenium

10. POPIS TABLICA

Tablica	Naziv tablice	Stranica
Tablica 1.	Tretmani i vrijeme primjene biofortifikacije cinkom i selenom	11.
Tablica 2.	Koncentracija Fe (mg L^{-1}) u soku pšenične trave po tretmanima biofortifikacije i danima žetve	16.
Tablica 3.	Koncentracija Mn (mg L^{-1}) u tretmanima, te danima žetve u soku pšenične trave	18.
Tablica 4.	Koncentracija cinka (mg L^{-1}) po tretmanima biofortifikacije, te danima žetve u soku pšenične trave	21.
Tablica 5.	Koncentracija selena ($\mu\text{g L}^{-1}$) po tretmanima biofortifikacije, te danima žetve u soku pšenične trave	23.

11. POPIS SLIKA

Tablica	Naziv tablice	Stranica
Slika 1.	Bojenje i lokalizacija Zn u zrnu krušne pšenice (izvor: Cakmak i sur., 2010.)	7.
Slika 2.	Pšenična trava (<i>Triticum spp.</i>)	9.
Slika 3.	Sjeme u staklenim teglicama	12.
Slika 4.	Otkos, cijedenje soka te priprema praha pšenične trave	13.
Slika 5.	Kivete u mikrovalnoj pećnici	14.

12. POPIS GRAFIKONA

Tablica	Naziv tablice	Stranica
Grafikon 1.	Koncentracija željeza u soku pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija	15.
Grafikon 2.	Koncentracija željeza u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija	16.
Grafikon 3.	Koncentracija željeza u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortiu prahu biofortifikacije	17.
Grafikon 4.	Koncentracija mangana u soku pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija	18.
Grafikon 5.	Koncentracija mangana u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortifikacije	19.
Grafikon 6.	Koncentracija mangana u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija	19.
Grafikon 7.	Koncentracija cinka u soku pšenične trave sorte Divana i Ilirija	20.
Grafikon 8.	Koncentracija cinka u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija	21.
Grafikon 9.	Koncentracija cinka u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortifikacije	22.
Grafikon 10.	Koncentracija selena u soku pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija	23.
Grafikon 11.	Koncentracija selena u prahu pšenične trave pri različitim razinama biofortifikacije	24.
Grafikon 12.	Koncentracija selena u prahu pšenične trave sorte Divana i sorte Ilirija	25.
Grafikon 13.	Koncentracije ispitivanih elemenata u soku i prahu pšenične trave	26.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Diplomski rad

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo, smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

Utjecaj biofortifikacije cinkom i selenom na sadržaj mikroelemenata u soku i prahu pšenične
trave

Ivona Štangl

Sažetak:

Biofortifikacija je postupak kojim se ciljano želi povećati koncentracija pojedinih mikroelemenata. U radu je ispitan utjecaj biofortifikacije cinkom i selenom na koncentraciju željeza, mangana, cinka i selena u soku prahu pšenične trave na sortama Divana i Ilirija. Utvrđene se značajno više koncentracije svih ispitivanih elemenata u prahu u odnosu na sok pšenične trave. Ispitana je i starost klijanaca, odnosno kako broj dana nakon sjetve utječu na koncentraciju Fe, Mn, Zn i Se. Koncentracija Fe, Zn i Se u soku pšenične trave opadaju od 6. prema 10. danu nakon sjetve, dok koncentracija Mn raste.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: izv.prof.dr.sc. Andrijana Rebekić

Broj stranica: 37

Broj grafikona i slika: 18

Broj tablica: 5

Broj literaturnih navoda: 38

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: biofortifikacija, pšenična trava, pšenični sok, prah pšenične trave, mikroelementi, cink, selen

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Sonja Petrović, predsjednica
2. izv. prof. dr. sc. Andrijana Rebekić, mentorica
3. izv. prof. dr. sc. Miroslav Lisjak, član

Rad je pohranjen u: Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Graduate thesis

University Graduate Studies Plant production, course Plant breeding and seed production

Influence of biofortification with zinc and selenium on the content of microelements in wheatgrass juice and powder

Ivona Štangel

Abstract:

Biofortification is a procedure that aims to increase the concentration of individual microelements. This research is about the influence of biofortification with zinc and selenium on the concentration of iron, manganese, zinc and selenium in the juice and wheatgrass powder on the Divana and Ilirija wheatgrass varieties. Significantly higher concentrations of all tested elements were found in powder compared to wheatgrass juice. The age of the seedlings, i.e. the number of days after sowing, affects the concentration of Fe, Mn, Zn and Se. The concentration of Fe, Zn and Se in wheatgrass juice decreased from the 6th to the 10th day after sowing, while the concentration of Mn increased.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: izv.prof.dr.sc. Andrijana Rebekić

Number of pages: 37

Number of figures: 18

Number of tables: 5

Number of references: 38

Number of appendices: 0

Original in: Croatian

Key words: biofortification, wheatgrass, wheatgrass juice, wheatgrass powder, microelements, zinc, selenium

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. prof. dr. sc. Sonja Petrović, president
2. izv. prof. dr. sc. Andrijana Rebekić, supervisor
3. izv. prof. dr. sc. Miroslav Lisjak, member

Thesis deposited at: Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1