Agrofortifikacija pšenice cinkom

Jandrić, Marina

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:595142

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

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

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Marina Jandrić, apsolvent
Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

AGROFORTIFIKACIJA PŠENICE CINKOM

Diplomski rad

Osijek, 2014.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Marina Jandrić, apsolvent
Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

AGROFORTIFIKACIJA PŠENICE CINKOM

Diplomski rad

Osijek, 2014.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Marina Jandrić, apsolvent
Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

AGROFORTIFIKACIJA PŠENICE CINKOM

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

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

Osijek, 2014.

Sadržaj

1. Uvod

1.1. Cilj istraživanja

2. Pregled literature

3. Materijal i metode

3.1. Izbor proizvodne površine i sorte pšenice

3.2. Analize tla

3.2.1. pH reakcija tla

3.2.2. Sadržaj humusa u tlu

3.2.3. Koncentracija AL - pristupačnog fosfora i kalija

3.2.4. Određivanje sadržaja karbonata u tlu

3.2.5. Određivanje ukupnih teških metala u tlu

3.2.6. Određivanje raspoloživih (EDTA) teških metala u tlu

3.3. Vegetacijski pokus

3.3.1. Postavljanje i provedba pokusa tijekom vegetacije

3.3.2. Aplikacija cinka

3.3.3. Uzorkovanje pšenice i žetva

3.4. Određivanje komponenti prinosa i agronomskih svojstava pšenice

3.5. Priprema i analiza uzoraka zrna i vegetativnih dijelova pšenice

3.6. Statistička obrada podataka

4. Rezultati

4.1. Osnovna agrokemijska svojstva tla

4.1.1. Ukupna i raspoloživa koncentracija teških metala

4.2. Komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice

4.2.1. Sklop pšenice

4.2.2. Visina biljaka

4.2.3. Dužina klasa

4.2.4. Broj fertilinih i sterilnih klasića po klasu

4.2.5. Hektolitarska masa

4.2.6. Ukupan prirod nadzemne mase

4.2.7. Prinos zrna

4.2.8. Žetveni indeks

4.3. Koncentracija i iznošenje Zn

4.3.1. Koncentracija Zn u zrnu pšenice

4.3.2. Iznošenje Zn prinosom zrna pšenice

4.4. Koncentracija i iznošenje Cd

4.4.1. Koncentracija Cd u nadzemnim organima pšenice

4.4.2. Iznošenje Cd nadzemnim organima pšenice

5. Rasprava

5.1. Utjecaj agrokemijskih svojstava tla na razvoj pšenice i usvajanje Zn

5.2. Utjecaj sorte na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice

5.3. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Zn prinosom zrna

5.4. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Cd prinosom zrna

5.5. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice

5.6. Utjecaj tretmana na koncentracije i odnošenje Zn prinosom zrna

5.7. Utjecaj tretmana na koncentracije i iznošenje Cd prinosom zrna

6. Zaključak

7. Literatura

8. Sažetak

9. Summary

10. Popis tablica

11. Popis grafikona

12. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

13. BASIC DOCUMENTATION CARD

1. Uvod

„Elementi u tragovima" su grupa kemijskih elemenata koji su prisutni u većini tala, biljaka i živih organizama u vrlo niskim koncentracijama (100 mg kg^{-1} ili manje) (Phipps, 1981.). Metali neophodni za više biljke i sisavce su Fe, Mn, Zn, Cu i Mo, za biljke su još neophodni metal Ni, i polumetal B, a za životinjske organizme metal Co i nemetal Se. U elemente u tragovima ubrajamo i fiziološki nepotrebne i nekorisne toksične metale Cd, Pb, Cr i Hg, te polumetal As. Cu, Zn, Pb i Cd su elementi u tragovima koji nas ekološki najviše zanimaju zbog čestih kontaminacija tala, voda i prehrambenog lanca (He et al., 2005.). Elementi u tragovima skloni su akumuliranju u tlu, na taj način biljke ih mogu usvojiti i oni ulaze u hranidbeni lanac, predstavljajući ozbiljan rizik za zdravlje ljudi i životinja (McLaughlin i Singh, 1999;. Wilkinson i sur., 2003). Količine teških metala u tlu ovise o prirodnim i antropogenim procesima. Prirodni izvori teških metala u tlu su matične stijene, vulkanske erupcije, morski aerosoli i šumski požari (Reichman, 2002.).

U urbanim i poljoprivrednim područjima sadržaj teških metala u tlu je veći nego u samom matičnom supstratu zbog kontinuiranog antropogenog unosa teških metala u ekosustav (Lončarić i sur., 2012). Antropogeni procesi koji pridonose koncentraciji teških metala u tlu: poljoprivreda (mineralna i organska gnojiva, poboljšivači, pesticidi, navodnjavanje), proizvodnja energije i goriva (emisija iz električnih centrala), rudarstvo i metalurgija (eksploatacija, obrada i prijevoz ruda), transportni sustavi (sagorjevanje goriva, trošenje motora, kočnica i guma, korozija), urbano-industrijski kompleksi (obrada otpada i kanalizacijskog mulja), vojne aktivnosti (ratovi, poligoni, pokusi), industrija (elektronska, boje), recikliranje (topljenje i obrada sekundarnih otpadnih sirovina) (Lončarić i sur., 2012). Nriagu (1989.) je utvrdio vrlo visoke udjele pojedinih teških metala kao posljedicu aktivnosti ljudi na globalnoj razini u ukupnim atmosferskim depozicijama, a iznose čak 96% za Pb i 85% Cd, zatim 75% V, 66% Zn, 65% Ni, 61% As, 59% Hg, 56% Cu, 52% Mo, 42% Se i 41% Cr. Tijekom proteklih desetljeća godišnja je emisija teških metala na svjetskoj razini dosegla 1.350.000 t Zn, 939.000 t Cu, 783.000 t Pb i 22.000 t Cd (Padmavathiamma i Li, 2007.). Na svjetskoj je razini odnos emisija ova 4 elementa 61:43:36:1, dok je u Republici Hrvatskoj odnos emisije Zn i Cd vrlo sličan (69:1), ali je znatno niži udio Cu (18:1) i Pb (3:1) u odnosu na Cd (Državni zavod za statistiku RH, 2010.).

Značajan antropogeni doprinos akumulaciji teških metala u površinskim slojevima poljoprivrednih tala dolazi od poljoprivredne proizvodnje i to primjenom različitih agrotehničkih mjera kao što su gnojidba mineralnim gnojivima, gnojidba organskim gnojivima, kondicioniranje tala, aplikacija pesticida, navodnjavanje i fertigacija (Lončarić i sur., 2012). U svrhu postizanja stabilnih i željenih prinosa, povećala se upotreba različitih supstanci koje sadrže metale, a aplikacija esencijalnih mikroelemenata kao što su Cu, Zn , Fe, Mn, i B postala je uobičaj agrotehnički zahvat. Navedeni se elementi redovito dodaju uobičajenim formulacijama složenih gnojiva radi gnojidbe usjeva na pjeskovitim, karbonatnim i tresetnim tlima s nedostatkom mikroelemenata (He et al., 2005.). Sredstva za zaštitu bilja odnosno pesticidi, fungicidi i herbicidi također sadrže Cu, Zn, Fe, Mn, pa i As, a pojedini teški metali kao što su Cd i Pb unose se u tlo kao nečistoće prisutne u gnojivima. Fosfatna gnojiva tj. sirovi fosfati sadrže najviše teških metala u obliku nečistoća među mineralnim gnojivima. Najveća je koncentracija Cd u fosfatnim mineralima, iako i udio drugih teških metala može biti vrlo značajan (Lončarić i sur., 2012). Značajne koncentracije teških metala prisutne su i u organskim gnojivima i ostacima u poljoprivrednoj proizvodnji. Organska gnojiva kao stajska gnojiva i komposti sadrže veće koncentracije teških metala nego većina poljoprivrednih tala. Kontinuiranom upotrebom organskih gnojiva također dolazi do akumulacije teških metala čime se povećavaju njihove ukupne koncentracije u tlima. Pozitivan učinak organske gnojidbe je što se pored toksičnih, tlo obogaćuje i esencijalnim teškim metalima i povećava se njihova bioraspoloživost, posebice na laganim pjeskovitim i karbonatnim tlima. Negativna posljedica je povećanje koncentracije i raspoloživosti toksičnih teških metala kao Cd i Pb. Stoga je u većini zemalja propisana maksimalna koncentracija pojedinih teških metala u organskim gnojivima, ali se vrijednosti razlikuju između pojedinih zemalja (Lončarić i sur., 2012). Teški metali se mogu unijeti u tlo i karbokalkom te irigacijom sa kontaminiranom vodom.

Ukupne koncentracije teških metala u tlu ne predstavljaju količinu teških metala koje biljka može usvojiti. Biljci raspoložive koncentracije su puno manje. Raspoloživost teških metala u tlima ovisi prvenstveno o svojstvima tla i o pojedinom teškom metalu. Esencijalni elementi u tragovima su potrebni u svim biljnim organima za aktivnost brojnih enzima i proteina (Krämer i sur. 2007), a imaju slične uloge i u drugim organizmima.

Cink (Zn) je biogeni mikroelement za životinje i biljke. On je najvažniji mikroelement potreban u vrlo ranim fazama rasta biljke. Njegova uloga u biljkama je

višestruka: potreban je za širenje stanica, razvoj ugljikohidrata i proteina i proizvodnju hormona rasta korijena. Potarzycki i Grzebisz su utvrdili da cink ima veliki utjecaj na osnovne životne procese biljke, kao što su metabolizam dušika i fotosinteza, te da se u biljkama sa nedostatkom Zn drastično smanjuje sinteza proteina i količina bjelančevina. Najkarakterističnije reakcije biljaka pšenice na nedostatak cinka su smanjenje visine biljke i veličine lista. Ove simptome slijedi razvoj bjelkasto-smeđih nekrotičnih mrlja na srednjovječnom lišću (Cakmak i Braun, 1999). Nedostatak cinka može uzrokovati gubitke prinosa do 40% bez da usjevi pokazuju ikakve simptome. Fitotoksičnost cinkom se javlja samo pri relativno visokim koncentracijama. Simptomi nedostatka Zn javljaju se za većinu biljnih vrsta pri razinama nižim od 20-25 mg/kg, a toksičnost pri razinama od oko 400 mg/kg i više (Mengel i Kirkby, 1979).

Kako za biljke i životinje, cink je esencijalni mikroelement i za ljude. Iako prosječno odraslo ljudsko tijelo sadrži samo između 2-3 grama cinka, ovaj element ima neke vrlo važne funkcije. Cink je uključen u više od stotinu različitih kemijskih reakcija u tijelu. Neke od njih pomažu izgrađivanju našeg tijela i održavanju DNA. Cink je također potreban za rast i popravak tkiva u našem tijelu; koristi za formiranje vezivnog tkiva kao što su ligamenti i tetive; za rast zubi, kostiju, noktiju, kože i kose; doprinosi zdravom imunološkom sistemu; esencijalan je za stvaranje, otpuštanje i korištenje hormona u tijelu; pomaže pravilnom rastu fetusa u razvoju i našem mozgu da pravilno radi; osjetila vida, okusa i mirisa također ovise o ovom elementu. Ne uzimanje dovoljno cinka može imati ozbiljne posljedice na naše zdravlje. Neki od simptoma manjka cinka uključuju gubitak kose, mentalnu apatiju i oštećenje reproduktivnih organa. Drugi simptomi su smanjena stopa rasta i umanjen mentalni kapacitet; može dovesti do gubitka većine osjetila okusa i mirisa; do razvoja mentalnih poremećaja; te kod muškaraca može uzrokovati impotenciju. Mnogi faktori utječu na našu apsorpciju cinka iz hrane koju jedemo, a ponekad može biti teško dobiti dovoljno cinka, čak i iz dobro uravnotežene prehrane. Dobri izvori cinka uključuju kruh od cjelovitih žitarica, morske plodove i meso (Filipović, I. i Lipanović, S. ,1995.). Neophodnost Zn u prehrani i njegov nedostatak u ljudima je prepoznat 1963. (Prasad 2012). Manjak Zn u ljudima je peti glavni uzrok bolesti i smrti u zemljama u razvoju (WHO, 2002). Preporučeni dnevni unos za Zn se kreće od 3–16 mg po danu, ovisno o godinama, spolu, vrsti prehrane i drugim faktorima (Alloway 2009; Sharma et al. 2013).

Kadmij (Cd) je važan metal zbog industrijske upotrebe, ali i jedan od najopasnijih metala zbog svoje akumulacije u prirodi. Iako nije esencijalni mikroelement, Cd se vrlo lako usvaja biljnim korijenom i akumulira u biljkama u koncentracijama koje predstavljaju rizik u hranidbenom lancu. Cd je toksični metal zbog relativno visoke mobilnosti u sustavu tlo-biljka (Benavides i sur 2005;. Groppa i sur. 2012). Akumulacija Cd u biljnom tkivu može također biti toksična na staničnom nivou, ograničavajući rast i razvoj. Cd može izazvati ozbiljne poremećaje u fiziološkim procesima biljke, kao što je fotosinteza, vodni odnosi i usvajanje minerala (Lopez-Chuken i Young 2010;. Gill i sur 2012). U usporedbi s drugim teškim metalima, Cd je jedinstven po tome što dosegne koncentracije u usjevima na razinama koje su otrovne za ljude i životinje, ali nisu fitotoksične (McLaughlin i sur. 2000). Fitotoksičnost koja bi rezultirala smanjenjem prinosa nije uobičajena za kadmij (Wolt, 1994). Biološka uloga kadmija u živim organizmima nije poznata, a njegova akumulacija može dovesti do teških poremećaja. Kadmij je toksičan element koji u malim koncentracijama dolazi u ljudski organizam, no tijekom godina se akumulira i može uzrokovati zdravstvene probleme. Kadmij se učinkovito zadržava u bubrezima (vrijeme poluraspada 10-30 godina) i koncentracije su propocionalne onima u urinu (U-Cd). Kadmij je nefrotoksičan, prvenstveno uzrokujući oštećenje kanalića bubrega. Kadmij može također izazvati oštećenje kostiju, bilo putem direktnog utjecaja na tkivo kostiju ili indirektno kao rezultat bubrežne disfunkcije. Novija istraživanja pokazuju povećan rizik od raka i povećanu smrtnost među populacijom koja je okolišno izložena (Järup i Åkesson, 2009). TDI za prehrambeni unos kadmija je 0.5μg/kg tjelesne težine/danu (Baars i sur., 2001). Pšenica, krumpir, špinat i mrkva najviše pridonose ukupnom dnevnom unosu kadmija hranom. (de Winter-Sorkina i sur., 2003).

Više od 80% Cd iz hrane dolazi iz žitarica, povrća i krumpira (Ollson i sur, 2002). Prosječni unos Cd iz hrane uglavnom varira između 8 i 25 μg po danu (Berglund et al., 1994; Egan et al., 2007; Larsen et al., 2002; Llobet et al., 2003; MacIntosh et al.,1996; Olsson et al., 2002; Thomas et al., 1999; Ysart et al., 2000), ali može biti viši u Japanu (Nordberg et al., 2007). Durum pšenica sadrži puno veću koncentraciju Cd u zrnu od mekane pšenice kada se uzgaja na nekontaminiranom tlu (Wolnik i sur., 1983). Prosječna koncentracija Cd u 30 linija durum pšenice bila je 0.228 mg kg^{-1} svježe tvari. Srednja koncentracija u zrnu je u rasponu 0,11 - 0,34 mg Cd kg^{-1} ST; sve vrijednosti su veće od Njemačkog Richtwerta (0,1 mg Cd kg^{-1} ST) (Li i sur., 1996). Komisija Codex Alimentarius (2001) predložila je maksimalnu količinu od 0.2 mg Cd kg^{-1} u zrnu pšenice i riže.

Postoje mogućnosti, ali i ograničenja, za povećanje sadržaja i bioraspoloživosti Fe, Zn i Cu u jestivim dijelovima sortiranog usjeva, kao što su žitarice, zrna mahunarki, korjenasto povrće i gomolji (Frossard i sur. 2000). Teoretski, ovo je moguće ostvariti povećavanjem ukupnog sadržaja ovih metala u ishrani bilja, zajedno sa povećavanjem koncentracije komponenti koje poboljšavaju njihovo usvajanje u prehranu (House 1999) i/ili smanjenje koncentracije komponenti koje inhibiraju njihovu apsorpciju u ljudskom probavnom sistemu. Drugim riječima, biofortifikacija mikrohranivima u sistemu tlo-biljka se može definirati kao povećanje koncentracije i biodostupnosti mikrohraniva u jestivom dijelu usjeva, kroz biotehnologiju i ishranu tlo-biljka sistema, sa ciljem poboljšanja ljudske ishrane i zdravlja (Yang i sur. 2007). Također, količina Zn u tlu i biljkama igra važnu ulogu u akumulaciji kadmija u poljoprivrednim kulturama. Oliver i sur., (1994) je dokazao da dodavanje Zn pšenici uzgajanoj na tlima graničnog ili ozbiljnog pomanjkanja Zn u južnoj Australiji smanjuje koncentraciju Cd u zrnu do 50%. Općenito, dodavanje Zn smanjuje usvajanje Cd i akumulaciju u biljkama (Honma i hirata, 1978; McLaughlin i sur., 1994; Oliver i sur., 1997).

1.1. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi:

1. mogućnost agrofortifikacijskog povećanja koncentracije Zn u zrnu različitih sorata pšenice
2. učinkovitost folijarne aplikacije različitih oblika Zn
3. povećanje unosa Zn i smanjenje unosa Cd u prehrambeni lanac folijarnom aplikacijom anorganskog i organskog oblika Zn.

Osnovne su hipoteze ovoga rada:

1. folijarnom aplikacijom Zn povećava se koncentracija Zn i smanjuje koncentracija Cd u zrnu pšenice
2. oblik apliciranog Zn značajno utječe na koncentraciju Zn i Cd u zrnu pšenice
3. sorte pšenice značajno se razlikuju po učinkovitosti akumulacije apliciranog Zn i po akumulaciji Cd u zrnu.

2. Pregled literature

Udio cinka u Zemljinoj kori je malen, oko 100 μg g^{-1} (0,01%). Međutim, u usporedbi s ostalim teškim metalima, možemo reći da je cink u litosferi osrednje zastupljen, nekoliko stotina puta manje od željeza, ali i stotinu puta više od bakra. Glavne rude cinka su *sfalerit ZnS i smitsonit* $ZnCO_3$. Cink pripada skupini elemenata u tragovima koji su potencijalno najopasniji za biosferu. Glavni izvori onečišćenja su industrija i korištenje tekućeg gnojiva, kompostiranog materijala i agrokemikalija kao što su gnojiva i pesticidi u poljoprivredi. Aerodepozicija je vrlo važan izvor obogaćivanja tla cinkom. Prema (Wilson et al., 2008.) izvori zagađenja Zn su: komunalni mulj, talionički otpad, peradski i svinjski stajski gnoj. Nedostaci cinka i željeza su najrašireniji nedostaci mikronutrijenata u svijetu. Gotovo 50% tala obrađivanih za proizvodnju žitarica na globalnoj razini imaju nisku razinu biljci dostupnog Zn (Cakmak, 2009).

Udio kadmija u Zemljinoj kori je vrlo malen, prosječno oko 0,1 μg g^{-1} (0,00001%). Kadmij je redoviti pratitelj cinkovih ruda, pa se gotovo uvijek nalazi uz *sfalerit* (*ZnS*) u obliku kadmij(II)-sulfida (*CdS*). Prema (Wilson et all., 2008.) izvori zagađenja Cd su: atmosferska depozicija, industrijski i komunalni otpad, fosfatna gnojiva, kanalizacijski mulj, rude i taljenje Zn.

Prema podacima Sposita iz 1998. kemijski sastav Zemljine kore i tla sadrži 65 $mgkg^{-1}$ Zn u Zemljinoj kori i 48 $mgkg^{-1}$ Zn u tlu, te 0.10 $mgkg^{-1}$ Cd u Zemljinoj kori i 0.20 $mgkg^{-1}$ Cd u tlu. U oraničnom sloju tla, dubine 30 cm, relativne gustoće 1,5 kg dm^{-3}, ukupna masa tla na površini jednog hektra je 4,5 milijuna kilograma ($4,5 \times 10^6$ kg ha^{-1}). Budući je koncentracija Zn 48 mg kg^{-1}, znači da je u oraničnom sloju takvog tla 216 kg Zn ha^{-1}. Na isti način je izračunato da oranični sloj sadrži 0,9 kg Cd ha^{-1}. Prirodni sadržaj kadmija u tlima ne prelazi vrijednost od 1 mg/kg tla (de Haan i Zwerman, 1978). Preliminarni rezultati francuskog ASPITET programa pokazali su da prirodne razine Cd u poljoprivrednim tlima mogu znatno varirati (0.02 - 6.9 mg Cd kg^{-1}) ovisno o matičnom materijalu i pedogenetskim procesima (Baize, 1997). Ukupna količina Zn u tlu varira od 10 do 300 mg kg^{-1} (Sillanpää, 1972.), a Cd u nezagađenim tlima od 0,01 do 2 mg kg^{-1} (Adriano, 2001.).

Najveći dio tvari koje se smatraju onečišćivačima prirodni su sastojci tla i podzemnih voda, premda često samo u tragovima. Određivanje ukupnog sadržaja teških metala u tlu osnovni je pokazatelj za određivanje stupnja onečišćenosti, premda dugoročne procjene rizika i izravni učinci onečišćenja počivaju na njihovoj biopristupačnosti i/ili mobilnosti (Salomons, 1995).

Raspoložive koncentracije teških metala u tlima značajno su niže od ukupnih koncentracija, ali to ovisi prvenstveno o svojstvima tala i o pojedinom teškom metalu. Utvrđivanje bioraspoloživosti teškog metala u tlu za pojedinu biljnu vrstu značajno ovisi o izboru ekstrakcijske otopine, tj. analitičke metode koja treba simulirati raspoloživost frakcija pojedinog elementa biljci.

Akumulacija teških metala može imati različite utjecaje na poljoprivredna tla, ili direktno ugrožavajući prirodnu funkciju tla, ili indirektno ugrožavajući biosferu bio-akumulacijom i uključivanjem u hranidbeni lanac. Problem toksičnosti teških metala je pogoršan činjenicom da ih naizgled zdrave biljke mogu akumulirati u koncentracijama koje mogu ugroziti ljudsko zdravlje ako se progutaju (Harris i sur., 1996). Metali se akumuliraju u tlu i tkivima živih organizama zato što za razliku od većine organskih spojeva oni ne podliježu metaboličkom raspadanju. Njihova akumulacija ne mora nužno biti toksična jer određeni metali formiraju vrlo stabilne spojeve ili su neaktivni na drugačiji način. (Romić i Romić, 2002.)

Romić i Romić, 2002 su ispitivali tla šire Zagrebačke regije na sadržaj teških metala i dobili prosječne rezultate za Cd 0.66 mg/kg (0.25 – 3.85) i Zn 77.9 (15.2-277).

Prema različitim istraživanjima provedenim u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske (Romić i Romić, 2003, Lončarić, 2011.), prosječne ukupne koncentracije Zn i Cd su: Zn 75-90 mg kg^{-1}, Cd 0,2-0,5 mg kg^{-1}. U svega 11,5 % analiziranih tala utvrđena je koncentracija teških metala iznad MDK. Većina tih uzoraka se odnose na šire urbano područje grada Zagreba gdje je u 20% uzoraka utvrđena koncentracija Cd iznad 1 mg kg^{-1}, što je niže od dozvoljene vrijednosti propisane od strane Hrvatske vlade, te u 3 uzorka koncentracija Zn iznad 200 mg kg^{-1} (Romić i Romić, 2003.). Najviša koncentracija od 3.85 $mgkg^{-1}$ je utvrđena na lokaciji u blizini zračne luke. Praćenjem kakvoće zraka na imisijskoj

stanici pored gradskog smetlišta u razdoblju od 1998 do 2001 utvrđene koncentracije Cd u ukupnoj nataloženoj materiji su 0.15 – 7.55 μg m^{-2} po danu (Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada 2002). U dijelu najmlađe riječne terase koja je donedavno bila poplavljena, koncentracije Cd se kreću u rasponu 1.24-2.39 mg kg^{-1}. Jedan od glavnih izvora emisije Cd u okoliš su bili donedavno vrlo aktivni rudnici u područjima uz rijeku Savu uzvodno od Zagreba. Prosječna koncentracija cinka u površinskom sloju poljoprivrednog tla doline Save iznosi 77,9 mg kg^{-1}, u rasponu od 15 do 277 mg kg^{-1}. Postoje jasno označene lokacije više koncentracije Cd u fluvisolu uzduž rijeke Save, u blizini zračne luke i glavne industrijske četvrti (Romić i Romić, 2003.). Značajan utjecaj autoputa, prometa, te urbanih i industrijskih aktivnosti potvrđuju Kadar i Koncz (1993.) s prikazom pada koncentracije teških metala 2-3 puta (Cu i Cd) do čak 27-30 puta (Zn i Pb) uz autoput i na 100 m udaljenosti od autoputa. Također, autori navode da je u ruralnom području koncentracija raspoloživog Cd 5 puta niža nego u industrijskom području. Slično je i s istraživanjima u Republici Hrvatskoj jer na oranicama i šumskim tlima nisu utvrđene povećane koncentracije teških metala, već se pored zagrebačkog područja, jedini uzorak s povećanom koncentracijom Zn (190 mg kg^{-1}) iznad MDK nalazi u vrtnom tlu prigradskog osječkog naselja (Višnjevac) vrlo blizu frekventne prometnice. Na istom su lokalitetu utvrđene i najviše koncentracije Cd (0,96 mg kg^{-1}, dozvoljeno do 1,00) u osječkom urbanom području (Lončarić, 2012.).

U analiziranim tlima istočne Hrvatske najviša ukupna koncentracija Cd je na 84,7%, odnosno 67,7% MDK u ekološkoj i konvencionalnoj poljoprivredi. Koncentracija Zn je na istoj razini (81,6% MDK) za obje vrste poljoprivrede. Važno je i da je razina ukupnog Cd u više od 70% analiziranih tala bio ispod 25% MDK. Ukupne koncentracije cinka bile su u rasponu od 25-75% MDK u svim tlima. (Lončarić i sur., 2012.). U urbanim vrtovima autori su zabilježili značajno veći udio EDTA ekstrahiranog Zn u ukupnoj koncentraciji Zn (3-8 puta) i Cd (2-5 puta) u usporedbi s oranicama.

Poznato je da pH tla ima značajnu ulogu u dostupnosti teških metala koja se smanjuje sa porastom pH tla. Nedostaci Zn i Fe, uzrokovani visokom pH vrijednosti u alkalnim tlima, su također primijećeni u istočnim dijelovima Hrvatske (Jug et al., 2008). Ovo istraživanje u Hrvatskoj je pokazalo da se od zapada prema istoku, sa povećanjem vrijednosti pH tla, smanjuje sadržaj mikroelemenata u tlu (uglavnom Zn i Fe nedostaci).

Prema Pravilniku o ekološkoj proizvodnji u uzgoju bilja i u proizvodnji biljnih proizvoda u RH granične vrijednosti sadržaja štetnih tvari ekstrahiranih u zlatotopki, u tlu i organskim gnojivima koja se mogu rabiti za ekološku proizvodnju jesu: kadmij 0.8 mg/kg zrakosuhog tla, cink 150 mg/kg zrakosuhog tla

Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja u RH poljoprivredno zemljište smatra se onečišćenim kada sadrži više teških metala i potencijalno onečišćujućih elemenata od maksimalno dopuštenih količina (MDK), izraženo u mg kg^{-1}: Cd : pjeskovito tlo 0.0 – 0.5, praškasto-ilovasto tlo 0.5 – 1.0, glinasto tlo 1.0 – 2.0;
Zn: pjeskovito tlo 0 – 60, praškasto-ilovasto tlo 60-150; glinasto tlo 150-200

Od "zelene revolucije" , intenzivna poljoprivreda , kultiviranje visokoprinosnih genotipova, poboljšana poljoprivredna mehanizacija, proizvodnja makronutrijentnih gnojiva sa malo nečistoća kao što su elementi u tragovima, i uporaba modernog sustava navodnjavanja su rezultirali sa višom proizvodnjom usjeva po jedinici proizvodnog područja i osiromašenjem biljci dostupnih mikronutrijenata u tlu (Nube i Voortman 2006; Khoshgoftarmanesh i sur. 2010; Zhao i Shewry 2011).

Biljke su glavni izvor hrane kako za ljude tako i za životinje, tako da sadržaj metalnih elemenata u tragovima u jestivim dijelovima biljke predstavlja pristupačnu količinu tih metala koji može ući u prehrambeni lanac kroz biljke (Teklić i sur., 2013.). Ti elementi se nalaze u tlu kao posljedica trošenja matičnih stijena ili mogu biti uvedeni u okoliš mnogim ljudskim aktivnostima, kao što su rudarstvo, uporaba umjetnih gnojiva, pesticida na bazi metala, te širok raspon industrijske aktivnosti, koji otpuštaju metale u okoliš (Zawoznik i sur. 2007). Poznato je da su esencijalni elementi u tragovima potrebni u svim biljnim organima za aktivnost brojnih enzima i proteina (Krämer i sur. 2007), a imaju slične uloge i u drugim organizmima. Metali također mogu izazvati niz promjena koje mogu dovesti do fitotoksičnosti (Gratão i sur. 2009; Kopittke i sur. 2010; Luks i sur. 2011).

Elementi u tragovima utječu na biljke, životinje i ljudski razvoj i reprodukciju, u dvojakom smislu. U tlu, nedostatak esencijalnih elemenata u tragovima ne samo da smanjuje produktivnost uroda, već niske koncentracije tih elemenata u biljkama koje služe

kao hrana za životinje i ljude također negativno utječu na zdravlje i dobrobit životinja i ljudi (Marschner, 1995; Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007). S druge strane, akumulacija otrovnih mikroelemenata u tlu i biljkama može uzrokovati smanjenje prinosa uzgajanih biljaka kao i metaboličke poremećaje u životinja i ljudi (Adriano, 2001).

Cink je najvažniji mikroelement potreban za usjev u vrlo ranim fazama rasta. Potreban je za širenje stanica, razvoj ugljikohidrata i proteina, kao i proizvodnju hormona rasta korijena. Nedostatak cinka može uzrokovati gubitke prinosa do 40% bez da usjevi pokazuju ikakve simptome. Cink se može primijeniti u obliku oblaganja sjemena, u tlo ili kao folijarni sprej. Cink je biogeni mikroelement za životinje i biljke, a njegova se fitotoksičnost javlja samo pri relativno visokim koncentracijama. Simptomi deficijencije javljaju se za većinu biljnih vrsta pri razinama nižim od 20-25 mg/kg, a toksičnost pri razinama od oko 400 mg/kg i više (Mengel i Kirkby, 1979). Najkarakterističnije reakcije biljaka pšenice na nedostatak cinka su smanjenje visine biljke i veličine lista. Ove simptome slijedi razvoj bjelkasto-smeđih nekrotičnih mrlja na srednjovječnom lišću. U većini slučajeva, koncentracija cinka u takvom lišću je ispod 10-12 ppm. U pšenici, unatoč prisutnosti nekih genotipskih varijacija, kritične koncentracije cinka u lišću ili cijeloj mladici u fazi vegetativnog rasta su uglavnom oko 15-17 ppm. Na lokacijama sa manjkom cinka, utvrđena je koncentracija cinka u zrnu pšenice ispod 15-20 ppm. (Cakmak i Braun, 1999).

Kadmij (Cd) je važan metal zbog industrijske upotrebe, ali i jedan od najopasnijih metala zbog svoje akumulacije u prirodi. Iako nije esencijalni mikronutrijent, Cd se vrlo lako usvaja biljnim korijenom i akumulira u biljkama u koncentracijama koje predstavljaju rizik u hranidbenom lancu. Cd je toksični metal zbog relativno visoke mobilnosti u sustavu tlo-biljka (Benavides i sur 2005;. Groppa i sur. 2012). Akumulacija Cd u biljnom tkivu može također biti toksična na staničnom nivou, ograničavajući rast i razvoj. Cd može izazvati ozbiljne poremećaje u fiziološkim procesima biljke, kao što je fotosinteza, vodni odnosi i usvajanje minerala (Lopez-Chuken i Young 2010;. Gill i sur 2012). U usporedbi s drugim teškim metalima, Cd je jedinstven po tome što dosegne koncentracije u usjevima (koje su namjenjene ljudima i životinjama) na razinama koje su otrovne za ljude i životinje, ali nisu fitotoksične (McLaughlin i sur. 2000). Fitotoksičnost koja bi rezultirala smanjenjem prinosa neuobičajena je za kadmij. Biološka uloga kadmija u živim organizmima nije poznata, a njegova akumulacija može dovesti do teških poremećaja.

Veliki dio kadmija koji dospijeva u čovjeka putem hrane dolazi iz pšenice. Prema Jorhem i Sundström (1993), pšenično brašno i krumpiri najviše pridonose prosječnom dnevnom unosu Cd u Švedskoj. Hellstrand i Landner (1998) su izračunali da 43% ukupnog ljudskog unosa Cd putem hrane u Švedskoj je uzrokovano konzumacijom pšeničnog brašna. Preraspodjela kadmija unutar izdanaka žitarica je od velike važnosti za akumulaciju ovog teškog metala u zrno. Kadmij može ući u biljku žitarice kroz korijen (na zagađenom tlu) ili preko površine (nakon suhe ili mokre depozicije iz atmosfere) (Herren i Feller, 1997). Visok sadržaj Cd u zrnu pšenice može biti uzrokovan visokim usvajanjem Cd u korijenju, visokom translokacijom Cd od korijenja do izdanka, i/ili visokom translokacijom Cd unutar izdanka do zrna (Stefanović i sur., 2008.). Većina biljaka zadrži više od 50% apsorbiranog kadmija u korijenju (Jarvis, Jones i Hopper, 1976; Obata i Umebayashi, 1993). Istraživanja diljem zemalja zapadne Europe rezultirala su vrijednostima u rasponu od 0.054 do 0,076 mg Cd kg $^{-1}$ u cijelom zrnu pšenice (Kumpulainen i Tahvonen, 1990).

Kvaliteta pšenice ovisi o genotipu, poljoprivrednim i okolišnim uvjetima kao i o interakciji genotipa i okoline. Distribucija u biljne organe može jako varirati među vrstama, čak i među varijetetima iste vrste (Cieslinski i sur., 1996; Wenzel i sur., 1996). Usvajanje Cd korijenom iz tla ovisi o koncentraciji Cd u tlu, o pH vrijednosti tla, o količini organske tvari i cinka u tlu (Eriksson i sur., 1996; Eriksson i Söderström, 1996). Ovi čimbenici tla većinom reguliraju količinu Cd u tlu dostupnu biljkama, biljka sama regulira usvajanje. Usvajanje Cd kao i translokacija Cd od korijena do izdanka varira među kultivarima pšenice (Oliver et al., 1995; Wenzel et al., 1996; Li et al., 1997). Stefanović i sur., 2008. su u svom istraživanju otkrili da su najveće razlike među kultivarima otkrivene kod durum pšenice. Razlike koje su pronađene u akumulaciji Cd u zrno su bile uzrokovane varijacijom u translokaciji Cd od korijena do izdanka i unutar izdanka, prije nego usvajanjem Cd u korijenje. Archambault i sur., 2000 su razvili biotest na sadnicama koji je sposoban za identifikaciju nisko Cd-akumulirajućih fenotipa nakon 96-120 sati izloženosti. U pokusima, razina kadmija u zrnu u nisko Cd-akumulirajućim linijama je bila u prosjeku 60% niža od razine u visoko Cd-akumulirajućim linijama (Clarke i sur., 1997).

Usvajanje kadmija od pšenice je smanjeno nakon dodavanja cinka tlu (Oberländer, Piatti-Fünfkirchen i Roth, 1989). Nadalje, pokazalo se da dodavanje cinka u tlo smanjuje razinu kadmija u zrnu pšenice. Primjena niskih stopa Zn (do 5 kg ha^{-1}) smanjuje

koncentracije Cd u zrnu pšenice u područjima graničnog do teškog nedostatka Zn (Oliver et al., 1994).

Pothranjenost mikrohranivima pogađa preko 3 milijarde ljudske populacije (Welch 2003; Sramkov a et al. 2009; Nagy et al. 2012). U zemljama u razvoju, veliki postotak populacije nema pristup mesu u svojoj prehrani; dnevni unos hrane je baziran uglavnom na žitaricama i ne zadovoljava ljudske potrebe za mikrohranivima i vitaminima, kao ni biokemijsku raznolikost hrane koja je potrebna za zdrav život (Mayer i sur. 2008). Glavni razlog pothranjenosti se očituje i u sklonosti za visoko procesuiranom hranom kao dijelom tzv zapadne prehrane. (Meyer i Elmadfa 2012). Autori ističu da su ove energetski visoke ali mikrohranivima siromašne namirnice glavni izvor masti i šećera, koji potiču debljanje bez opskrbljivanja potrebnih količina esencijalnih minerala.

Neophodnost Zn u prehrani i njegov nedostatak u ljudima je prepoznat 1963. (Prasad 2012). Tijekom proteklih 50 godina, postalo je očito da nedostatak cinka kod ljudi prevladava i da gotovo 40% svjetske populacije boluje od manjka Zn. (Teklić i sur., 2013.) Manjak Zn u ljudima je peti glavni uzrok bolesti i smrti u zemljama u razvoju (WHO, 2002.) Preporučeni dnevni unos za Zn se kreće od 3–16 mg po danu, ovisno o godinama, spolu, vrsti prehrane i drugim faktorima (Alloway 2009; Sharma et al. 2013). Dnevni unos Zn konzumiranjem pšeničnih proizvoda prosječno je 6.2 mg/osobi. Mljevenje snižava sadržaj cinka za 73-84%, sa manjim gubicima u manje prerađenim proizvodima (Brűggemann i Kumpulainen, 1995). Stoga, realnija procjena unosa cinka pšeničnim proizvodima bila bi 1.0 – 1.7 mg/dnevno. Međutim, preporučena prehrambena količina (RDA) Zn za odrasle prema Američka Agencija za hranu i nutricionizam odbor Nacionalne Akademija znanosti / Nacionalnog istraživačkog vijeća, mnogo je veća, a nalazi se u rasponu od 8-15 mg Zn / dan. Gore izračunate vrijednosti za Zn predstavljaju najviše 11% preporučene prehrambene naknade za Zn, za odraslu populaciju i podudaraju se s onima dobivenim u Italiji (Conti i sur., 2000).

Trenutni prehrambeni unos Cd (10-15 μg dnevno) je ispod trenutnog FAO / WHO dopuštenog tjednog unosa (70μg dnevno) i ne predstavlja zdravstveni rizik (Kowal et al, 1979.; Adams, 1991). Međutim, pod određenim uvjetima gdje pojedinci troše samo hranu uzgojenu na Cd kontaminiranim tlima, Cd se može akumulirati u čovjekovoj bubrežnoj kori i uzrokovati disfunkciju bubrežnih kanalića (Nogawa et al, 1987;. Strehlow i Barltrop,

1988; McKenna i Chaney, 1991; Međunarodni program i kemijske sigurnosti, 1992).
TDI za prehrambeni unos kadmija je 0.5μg/kg bw/danu (Baars i sur., 2001).

Durum pšenica sadrži puno veću koncentraciju Cd u zrnu od meke pšenice kada se uzgaja na nekontaminiranom tlu (Wolnik i sur., 1983). Prosječna koncentracija Cd u 30 linija durum pšenice bila je 0.228 mg kg^{-1} svježe tvari. Srednja koncentracija Cd u zrnu je u rasponu 0,11 - 0,34 mg Cd kg^{-1} svježe tvari; sve vrijednosti su veće od Njemačkog Richtwerta (0,1 mg Cd kg^{-1} svježe tvari) (Li i sur., 1996). Komisija Codex Alimentarius (2001) predložila je maksimalnu količinu od 0.2mg kg^{-1} za Cd u zrnu pšenice i riže.

Prehrana je glavni izvor okolišnog izlaganja kadmiju u ne-pušača u većem dijelu svijeta. Atmosferska depozicija zračnog kadmija, rudarske aktivnosti i aplikacija gnojiva koja sadrže kadmij i kanalizacijskog mulja na poljoprivrednim površinama može dovesti do zagađenja tla i povećati usvajanje kadmija u usjevima i povrću koji se uzgajaju za ljudsku ishranu. Visoke koncentracije kadmija su prisutne u mekušcima i školjkašima, glavonošcima i rakovima. Velike količine su također pronađene u klaoničkim proizvodima, kao što su jetra i bubrezi, pogotovo od starijih životinja, u uljaricama, kakaovcu i određenim šumskim gljivama. Hrana iz biljaka obično sadrži veću koncentraciju kadmija od mesa, jaja, mlijeka i mliječnih proizvoda i ribe. Među biljnom hranom, žitarice, zeleno lisnato povrće, krumpir i korijenasto povrće sadrže veće koncentracije nego druga biljna hrana (Järup i Åkesson, 2009).

Na temelju procjene unosa kadmija, više od 80% kadmija iz hrane dolazi iz žitarica, povrća i krumpira (Ollson i sur, 2002). Prosječni unos kadmija iz hrane uglavnom varira između 8 i 25 μg po danu (Berglund et al., 1994; Egan et al., 2007; Larsen et al., 2002; Llobet et al., 2003; MacIntosh et al.,1996; Olsson et al., 2002; Thomas et al., 1999; Ysart et al., 2000), ali može biti viši u Japanu (Nordberg et al., 2007).

Budući da je glavni put izloženosti kadmija putem hrane, stručno povjerenstvo o Hranidbenim aditivima i zagađivačima Joint FAO/WHO Expert Commitee on Food Additive (JEFCA) je odredila privremeno dopuštene količine tjednog unosa (PTWI) za kadmij na 7 μg / kg tjelesne težine što je 429μg za odraslu osobu (osoba od 60kg).
EFSA (European Food Safety Authority) proveli su meta-analizu velikog broja studija gledajući na odnos između mokraćne razine kadmija i cjevaste proteinurije (prema procjeni

izlučivanja beta-2-mikroglobulina) i utvrdili podnošljiv tjedni unos (TWI) od 2,5 μg / kg (odnosno znatno niža od JECFA PTWI) primjenom rezultata ove analize na modelu prevođenja razine mokraćnog kadmija u hranidbenu izloženost (EFSA, 2009).

Chaundri i sur. (1995) izvjestili su smanjenje od 31% za sadržaj Cd u bijelom brašnu u odnosu na integralno brašno kao posljedica procesa mljevenja, dok se sadržaj u mekinjama udvostručio. Stoga, razumljivo je pretpostaviti da je u bijelom brašnu koje se većinom koristi za pravljenje kruha, sadržaj Cd niži nego u zrnu iz kojeg brašno potječe. Stoga, ako uzmemo u obzir smanjenje sadržaja Cd za 2-31%, tjedni unos Cd mogao bi biti između 9 i 12% od PTWI. Sličan raspon unosa putem pšeničnih proizvoda dobili su i u Italiji (Conti i sur., 2000).

Manjak mikrohraniva u mnogim žitaricama dovodi do ljudske pothranjenosti (Williams i Salt 2009). Nedostatak cinka je sve veći javno zdravstveni i socioekonomski problem, posebice u zemljama u razvoju (Welch i Graham, 2004). Nedavna izvješća pokazuju da gotovo 500.000 djece mlađe od 5 godina godišnje umre zbog nedostatka Zn i Fe (Black i sur. 2008). U zemljama s velikom učestalošću nedostatka mikrohraniva, hrana na bazi žitarica predstavlja najveći udio u svakodnevnoj prehrani (Cakmak 2008). Žitarice same po sebi sadrže vrlo male koncentracije Zn u zrnu, te njihov uzgoj na potencijalno Zn-manjkavom tlu dodatno smanjuje koncentracije Zn u zrnu (Cakmak i sur. 2010). Dakle, biofortifikacija žitarica sa Zn je globalni problem visokog prioriteta (Kutman i sur. 2011; Cakmak i sur. 2010; Brinch-Pedersen i sur. 2007; Shi i sur. 2010), tako da postoji hitna potreba da se poveća gustoća i bioraspoloživost Zn u jestivim dijelovima žitarica (Husted et al. 2011). Biofortifikacija mikrohranivima u sistemu tlo-biljka se može definirati kao povećanje koncentracije i biodostupnosti mikrohraniva u jestivom dijelu usjeva, kroz biotehnologiju i ishranu tlo-biljka sistema, sa ciljem poboljšanja ljudske ishrane i zdravlja (Yang i sur. 2007).

M.S. Zeidan i sur. 2010, su u svojim istraživanjima učinka folijarne primjene mikrohraniva na prinos i kvalitetu pšenice pokazali da je primjenom Fe, Mn i Zn znatno povećan prinos zrna i komponente prinosa pšenice u usporedbi s kontrolom. Takvi učinci folijarne aplikacije s mikronutrijentima (Zn, Mn i Fe) bi mogli biti zbog njihove ključne uloge u rastu usjeva, uključenost u procese fotosinteze, disanju i drugim biokemijskim i fiziološkim aktivnostima i otuda njihova važnost u postizanju većih prinosa. Folijarna

aplikacija Zn nadmašila je ostale tretmane. Najveći prinosi zrna i slame (kg / fed) dobiveni su kada je pšenica bila tretirana sa Zn. Dodavanje Zn je znatno povećalo sadržaj proteina i koncentraciju Zn u zrnu, dok je istovremeno smanjena koncentracija P u zrnu.

Terenski pokusi u srednjoj Anatoliji, gdje je nedostatak Zn raširen, pokazali su da dodavanje $ZnSO_4$ u tlo ili folijarno, značajno povećava koncentraciju Zn u zrnu pšenice. (Cakmak, 2010). Najveće povećanje koncentracije Zn u zrnu su pronađene u slučaju kombinirane primjene u tlo i folijarne primjene Zn gnojiva koja je uzrokovala povećanje Zn u zrnu za više od 3 puta. Pod određenim uvjetima, Zn gnojiva su također vrlo učinkovita u povećanju prinosa zrna pšenice. Za razliku od Zn-manjkavih mjesta, aplikacija $ZnSO_4$ u tlo koje ima zadovoljavajuću količinu Zn, imala je ili vrlo male ili nikakve utjecaje na Zn zrna (Cakmak, 2010)

Opće je prihvaćeno da količina Zn u tlu i biljkama igra važnu ulogu u akumulaciji kadmija u poljoprivrednim kulturama. Oliver i sur., (1994) je pokazao da dodavanje Zn pšenici uzgajanoj na tlima graničnog ili ozbiljnog pomanjkanja Zn u južnoj Australiji smanjuje koncentraciju Cd u zrnu do 50%. Druge studije su pokazale da dodavanje cinka može smanjiti akumulaciju Cd u sjemenkama lana (Grant i Bailey, 1997) i u zrnu durum pšenice (Choudhary i sur., 1994). Međutim, druge studije su pokazale da nije bilo interakcije niti sinergizma između Zn i Cd (Williams i David 1976; White i Chaney, 1980). Predloženo je da jedna od opcija smanjenja akumulacije Cd u zrnu pšenice bude učinkovito poboljšanje biljne prehrane cinkom kroz tlo ili folijarnom aplikacijom (Clarke i sur., 1997; Grant i sur., 1998; Cakmak i sur., 2000).

S obzirom da je nedostatak Zn u biljkama, osobito pšenici raširena pojava, od velike je važnosti uzgajati genotipove krušne pšenice s visokom raspoloživosti Zn (Cakmak i Braun 2001). Postoji dovoljno genetske varijabilnosti da bi se mogle razvijati sorte pšenice s povećanom razinom Zn u zrnu (Welch i sur 2005;. Ortiz-Monasterio i sur. 2007). Erenoglu i sur (2011) predlažu da se posebna pozornost u biofortifikaciji usjeva cinkom mora posvetiti dušiku, zbog njegove ključne uloge u usvajanju i akumulaciji Zn u biljkama. Većina Zn u zrnu potiče iz remobiliziranog Zn iz vegetativnih tkiva u poljskim uvjetima, pri čemu optimalna ishrana dušikom pšeničnog usjeva može poboljšati akumulaciju Zn u izdanku i osigurati remobilizaciju Zn (Xue i sur. 2012). Autori pretpostavljaju da dovoljna ishrana dušikom tijekom perioda vegetativnog rasta u

kombinaciji sa folijarnom gnojidbom cinkom može povećati akumulaciju Zn u zrnu, zbog mogućeg visokog upijanja Zn tijekom nalijevanja zrna.

Rengel i sur. (1999) smatraju aplikaciju $ZnSO_4$ u tlo kao jeftinu i učinkovitu metodu povećanja prinosa i koncentracije Zn u zrnu. Rezultati istraživanja Wang i sur. (2008) pokazuju da gnojidba mikrohranivima može imati pozitivne učinke na prinos pšenice i kvalitetu zrna. Folijarna gnojidba cinkom u ranoj fazi nalijevanja zrna povećava koncentraciju Zn u zrnu i biodostupnost u pšenici uzgajanoj na potencijalno Zn-manjkavom alkalnom tlu, po izvješću Yang i sur (2011).

3. Materijal i metode

3.1. Izbor proizvodne površine i sorte pšenice

U svrhu istraživanja postavljen je poljski pokus agrofortifikacije pšenice cinkom, na karbonatnom tlu, južno od naselja Banovci koje se nalazi u Vukovarsko-srijemskoj županiji. 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

Na izabranim proizvodnim površinama su prikupljeni prosječni uzorci oraničnog sloja tla (0-30 cm). Uzorci tla su prikupljeni agrokemijskom sondom te osušeni, samljeveni, prosijani i pripremljeni za agrokemijske analize sukladno standardnom propisanom postupku (ISO, 1994a).

3.2.1. pH reakcija

Reakcija tla izražena kao pH vrijednost predstavlja negativan dekadski logaritam koncentracije H^+ iona u otopini tla ili vodi. pH vrijednost je indikator kiselosti ili bazičnosti tla i pokazatelj je niza agrokemijskih svojstava tla važnih za ishranu bilja. pH vrijednost utječe na biološka, kemijska i fizikalna svojstva tla i određen je mineralnim i organskim dijelom tla. pH vrijednost uzoraka određivana je elektrometrijskim mjerenjem pH-metrom. Aktualna kiselost određena je u suspenziji tla s destiliranom vodom, a supstitucijska ili izmjenjiva kiselost u 1M KCl otopini. (*ISO, 1994.*).

3.2.2. Sadržaj humusa u tlu

Humus je tamna, organska tvar koja je nastala procesom humifikacije biljnih i životinjskih ostataka. Humifikacija podrazumijeva truljenje, raspadanje organskih ostataka u tlu te stvaranje humusa iz proizvoda tog raspadanja. Ti organski ostaci iznova grade organske spojeve tla, ali bitno različite u odnosu na živu tvar. Humus u tlu utječe na niz kemijskih i fizikalnih svojstava. Humus u prvom redu vrlo povoljno utječe na strukturu tla. Teška i zbijena tla huminizacijom postaju rastresitija, rahlija i lakša, a time se poboljšavaju i druga svojstva tla, kao što su vodno-zračni režim, toplina tla i dr. U pogledu kemijskih svojstava, humus sadrži sva potrebna biljna hraniva. Humus utječe povoljno i na biološka svojstva tla time što je izvor ugljika potrebnog za život i razmnožavanje mikroorganizama. 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 koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalijevim bikromatom. Koncentracija humusa u uzorcima nakon spaljivanja organske tvari određena je spektrofotometrijski (*ISO, 1998*.).

3.2.3. Koncentracija AL- pristupačnog fosfora i kalija

AL metodom, odnosno ekstrakcijom tla s amonij laktatom određuju se lakopristupačni fosfor i kalij u tlu (Egner i sur., 1960.). AL otopina sastoji se od mliječne kiseline, 96%-tne octene kiseline i amonij – acetata. Fosfor u filtratu određen je plavom metodom, a njegova koncentracija je izmjerena spektrofotometrijski. Fosfor određen prema AL metodi najznačajniji je za ishranu bilja, jer se odnosi na frakciju topivu u vodi i slabim kiselinama. Koncentracije biljkama pristupačnog kalija očitane su direktno iz ekstrakta tla emisijskom tehnikom na AAS-u (Atomski Apsorpcijski Spektrofotometar). Dobiveni rezultati izražavaju se u mg P_2O_5 i K_2O na 100 g^{-1} tla i ukazuju na količinu hraniva u tlu koja je biljci pristupačna (Vukadinović i Bertić, 1989.).

3.2.4. Određivanje sadržaja karbonata u tlu

Sadržaj karbonata u tlu određuje se volumetrijskom metodom (*ISO, 1995.a*). Tom metodom se mjeri volumen oslobođenog ugljikovog dioksida (CO_2) koji se razvija iz tla

djelovanjem HCl (klorovodične kiseline). Za mjerenje izdvojenog CO_2 (u %) koristi se Scheiblerov kalcimetar koji se sastoji od tri staklene cijevi međusobno povezane gumenim cijevima. Oslobođeni CO_2 se hvata i mjeri u graduiranoj cijevi kalcimetra i preračunava u postotak kacijevog karbonata ($CaCO_3$) (Lončarić, 2006.).

3.2.5. Određivanje ukupnih teških metala u tlu

Uzorci tla razoreni su zlatotopkom, propisanom metodom (ISO, 1995b), prema kojoj je uzorak tla prenesen u teflonsku kivetu i preliven s 12 mL svježe pripremljene zlatotopke (1/3 HNO_3 + 2/3 HCl). Nakon razaranja obavljena je filtracija u odmjerne tikvice, koje su potom nadopunjene destiliranom vodom do volumena 100 ml. Koncentracije teških metala mjerene su u ekstraktima tla direktno na induktivno spregnutoj plazmi optičkom emisijskom spektrometrijom (ICP-OES) i izražene u mg kg^{-1} tla.

3.2.6. Određivanje raspoloživih (EDTA) teških metala u tlu

Za utvrđivanje biljci raspoloživih količina Zn i Cd u uzorcima tla korištena je ekstrakcijska metoda s otopinom EDTA (etilendiamintetraoctena kiselina) (Trierweiler i Lindsay, 1969.). Odvagano je 10 g zrakosuhog uzorka u plastičnu bočicu oko 200 ml. Uzorak je preliven s 20 ml EDTA otopine (smjesa 1 M $(NH_4)_2CO_3$ i 0,01 M EDTA čija je pH vrijednost pripremljena pomoću HCl ili NH_4OH na 8,6). Uzorci su mućkani 30 minuta na rotacijskoj mućkalici i zatim profiltrirani kroz filter papir "plava traka" u epruvete. Iz ekstrakta je direktno određena koncentracija Zn i Cd na ICP-OES-u i izražena u mg kg^{-1} tla.

3.3 Vegetacijski pokus

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

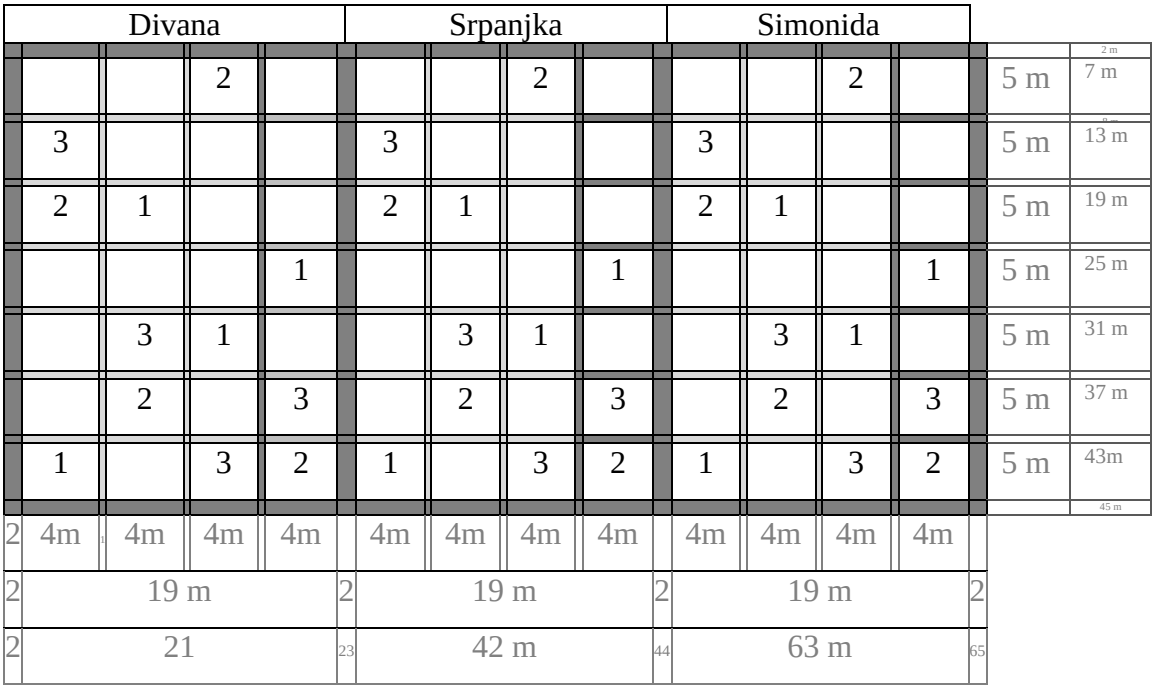
3.3.1. Postavljanje i provedba pokusa tijekom vegetacije

Osnovna gnojidba proizvodne površine u Banovcima provedena je 11. 10. 2011. s 200 kg/ha NPK gnojiva 8:16:24 i 50 kg/ha uree. Tijekom ožujka (28. 03. 2012.) i svibnja (05. 05. 2012.) provedene su dvije prihrane pšenice sa po 120 kg/ha NH_4NO_3. Folijarna aplikacija cinka je provedena skupa sa drugom prihranom pšenice. Pokusne parcele bile su površine 20 m^2 (4 × 5 m) s razmakom između parcela 1 m. Ukupna površina pokusa bila 2.925 m^2 (65 × 45 m). Sjetva pokusa provedena je 14. 10. 2011. Norma sjetve za sortu Divana bila je 230 kg/ha (500 klijavih zrna/m^2), a za sorte Srpanjka i Simonida 280 kg/ha (650 klijavih zrna/m^2). Žetva pokusa i uzorkovanje zrna pšenice provedeno je 02. 07. 2012. godine.

3.3.2. Aplikacija cinka

Aplikacija Zn provedena je prema shemi gnojidbenih tretmana različitim oblicima Zn. U pokusu su primijenjena 3 tretmana pšenice cinkom, koji su postavljeni u 4 ponavljanja prema prikazanoj shemi (shema 1). Za gnojidbu je korišteno gnojivo cinkov sulfat ($ZnSO_4$) i cink u EDTA otopini (Zn – EDTA). Oba gnojiva su dodana folijarno uz dodatak adheziva (0,1 % Herbovit v/v) za folijarne aplikacije. Aplikacije cinka provedene su istog dana, a sorte su bile između faza polovine klasanja (Feekes 10.3) i početka cvatnje (Feekes 10.51). Gnojiva su primijenjena po tretmanima:

1. Kontrola - bez aplikacije cinka (Kontrola)
2. $ZnSO_4$ – Folijarna aplikacija $ZnSO_4$ u količini 1,5 kg Zn ha^{-1}
   → 6,6 kg $ZnSO_4 \times 7H_2O$ ha^{-1} ; aplikacija sa 600 l/ha otopine (0,25 % Zn w/v)
3. Zn – EDTA – Folijarna aplikacija Zn – EDTA u količini 1,5 kg Zn ha^{-1} ; aplikacija sa 600 l/ha otopine



Shema 1. Raspored pokusnih tretmana

3.3.3. Uzorkovanje pšenice i žetva

Žetva pšenice za analizu je izvršena u srpnju (02.07.2012.), ručnim odsijecanjem cijelih biljki neposredno iznad površine tla. Ručna žetva je izvršena na površini od 1 m^2 (2 puta po 0,5 m^2) radi utvrđivanja visine prinosa i žetvenog indeksa. Također, skupljeni su i uzorci 20 vlati za sva ponavljanja kod sve tri sorte pšenice na temelju kojih su kasnije utvrđene komponente prinosa. Uzorci su spremljeni u papirnate vrećice i označeni (oznaka lokaliteta, sorte i tretmana). Nakon što je završena ručna žetva, obavljena je i žetva žitnim kombajnom na ostatku svake pokusne parcele. Svi su uzorci zrna s cijelih parcela odvagani, te spremljeni za analize i uporabu u daljnjim pokusima.

3.4. Određivanje komponenti prinosa i agronomskih svojstava pšenice

Brojanjem svih klasova u uzorku pšenice koji su prikupljeni ručnom žetvom s površine 1 m^2 utvrđen je broj klasova pšenice po jedinici površine. Ostale komponente prinosa utvrđene su analizom uzorka 20 vlati pšenice. Također, većina agronomskih svojstava pšenice utvrđena su na istim 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 koja je prikupljena ručnom žetvom s površine 1 m^2, a masa zrna nakon vršidbe istog uzorka. Hektolitarska masa izmjerena je nakon vršidbe na Dickey-John vlagomjeru (model GAC 2100 Master). Žetveni indeks je izračunat pomoću formule: ZI = (poljoprivredni prinos × 100) / ukupna biološka masa.

3.5. Priprema i analiza uzoraka zrna i vegetativnih dijelova pšenice

Zrno pšenice je nakon žetve prebačeno na Poljoprivredni fakultet u Osijeku u prostoriju za primanje i pripremu uzoraka. Priprema uzorka je započela odvagom 30 g zrna iz svakog uzorka koje je potom samljeveno u posebnim „heavy metal free“ mlinovima (posebni mlinovi koji u sebi nemaju nijednu komponentu sačinjenu od metala). Uzorci zrna pšenice pripremljeni su za mjerenje koncentracije Zn 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_3 i 2 ml 30% H_2O_2. Nakon postupka digestije uz kontrolirani pritisak i temperaturu u mikrovalnoj pećnici, otopina je profiltrirana kroz dvostruki naborani filter papir u odmjerne posude. Koncentracije Zn u otopinama uzoraka zrna pšenice utvrđene su nakon redukcije direktnim mjerenjem optičkom emisijskom spektrometrijskom tehnikom na ICP-OES-u. Koncentracije su zatim preračunate na μg kg^{-1} suhe tvari zrna pšenice.

3.6. 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). 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 reakcije tla (trenutna i izmjenjiva kiselost), sadržaj humusa, lakopristupačni fosfor i kalij, te hidrolitičku kiselost ili udio karbonata, ovisno o kiselosti tla. Na temelju parametara analiziranih osnovnih agrokemijskih svojstava tla utvrđuje se plodnost tla, pogodnosti korištenja tla za uzgoj različitih usjeva, pogodnosti za različite tehnologije uzgoja (konvencionalna, integrirana ili ekološka poljoprivreda), te za kontrolu plodnosti tala i preporuke gnojidbe.

Rezultati analiza agrokemijskih svojstava tla s lokaliteta Banovci (Tablica 1.), nam pokazuju da se radi o karbonatnom tlu (9,26 % $CaCO_3$) alkalne reakcije u vodenoj suspenziji tla (pH_{H2O} = 8,48) i slabo alkalne izmjenjive reakcije u suspenziji tla u kalij kloridu ($pH_{KC}l$ = 7,56), srednje humoznom tlu (2,39%), koje je visoko opskrbljeno fosforom (AL-P_2O_5 = 31,62 mg $100g^{-1}$; klasa D) i dobro opskrbljeno kalijem (AL-K_2O = 27,34 mg $100g^{1}$; klasa C).

Tablica 1. Agrokemijska svojstva tla

Lokalitet	pH_{H2O}	pH_{KCl}	humus (%)	$CaCO_3$ (%)	AL-P_2O_5 (mg/100 g)	AL-K_2O (mg/100 g)
Banovci	**8,48**	**7,56**	**2,39**	**9,26**	**31,62**	**27,34**

4.1.1. Ukupna i raspoloživa koncentracija teških metala

Ukupne koncentracije teških metala u analiziranom tlu prikazane su u Tablici 2. Od svih teških metala, najveća je ukupna koncentracija željeza, a najmanja kadmija. Biljci raspoložive koncentracije teških metala u analiziranom tlu su također prikazane u Tablici 2. i značajno su niže od ukupnih koncentracija. Raspoložive koncentracije teških metala u analiziranom tlu određene su pomoću EDTA ekstrakcijske otopine. U analiziranom tlu, najviše ima raspoloživog željeze, a najmanje kroma.

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 te se može zaključiti da se radi o čistom, neopterećenom zemljištu.

Tablica 2. Ukupne i raspoložive koncentracije teških metala u tlu (mg/kg)

Ekstrakcija	**Fe**	**Mn**	**Zn**	**Cu**	**Ni**	**Co**	**Cr**	**Pb**	**Cd**
Ukupno (zlatotopka, AR)	25.165	435	50,17	17,96	25,56	9,30	36,46	11,49	0,433
Raspoloživo (EDTA)	15,441	7,418	0,956	7,333	0,548	0,035	0,021	3,370	0,088

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^2), 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

Kod sorte Srpanjka je zabilježen najveći sklop pšenice, dok je najniži sklop zabilježen kod sorte Simonida. Između sve tri sorte zabilježena je statistički vrlo značajna razlika u dobivenom sklopu (Tablica 3.) koji se u prosjeku kretao od 727 do 906. Tretiranje usjeva pšenice cinkom nije statistički značajno utjecalo na broj vlati/m^2, tj. sklop pšenice.

4.2.2. Visina biljaka

Visina biljaka se u prosjeku kretala od 58,6 cm (Srpanjka) do 92,2 cm (Divana). Prema tome, najviša od tri analizirane sorte je sorta Divana, a najniža Srpanjka. Između sve tri sorte zabilježena je statistički vrlo značajna razlika u visini biljaka (Tablica 3.). Tretiranje usjeva pšenice cinkom nije statistički značajno utjecalo na visinu biljaka (Tablica 4.).

4.2.3. Dužina klasa

Dužina klasa se u prosjeku kretala od 7,5 cm (Srpanjka) do 9,4 cm (Simonida). Najduži klasovi utvrđeni su kod sorte Simonida, a najkraći kod sorte Srpanjka. Između sve tri sorte zabilježena je statistički vrlo značajna razlika u dužini klasa (Tablica 3.). Tretiranje usjeva pšenice cinkom nije statistički značajno utjecalo na dužinu klasova (Tablica 4).

4.2.4. Broj fertilnih i sterilnih klasića po klasu

Broj fertilnih klasića po klasu u prosjeku se kretao od 13,7 (Divana) do 16,5 (Srpanjka). Broj sterilnih klasića po klasu u prosjeku se kretao od 1,3 (Srpanjka) do 1,7 (Divana). Odnosno, pokazalo se da između tri analizirane sorte Divana u prosjeku ima najmanje fertilnih, a najviše sterilnih klasića po klasu, dok Srpanjka ima najviše fertilnih, te sukladno s tim najmanje sterilnih klasića po klasu. Statistički značajna razlika u pogledu broja fertilnih i sterilnih klasića po klasu (Tablica 3.) utvrđena je između sorti Divana i Srpanjka te Divana i Simonida, dok između sorti Srpanjka i Simonida nema statistički značajne razlike. Tretiranje usjeva pšenice cinkom nije statistički značajno utjecalo na broj fertilnih i sterilnih klasića po klasu (Tablica 4).

4.2.5. Hektolitarska masa

Hektolitarska masa tri analizirane sorte pšenice u prosjeku se kretala od 82,5 (Srpanjka) do 83,8 (Simonida) (Tablica 3). 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 cinkom (Tablica 5).

4.2.6. Ukupan prirod nadzemne mase

Ukupan prirod nadzemne mase kretao se od 15,29 t/ha ST (Divana) do 17,12 t/ha ST (Srpanjka), odnosno najviši ukupan prirod nadzemne mase zabilježen je kod sorte Srpanjka, dok je najniži zabilježen kod sorte Divana (Tablica 3). Između sorti Divana i Srpanjka utvrđena je statistički značajna razlika u ukupnom prirodu nadzemne mase. Između sorti Divana i Simonida te Srpanjka i Simonida nema statistički značajne razlike. Na ukupan prirod nadzemne mase nije statistički značajno utjecalo tretiranje usjeva pšenice cinkom (Tablica 5).

4.2.7. Prinos zrna

Prinos zrna u prosjeku se kretao od 5,53 t/ha (Divana) do 9,16 t/ha (Srpanjka), odnosno najveći prinos zrna zabilježen je kod sorte Srpanjka, a najniži kod sorte Divana (Tablica 3). Zabilježena je statistički značajna razlika između sve tri analizirane sorte u pogledu prinosa zrna. Tretiranje usjeva pšenice cinkom nije statistički značajno utjecalo na prinos zrna (Tablica 4).

4.2.8. Žetveni indeks

Najviši žetveni indeks zabilježen je kod sorte Srpanjka, dok je najniži zabilježen kod sorte Divana U prosjeku se kretao od 36,5 (Divana) do 53,4 (Srpanjka) (Tablica 3). Statistički značajna razlika utvrđena je između sorti Divana i Srpanjka te Divana i Simonida, dok između sorti Srpanjka i Simonida nema statistički značajne razlike. Tretiranje usjeva pšenice cinkom nije statistički značajno utjecalo na žetveni indeks (Tablica 4).

Tablica 3. Utjecaj sorte na komponente prinosa i agronomska svojstva

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

^{ABC} razlike između vrijednosti u određenom redu (između sorti) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

Tablica 4. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva

Agronomska svojstva	**Kontrola**	**Folijarno $ZnSO_4$**	**Folijarno Zn EDTA**	**$LSD_{0,05}$**
Broj vlati/m^2	**813**	**804,5**	**803,2**	ns
Visina biljke (cm)	**75,4**	**76,7**	**77,3**	ns
Dužina klasa (cm)	**8,3**	**8,4**	**8,5**	ns
Broj fertilnih klasića	**15,5**	**15,26**	**15,76**	ns
Broj sterilnih klasića	**1,5**	**1,3**	**1,3**	ns
Hektolitarska masa	**82,8**	**83,0**	**83,0**	ns
Prirod (t/ha ST)	**16,64**	**15,65**	**16,23**	ns
Prinos zrna (t/ha)	**7,7**	**7,2**	**7,7**	ns
Prirod slame (t/ha)	**8,95**	**8,5**	**8,5**	ns
Žetveni indeks	**45,9**	**45,8**	**47,5**	ns

^{ABC} razlike između vrijednosti u određenom redu (između sorti) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

4.3. Koncentracija i iznošenje Zn

Na temelju analiza utvrđene su koncentracije cinka u zrnu te iznošenje cinka prinosom za sve tri sorte i za sva tri tretmana. Na temelju tih podataka možemo odrediti utjecaj pojedine sorte te utjecaj oblika korištenog cinka na koncentraciju cinka u zrnu i na iznošenje cinka prinosom zrna.

4.3.1. Koncentracija Zn u zrnu pšenice

Najviša koncentracija cinka u zrnu pšenice utvrđena je kod sorte Divana, a najniža kod sorte Simonida. Koncentracija cinka u zrnu u prosjeku se kretala od 22,42 mg kg^{-1} do 39,34 mg kg^{-1}. Statistički značajne razlike utvrđene su između sorti Divana i Srpanjka te Divana i Simonida, dok između sorti Srpanjka i Simonida nije utvrđena statistički značajna razlika u koncentraciji cinka. Između kontrole i tretmana cinkom zabilježena je statistički značajna razlika u koncentraciji cinka u zrnu tretirane pšenice, te se može zaključiti da su tretmani cinkom značajno utjecali na povećanje koncentracije cinka u zrnu pšenice. Znatno veća koncentracija Zn u zrnu je utvrđena pri tretmanu sa $ZnSO_4$ u odnosu na Zn EDTA za sve tri sorte. Najmanja koncentracija cinka za sve tri sorte bila je pri tretmanu bez cinka (kontrola). U prosjeku se koncentracija cinka u zrnu pšenice u ovisnosti o tretmanu kretala od 19,59 mg kg^{-1} (kontrola) do 41,36 mg kg^{-1} ($ZnSO_4$). Statistički značajna razlika u koncentraciji cinka u zrnu pšenice utvrđena je za oba tretmana u odnosu na kontrolu bez cinka, te također između oba tretmana ($ZnSO_4$ i Zn- EDTA). Najveća koncentracija cinka utvrđena je kod sorte Divana pri tretmanu sa $ZnSO_4$ (56,63 mg kg^{-1}), a najmanja kod sorte Simonida bez tretmana cinkom (14,4 mg kg^{-1}). Prema tome može se zaključiti da sorta znatno utječe na koncentraciju cinka u zrnu pšenice, i da je najveća koncentracija Zn utvrđena u zrnu sorte Divana. Također i oblik apliciranog cinka znatno utječe na koncentraciju cinka u zrnu te je najučinkovitiji bio tretman sa $ZnSO_4$.

4.3.2. Iznošenje Zn prinosom zrna pšenice

Ukupno iznošenje cinka prinosom zrna pšenice po sortama u prosjeku se kretalo od 188,3 g/ha do 219 g/ha. Najveće iznošenje cinka zabilježeno je kod sorte Srpanjka, a najmanje kod sorte Simonida. Statistički značajna razlika u iznošenju cinka prinosom zrna zabilježena je između sorti Srpanjka i Simonida, dok između sorti Divana i Srpanjka te Divana i Simonida nije utvrđena statistički značajna razlika. Između kontrole i tretmana

cinkom zabilježena je statistički značajna razlika u iznošenju cinka prinosom zrna pšenice. Najveće iznošenje Zn utvrđeno je pri tretmanu pšenice sa $ZnSO_4$ za sve tri sorte. Iznošenje cinka se u prosjeku kretalo od 144,07 (kontrola) do 268,86 ($ZnSO_4$). Statistički značajna razlika u iznošenju cinka prinosom zrna pšenice utvrđena je za oba tretmana u odnosu na kontrolu bez cinka, te također između oba tretmana ($ZnSO_4$ i Zn-EDTA). Najveće iznošenje cinka prinosom zrna pšenice utvrđeno je kod sorte Srpanjka pri tretmanu sa $ZnSO_4$ (281,2 g/ha), a najmanje kod sorte Simonida pri tretmanu bez cinka (125,16 g/ha). Iz rezultata se može zaključiti da na iznošenje Zn najveći utjecaj ima oblik apliciranog Zn.

Tablica 5. Koncentracije cinka (mg/kg) u zrnu i iznošenje cinka (g/ha) prinosom pšenice

Sorta	Tretman	Koncentracija Zn (mg/kg)	Iznošenje Zn (g/ha)
Srpanjka	kontrola	18,04 ^{C}	169,46 ^{C}
	$ZnSO_4$	36,28 ^{A}	281,2 ^{A}
	Zn-EDTA	26,72 ^{B}	206,3 ^{B}
	$LSD_{0,05}$	3,54	29,98
	Prosjek	**27,01 ^{B}**	**219 ^{A}**
Simonida	kontrola	14,4 ^{C}	125,16 ^{C}
	$ZnSO_4$	31,18 ^{A}	254,4 ^{A}
	Zn-EDTA	21,7 ^{B}	185,46 ^{B}
	$LSD_{0,05}$	5,26	48,14
	Prosjek	**22,4 ^{B}**	**188,3 ^{B}**
Divana	kontrola	26,33 ^{B}	137,6 ^{B}
	$ZnSO_4$	56,63 ^{A}	271 ^{A}
	Zn-EDTA	35,06 ^{B}	191,73 ^{AB}
	$LSD_{0,05}$	10,18	80,42
	Prosjek	**39.3 ^{A}**	**200,1 ^{AB}**
Prosjek	**kontrola**	19,59 ^{C}	144,07 ^{C}
	ZnSO4	41,36 ^{A}	268,86 ^{A}
	Zn-EDTA	27,82 ^{B}	194,5 ^{B}
	$LSD_{0,05}$	4,232	25,674
	Prosjek	**29,57**	**202,46**

^{ABC} razlike između vrijednosti u određenoj koloni (između tretmana) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

4.4. Koncentracija i iznošenje Cd

Također su na temelju analiza utvrđene i koncentracije kadmija u nadzemnim organima za sve tri sorte i za sva tri tretmana. Utvrđeno je i iznošenje kadmija nadzemnim organima za sve tri sorte i za sva tri tretmana. Na temelju tih podataka utvrđujemo utjecaj pojedine sorte te utjecaj oblika korištenog cinka na koncentraciju kadmija u nadzemnim organima i na iznošenje kadmija nadzemnim organima.

4.4.1. Koncentracija Cd u nadzemnim organima pšenice

Najviša koncentracija kadmija u nadzemnim organima pšenice utvrđena je kod sorte Srpanjka, a najniža kod sorte Divana. Koncentracija kadmija u prosjeku se kretala od 0,036 mg kg^{-1} do 0,049 mg kg^{-1} ovisno o sorti. Nisu utvrđene statistički značajne razlike među sortama u pogledu koncentracije kadmija u nadzemnim organima pšenice. Između kontrole i tretmana cinkom sa Zn-EDTA zabilježena je statistički značajna razlika u koncentraciji kadmija u nadzemnim organima tretirane pšenice, dok između kontrole i tretmana cinkom sa $ZnSO_4$ nije zabilježena statistički značajna razlika. Između tretmana sa $ZnSO_4$ i tretmana sa Zn-EDTA zabilježena je statistički značajna razlika. Znatno manja koncentracija Cd u nadzemnim organima pšenice je utvrđena pri tretmanu sa Zn-EDTA u odnosu na tretmane bez cinka i tretmane sa $ZnSO_4$. U prosjeku se koncentracija kadmija u nadzemnim organima pšenice u ovisnosti o tretmanu kretala od 0,016 (Zn-EDTA) do 0,06 mg kg^{-1} ($ZnSO_4$).

4.4.2. Iznošenje Cd nadzemnim organima pšenice

Ukupno iznošenje kadmija nadzemnim organima pšenice po sortama u prosjeku se kretalo od 0,18 g/ha do 0,41 g/ha. Najveće iznošenje kadmija zabilježeno je kod sorte Srpanjka, a najmanje kod sorte Divana. Statistički značajna razlika u iznošenju kadmija nadzemnim organima pšenice zabilježena je između sorti Divana i Srpanjka i između sorti Divana i Simonida dok između sorti Srpanjka i Simonida nije utvrđena statistički značajna razlika. Između kontrole i tretmana sa Zn-EDTA zabilježena je statistički značajna razlika u iznošenju kadmija nadzemnim organima tretirane pšenice, dok između kontrole i tretmana sa $ZnSO_4$ nije zabilježena statistički značajna razlika. Između tretmana sa $ZnSO_4$ i tretmana sa Zn-EDTA zabilježena je statistički značajna razlika. Znatno manje iznošenje

Cd nadzemnim organima pšenice je utvrđeno pri tretmanu sa Zn-EDTA u odnosu na $ZnSO_4$. U prosjeku se iznošenje kadmija nadzemnim organima pšenice u ovisnosti o tretmanu kretalo od 0,12 (Zn-EDTA) do 0,45 mg kg^{-1} (kontrola).

Tablica 6. Koncentracije kadmija (mg/kg) u zrnu i iznošenje kadmija (g/ha) prinosom pšenice

Sorta	Tretman	Koncentracija Cd (mg/kg)	Iznošenje Cd (g/ha)
Srpanjka	kontrola	0,055 ^{AB}	0,523 ^{AB}
	$ZnSO_4$	0,08 ^{A}	0,612 ^{A}
	Zn-EDTA	0,012 ^{B}	0,1 ^{B}
	$LSD_{0,05}$	0,05	0,43
	Prosjek	**0,049 ^{A}**	**0,411 ^{A}**
Simonida	kontrola	0,065 ^{A}	0,566 ^{A}
	$ZnSO_4$	0,05 ^{A}	0,408 ^{AB}
	Zn-EDTA	0,023 ^{B}	0,205 ^{B}
	$LSD_{0,05}$	0,02	0,21
	Prosjek	**0,045 ^{A}**	**0,393 ^{A}**
Divana	kontrola	0,046 ^{AB}	0,25 ^{A}
	$ZnSO_4$	0,05 ^{A}	0,24 ^{AB}
	Zn-EDTA	0,0123 ^{B}	0,057 ^{B}
	$LSD_{0,05}$	0,03	0,19
	Prosjek	**0,036 ^{A}**	**0,182 ^{B}**
Prosjek	**kontrola**	0,055 ^{A}	0,446 ^{A}
	ZnSO4	0,06 ^{A}	0,42 ^{A}
	Zn-EDTA	0,015 ^{B}	0,12 ^{B}
	$LSD_{0,05}$	0,0196	0,1506
	Prosjek	**0,043**	**0,328**

^{ABC} razlike između vrijednosti u određenoj koloni (između tretmana) statistički su značajne ukoliko oznake ne sadrže isto slovo

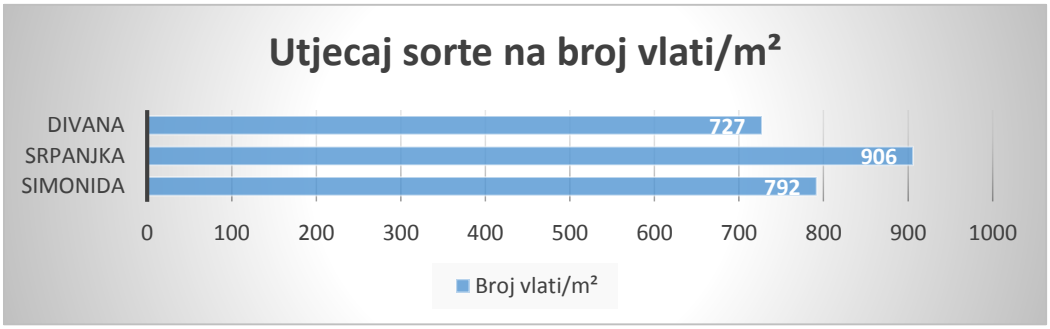
5. Rasprava

5.1. Utjecaj agrokemijskih svojstava tla na razvoj pšenice i usvajanje Zn

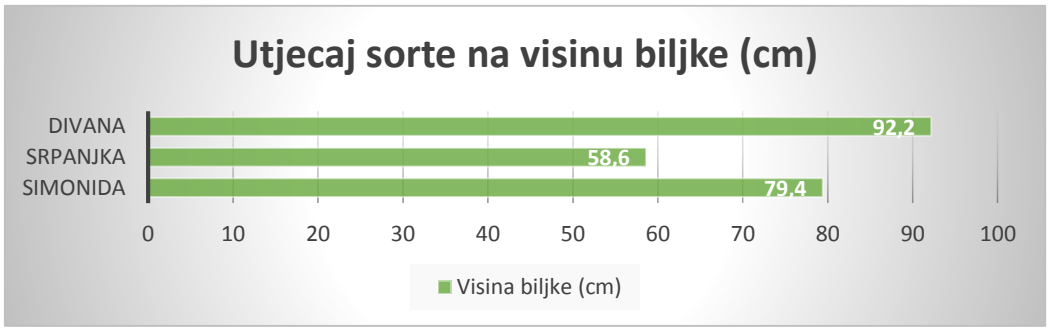
Rezultati analiza agrokemijskih svojstava tla s lokaliteta Banovci, na kojem je proveden pokus nam pokazuju da se radi o karbonatnom, srednje humoznom tlu, koje je visoko opskrbljeno fosforom i dobro opskrbljeno kalijem. Pšenici najbolje odgovaraju duboka, umjereno vlažna tla bogata humusom (više od 2 %) te blago kisele reakcije (pH 6,5 - 7), iz čega slijedi da je ispitivano tlo pogodno za uzgoj pšenice, iako je pH vrijednost tla nešto viša od vrijednosti koju pšenica preferira. Koncentracije teških metala u pokusnom tlu su niže od maksimalno dopuštenih količina (MDK) teških metala u poljoprivrednim tlima, što znači da je zemljište čisto i pogodno za poljoprivrednu proizvodnju. pH reakcija tla ima značajnu ulogu u raspoloživosti cinka i kadmija koja se smanjuje sa porastom pH tla. Većina dostupnosti mikrohraniva je pod utjecajem pH tla. Kisela pH reakcija tla povećava topljivost cinka i ostalih kationskih teških metala, dok se anionski teški metali bolje otapaju u alkalnim tlima. Jug i sur. (2008.) proučavali su povezanost nedostatka cinka u istočnim dijelovima Hrvatske sa visokom pH vrijednosti. Njihovo istraživanje je pokazalo da se od zapada prema istoku, sa povećanjem pH tla, smanjuje sadržaj Zn u tlu. Budući da je tlo s lokaliteta Banovci alkalno i koncentracija raspoloživog cinka (0,956 mg Zn kg^{-1}) je ispod kritične koncentracije za biljnu proizvodnju (1mg Zn kg^{-1}), pogodno je za proučavanje utjecaja folijarnog tretmana cinkom na povećanje komponenti prinosa i koncentracije Zn u zrnu pšenice, te na koncentraciju Cd.

5.2. Utjecaj sorte na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice

Ovim istraživanjem ispitivane su tri sorte pšenice: Divana, Srpanjka i Simonida. Za sve tri sorte utvrđene su komponente prinosa i agronomska svojstva. Statistički značajne razlike između sve tri sorte utvrđene su za samo četiri svojstva: broj vlati/m^2, visina biljke, dužina klasa i prinos zrna. Najveći sklop utvrđen je kod sorte Srpanjka (grafikon 1.), najvišom se pokazala sorta Divana (grafikon 2.), a najduži klasovi utvrđeni kod sorte Simonida (grafikon 3.). Najveći prinos zrna ostvarila je sorta Srpanjka (grafikon 4.).



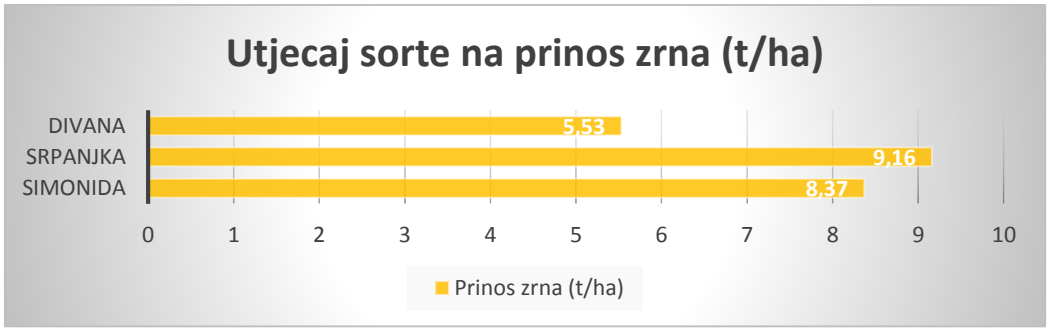
Grafikon 1. Utjecaj sorte na broj vlati/m² (sklop pšenice)



Grafikon 2. Utjecaj sorte na visinu biljke (cm)



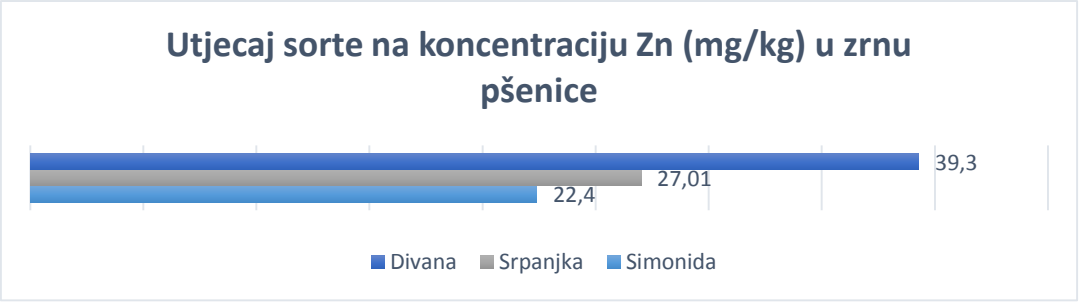
Grafikon 3. Utjecaj sorte na dužinu klasa (cm)



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

5.3. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Zn prinosom zrna

Na temelju analiza zrna pšenice među sortama su utvrđene statistički značajne razlike u koncentracijama cinka u zrnu (grafikon 5.). Najviša koncentracija cinka u zrnu pšenice utvrđena je kod sorte Divana, a najniža kod sorte Simonida. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da sorta znatno utječe na koncentraciju cinka u zrnu pšenice, te da je najveća koncentracija Zn utvrđena u zrnu sorte Divana. Stefanović i sur. (2008.) su u svom istraživanju također utvrdili značajnu razliku u koncentraciji cinka između pet različitih sorti pšenice. Razni autori navode da je oplemenjivanjem, u svrhu povećanja prinosa smanjena koncentracija mikroelemenata u zrnu. U ovom istraživanju rezultati podupiru tu tvrdnju jer je kod sorte Divana kod koje je zabilježen najniži prinos zrna (grafikon 4.), zabilježena i najveća koncentracija Zn u zrnu (grafikon 5.). Khoshg-oftarmanesh i sur. (2010.) ističu da najmoderniji kultivari pšenice i riže imaju nižu koncentraciju mikrohraniva u zrnu od tradicionalnih kultivara jer su uzgajivači i oplemenjivači uglavnom usmjereni na povećanje prinosa, bez pozornosti na koncentracije mikronutrijenata u zrnu. Isto mišljenje dijele i Cakmak i sur. (1999.) koji tvrde da se uz pripitomljavanje i suvremeni uzgoj pšenice, koncentracija Zn u sjemenu smanjila.



Grafikon 5. Utjecaj sorte na koncentraciju Zn (mg/kg) u zrnu pšenice



Grafikon 6. Utjecaj sorte na iznošenje Zn (g/ha) prinosom zrna pšenice

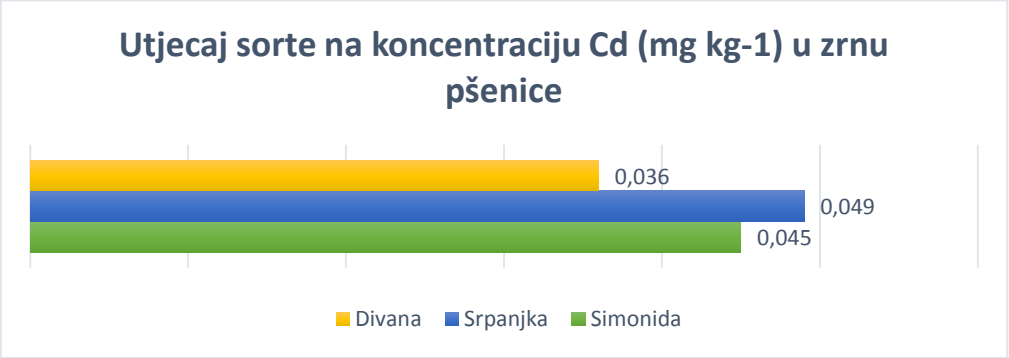
Ukupno iznošenje cinka prinosom zrna pšenice po sortama u prosjeku se kretalo od 188,3 g/ha do 219 g/ha (grafikon 6.). Najveće iznošenje cinka zabilježeno je kod sorte Srpanjka koja je imala i najveći prinos zrna (tablica 4.). Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da sorta znatno utječe i na iznošenje cinka zrnom pšenice.

5.4. Utjecaj sorte na koncentracije i odnošenje Cd prinosom zrna

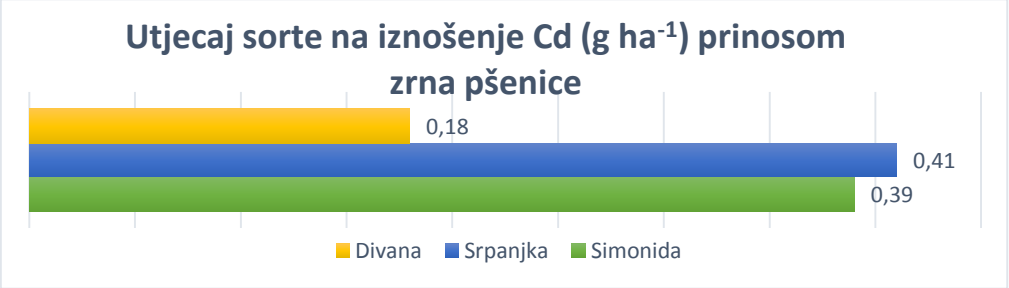
Na temelju analiza zrna pšenice među sortama nisu utvrđene statistički značajne razlike u koncentracijama kadmija u zrnu (grafikon 7.), dok je za iznošenje kadmija zrnom statistički značajna razlika utvrđena jedino za sortu Divana u odnosu na druge dvije sorte (grafikon 8). Najniža koncentracija kadmija kao i najmanje iznošenje zabilježeno je kod sorte Divana. Budući da je kod sorte Divana zabilježena najveća koncentracija cinka, može se pretpostaviti da je takav rezultat dobiven zbog antagonizma cinka i kadmija. Opće je prihvaćeno da količina Zn u tlu i biljkama igra važnu ulogu u akumulaciji kadmija u poljoprivrednim kulturama. Najveće iznošenje kadmija je zabilježeno kod sorte Srpanjka koja je imala i najveći prinos zrna.

Istraživanja su pokazala da svojstva tla igraju važnu ulogu u usvajanju Cd i nakupljanju u usjevu (Eriksson, 1990; Chaney et al, 1993.; Li et al, 1994.; Tiller et al., 1995). Oliver i sur. (1995) su proučavali genetske varijacije za koncentracije Cd među australskim sortama pšenice. U svom istraživanju su dobili rezultate da je utjecaj sorte bio manje značajan od utjecaja lokacije gdje je pšenica uzgajana što se uglavnom odnosi na svojstva tla. Međutim, razni autori su istraživanjima dobili rezultate na temelju kojih zaključuju da se biljne vrste i sorte genetski razlikuju u sposobnosti apsorpcije i translokacije Cd u jestive dijelove usjeva. Usvajanje Cd kao i translokacija Cd od korijena do izdanka varira među kultivarima pšenice (Oliver et al., 1995; Wenzel et al., 1996; Li et al., 1997). Stefanović i sur., 2008. su u svom istraživanju otkrili da su najveće razlike među kultivarima otkrivene kod durum pšenice. Razlike koje su pronađene u akumulaciji Cd u zrno su bile uzrokovane varijacijom u translokaciji Cd od korijena do izdanka i unutar izdanka, prije nego usvajanjem Cd u korijenje. Hart i sur., (2005) su identificirali nisko Cd

akumulirajuće izolinije durum pšenice koje su imale koncentracije Cd u zrnu i u dijelovima izdanka 60-70% niže nego visoko Cd akumulirajuće izolinije. Isti autori razmatraju načine kako bi se ograničile razine Cd koji se akumuliraju u zrnu durum pšenice. Jedan pristup ovog problema je razvoj kultivara koji akumuliraju manje razine Cd u zrnu. Takvi genotipovi su proizvedeni putem klasičnih uzgojnih tehnika (Clarke i sur., 1997). Ove linije pokazuju koncentracije Cd u zrnu koje su najmanje 50% niže od onih koje se nalaze u standardnim genotipovima i ta osobina je čini se pod kontrolom jednog gena. Ovaj lokus je prijavljen da daje smanjenu koncentraciju Cd u cijelom izdanku, ne samo u zrnu (Clarke i sur., 1997). Autori zaključuju da su potrebni pokušaji oplemenjivanja i uzgajanja široko prilagođenih genotipa s niskom akumulacijom Cd u zrnu diljem različitih serija tla i okruženja.



Grafikon 7. Utjecaj sorte na koncentraciju Cd (mg kg^{-1}) u zrnu pšenice

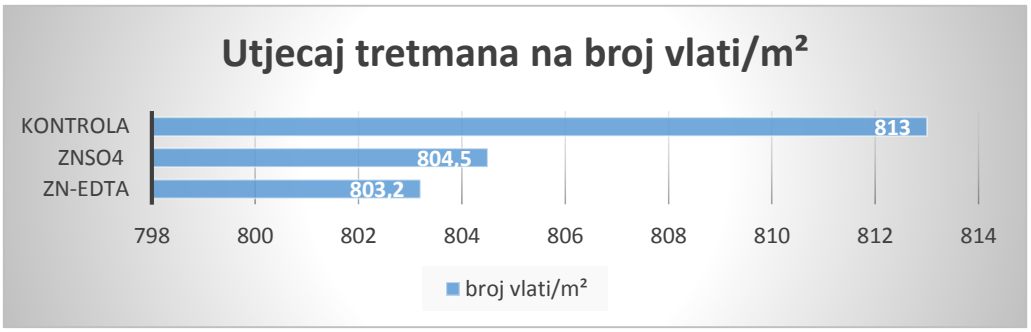


Grafikon 8. Utjecaj sorte na iznošenje Cd (g ha^{-1}) prinosom zrna pšenice

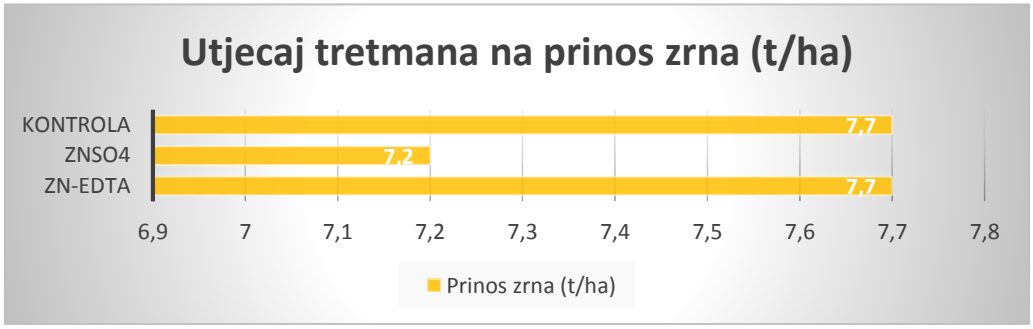
5.5. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice

Tretiranje usjeva pšenice cinkom nije statistički značajno utjecalo na komponente prinosa i agronomska svojstva. Ovi rezultati se ne poklapaju sa rezultatima drugih autora koji ističu značajnu ulogu cinka u rastu i razvoju pšenice, kao i u povećanju prinosa.

M.S. Zeidan i sur. (2010), su u svojim istraživanjima učinka folijarne primjene mikrohraniva na prinos i kvalitetu pšenice pokazali da je primjenom Fe, Mn i Zn znatno povećan prinos zrna i komponente prinosa pšenice u usporedbi s kontrolom. Prema njihovim rezultatima, folijarna aplikacija Zn nadmašila je ostale tretmane. Najveći prinosi zrna i slame dobiveni su kada je pšenica bila tretirana sa Zn. Cakmak i Braun (1999.) u svom radu iznose da je u pogledu povećanju prinosa zrna, aplikacija cinka u tlo učinkovitija od folijarne aplikacije cinka.



Grafikon 9. Utjecaj tretmana na broj vlati/m² (sklop pšenice)



Grafikon 10. Utjecaj tretmana na prinos zrna pšenice (t/ha)

5.6. Utjecaj tretmana na koncentracije i odnošenje Zn prinosom zrna

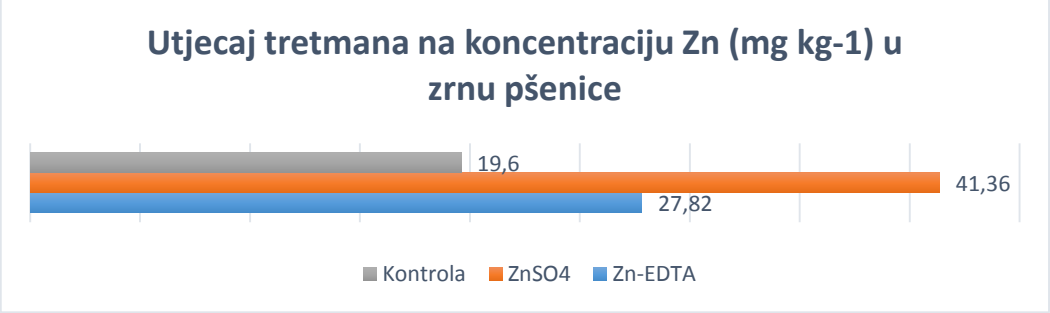
Rezultati dobiveni nakon folijarnog tretiranja sa organskim i anorganskim oblikom cinka pokazuju da je statistički značajna razlika u pogledu koncentracije Zn u zrnu zabilježena između kontrole i oba tretmana cinkom, kao i između oba tretmana. Znatno veća koncentracija Zn u zrnu je utvrđena pri tretmanu sa $ZnSO_4$ u odnosu na Zn-EDTA (grafikon 11.) za sve tri sorte, iz čega slijedi da su tretmani cinkom, ali također i oblik apliciranog cinka značajno utjecali na povećanje koncentracije cinka u zrnu pšenice. U pogledu iznošenja cinka prinosom zrna, između kontrole i oba tretmana cinkom, kao i između oba tretmana zabilježena je također statistički značajna razlika. Najveće iznošenje Zn utvrđeno je pri tretmanu pšenice sa $ZnSO_4$ za sve tri sorte (grafikon 12.). Iz rezultata se može zaključiti da na iznošenje Zn najveći utjecaj ima oblik apliciranog Zn.

Stacey i Oosterhuis (2007.) su također proučavali utjecaj različitih oblika cinka na povećanje koncentracije cinka u biljnim kulturama. U njihovom istraživanju, EDTA je značajno ($P \leq 0.05$) smanjio sorpciju Zn u izoliranim kutikulama Valencia naranče (Citrus sinensis) za 83%. EDTA je također značajno ($P \leq 0.05$) smanjio stopu apsorpcije Zn-gnojiva kod živih biljaka pamuka. $ZnSO_4$ je apsorbiran u lišće pamuka brže nego Zn-EDTA. Ova studija je pokazala da se EDTA ne treba koristiti u folijarnim sprejevima elemenata u tragovima, osobito s obzirom na visoke cijene tih kelata. Ovi rezultati ne osporavaju korištenje kelata u gnojivima za tlo, budući da kelati smanjuju procese sorpcije i fiksacije u tlu (Stacey i Oosterhuis, 2007.).

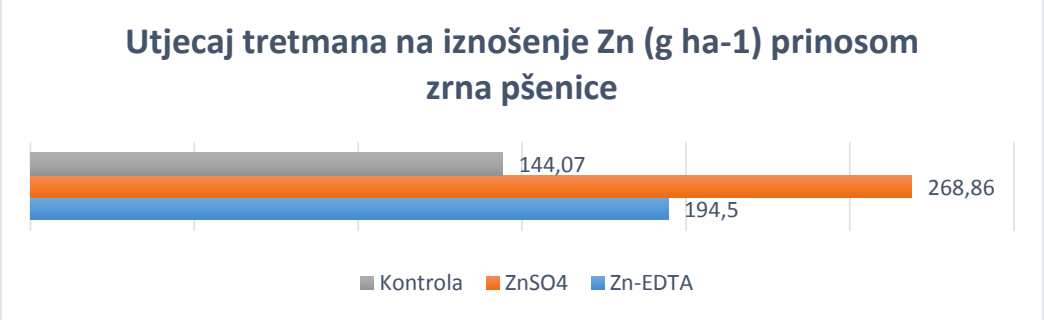
Terenski pokusi u srednjoj Anatoliji, gdje je nedostatak Zn raširen, pokazali su da dodavanje $ZnSO_4$ u tlo ili folijarno, značajno povećava koncentraciju Zn u zrnu pšenice. (Cakmak, 2010). Za razliku od Zn-deficitnih mjesta, aplikacija $ZnSO_4$ u tlo koje ima zadovoljavajuću količinu Zn, imala je ili vrlo male ili nikakve utjecaje na koncentraciju Zn u zrnu (Cakmak, 2010). Rengel i sur. (1999) smatraju aplikaciju $ZnSO_4$ u tlo kao jeftinu i učinkovitu metodu povećanja prinosa i koncentracije Zn u zrnu. Mortvedt i sur. (1991); Cakmak i Braun (1999) nam u svom radu izvješćuju da je $ZnSO_4$ najčešće primjenjivan izvor cinka za ispravljanje problema nedostatka cinka u biljnim kulturama. Autori zaključuju da je u povećanju prinosa zrna, aplikacija cinka u tlo učinkovitija od folijarne

aplikacije cinka, dok je u pogledu povećanja koncentracije cinka u zrnu, folijarna aplikacija cinka učinkovitija od apliciranja cinka u tlo. U istraživanjima Wang i sur. (2012) zaključuju da dodavanje Zn u tlo nije bilo učinkovito za manjak Zn u kukuruzu. Folijarna aplikacija je bila učinkovitija, rezultirajući značajnim povećanjem Zn u zrnu pšenice i kukuruza. Za uspješnost tretmana cinkom također je vrlo bitno vrijeme apliciranja. Prema izvješću Yang i sur (2011.) folijarna gnojidba cinkom u ranoj fazi nalijevanja zrna povećava koncentraciju Zn u zrnu i biodostupnost u pšenici uzgajanoj na alkalnom tlu sa manjkom cinka.

Povećanje koncentracije cinka u zrnu je važan globalni izazov kako bi se smanjili zdravstveni problemi povezani sa manjkom cinka za više od milijardu ljudi. Budući da pšenica sama po sebi ima vrlo niske koncentracije cinka u zrnu i uzgoj pšenice na tlima sa manjkom cinka dodatno smanjuje koncentracije cinka u zrnu, gnojidba u tlo i/ili folijarna gnojidba pšenice cinkom je iznimno važna za oboje, bolji urod i bolje zdravlje ljudi (Mortvedt i sur. (1991); Cakmak i Braun (1999)).



Grafikon 11. Utjecaj tretmana na koncentraciju Zn (mg kg^{-1}) u zrnu pšenice



Grafikon 12. Utjecaj tretmana na iznošenje Zn (g ha^{-1}) prinosom zrna pšenice

5.7. Utjecaj tretmana na koncentracije i iznošenje Cd prinosom zrna

Rezultati dobiveni nakon folijarnog tretiranja sa organskim ($ZnSO_4$) i anorganskim (Zn-EDTA) oblikom cinka pokazuju da je znatno manja koncentracija Cd u nadzemnim organima pšenice utvrđena pri tretmanu sa Zn-EDTA u odnosu na tretmane bez cinka i tretmane sa $ZnSO_4$ (grafikon 13.). U pogledu iznošenja kadmija zabilježena je statistički značajna razlika između kontrole i tretmana sa Zn-EDTA, dok između kontrole i tretmana sa $ZnSO_4$ nije zabilježena statistički značajna razlika. Znatno manje iznošenje Cd nadzemnim organima pšenice je utvrđeno pri tretmanu sa Zn-EDTA u odnosu na $ZnSO_4$ (grafikon 14).

Oliver i sur., (1994) su dokazali da dodavanje Zn pšenici uzgajanoj na tlima graničnog ili ozbiljnog pomanjkanja Zn u južnoj Australiji smanjuje koncentraciju Cd u zrnu do 50%. Općenito, dodavanje Zn smanjuje usvajanje Cd i akumulaciju u biljkama (Honma i Hirata, 1978; McLaughlin i sur., 1994; Oliver i sur., 1997). Druge studije su također pokazale da dodavanje cinka može smanjiti akumulaciju Cd u sjemenkama lana (Grant i Bailey, 1997) i u zrnu durum pšenice (Choudhary i sur., 1994).

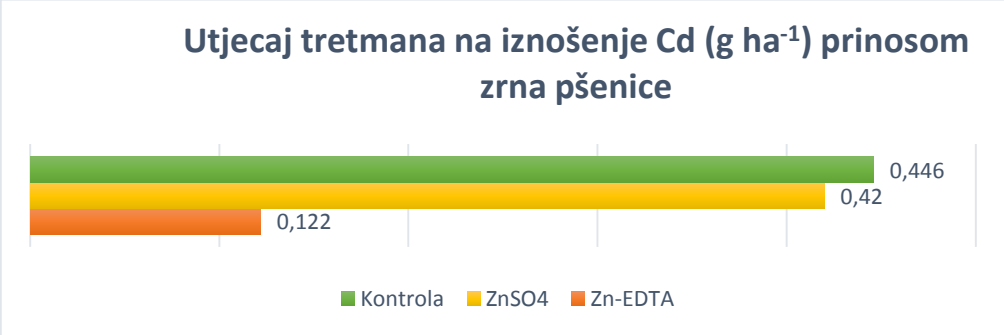
Zabilježeno je da dodavanje cinka u tlo utječe na akumulaciju Cd u usjevima (Williams i David, 1976; Abdel-Sabour i sur., 1988; Oliver i sur., 1994; Grant & Bailey, 1998). Međutim, učinak Zn na akumulaciju Cd može biti pozitivan ili negativan, i nije jasno pojavljuje li se interakcija u tlu ili u biljci. Dodatak Zn može istisnuti Cd s apsorpcijskog mjesta u tlu (Christensen, 1987), što upućuje na zaključak da gnojidba Zn može dovesti do povećanog unosa Cd u biljke zbog povećane koncentracije kadmija u otopini tla. Ovaj scenarij je podržan rezultatima Williams & David (1976), koji su pokazali povećanu akumulaciju Cd u izdancima zobi nakon gnojidbe tla cinkom. Nasuprot tome, druge studije (Abdel-Sabour i sur., 1988; Oliver i sur., 1994; Choudhary i sur., 1995; Grant & Bailey, 1998) pokazale su da dodavanje Zn u tlo može smanjiti nakupljanje Cd u biljkama. To može biti uzrokovano cinkovim kočenjem usvajanja kadmija plazminom membranom korijenovih epidermalnih i kortikalnih stanica, kao što je sugerirano u izvješću koje prikazuje da usvajanje Cd u korijen durum pšenice je antagonijski kočeno od strane Zn (Hart i sur., 2002). Budući da Zn može ometati transport Cd kroz membranu

plazme korijenovih stanica (Cataldo et al., 1983; Hart et al., 2002), viša Zn^{2+} aktivnost u hranjivoj otopini rezultira sa nižom razinom Cd u tkivu. Ovo podupire pretpostavku da gnojidba tla sa Zn u poljskim uvjetima kod žitarica može biti učinkovita mjera u smanjenju akumulacije Cd smanjenjem količine Cd kojeg biljke usvajaju.

Hart i sur., (2005) predlažu da bi kombinacija nisko Cd-akumulirajućih fenotipa i opskrba dovoljnom količinom Zn omogućila učinkovitu poljoprivrednu praksu za proizvodnju zrna sa niskim razinama Cd.



Grafikon 13. Utjecaj tretmana na koncentraciju Cd (mg kg^{-1}) u zrnu pšenice



Grafikon 14. Utjecaj tretmana na iznošenje Cd (g ha^{-1}) prinosom zrna pšenice

6. Zaključak

Ovim istraživanjem ispitivana je učinkovitost folijarne aplikacije različitih oblika cinka te utjecaj agrofortifikacije pšenice cinkom na povećanje koncentracije cinka i smanjenje koncentracije kadmija u zrnu tri sorte pšenice.

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

1. Folijarnom aplikacijom Zn povećava se koncentracija Zn u zrnu pšenice

2. Folijarnom aplikacijom Zn smanjuje se koncentracija Cd u zrnu pšenice

3. Oblik apliciranog Zn značajno utječe na koncentraciju Zn u zrnu pšenice

4. Oblik apliciranog Zn značajno utječe na koncentraciju Cd u zrnu pšenice

5. Sorte pšenice se razlikuju značajno po učinkovitosti akumulacije apliciranog Zn , ali se ne razlikuju po akumulaciji Cd u zrnu.

6. Agrofortifikacija pšenice cinkom rezultira povećanim unosom cinka u prehrambeni lanac.

7. Literatura

1. Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960.): Untersuchung über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nahrstoffzustandes der Boden II. Chemische Extractionsmetoden zu Phosphor- und Kaliumbestimmung. K. Lantbr. Hogsk. Annlr. W.R. 26: 199 – 215.
2. Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske (2010.): Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2010. Zagreb.
3. International Organization for Standardization (1994.): Soil quality – Determination of pH. ISO 10390:1994.
4. International Organization for Standardization (1995.a): Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. ISO 10693:1995.
5. International Organization for Standardization (1995.b): Soil quality – Extraxtion of trace elements soluble in aqua regia. ISO 11466:1995.
6. International Organization for Standardization (1998.): Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. 14235:1998.
7. Lončarić, Z., Kadar, I. (2013.): Elementi u tragovima i teški metali u antroposferi. Interna skripta. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
8. Lončarić, Z., Kádár, I., Jurković, Z., Kovačević, V., Popović, B., Karalić, K. (2012.): Teški metali od polja do stola. Zbornik radova. 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Opatija, 14-23.
9. 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.
10. Lončarić, Z., Popović, B., Karalić, K., Rékási, M., Kovačević, V. (2010): Regression model for prediction availability of essential heavy metals in soils. In: Gilkes, RJ., 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.

11. 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.
12. Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja RH (2010.): Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Narodne novine 32, 2010.
13. Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva RH (2001.): Pravilnik o ekološkoj proizvodnji u uzgoju bilja i u proizvodnji biljnih proizvoda. Narodne novine 91, 2001.
14. Romić, M., Romić, D. (2003.): Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. Environmental Geology, 43: 795-805.
15. Trierweiler, F.J., Lindsay, W.L. (1969.): EDTA-ammonium carbonate test for Zn. Soil Sci Soc Amer Proc 33, 49-54.
16. Vukadinović, V., Bertić, B. (1989.): Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
17. Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1998.): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
18. Azevedo, R. A., Grata, P. L., Monteiro. C. C., Carvalho, R. F. (2012.): What is new in the research on cadmium-induced stress in plants? Food and Energy Security, 1(2): 133-140
19. Hart, J. J., Welch, R. M., Norvell, W. A., Clarke, J. M., Kochian, L. V. (2005.): Zinc effects on cadmium accumulation and partitioning in near-isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium concetration. New phytologist, 167: 391-401
20. Stacey, S. P., Oosterhuis, D. M. (2007): Effect of EDTA on the Foliar Absorption of Trace Element Fertilizers. Wayne E. Sabbe Arkansas Soil Fertility Studies.
21. Stefanović, V. Ž., Filipović, N. K., Jovanović B. M. (2008): Undesirable metals content in wheat of different wheat varieties. APTEFF, 39, 1-212.
22. Kőleli, N., Eker, S., Cakmak, I. (2004): Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. Environmental Pollution 131: 453-459
23. Archambault, D. J., Marentes, E., Buckley, W., Clarke, J., Taylor G. (2001): A rapid, seedling-based bioassay for identifying low cadmium-accumulating individuals of Durum wheat (*Triticum turgidum* L.). Euphytica 117: 175-182

24. Li, Y., Chaney, R. L., Schneiter, A. A., Miller, J. F., Elias, M., Hammond, J. J. (1997): Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. Euphytica 94: 23-30
25. Greger, M., Lőfstedt, M. (2004): Crop ecology, management & quality. Crop Sci. 44: 501-507
26. Cakmak, I. (2010): Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy. 19th World Congress of Soil Solutions for a Changing World.
27. Turecki, T., Cibulka, J., Slamova, A., Barcalikova, R. (1997): Effect of organic and inorganic forms of dietary cadmium on cadmium, zinc, copper, iron and manganese availability to rats. J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr. 78: 119-128
28. Škrbić, B., Čupić, S. (2005): Toxic and essential elements in soft wheat grain cultivated in Serbia. Eur Food Res Technol 221: 361-366
29. Zhao, Z.Q., Zhu, Y.G., Li, H.Y., Smith, S.E., Smith, A. (2003): Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum*, L.). Environment international 29: 973-978
30. Järup, L., Åkesson, A. (2009): Current status of cadmium as an environmental health problem. Toxicology and Applied Pharmacology 238: 201-208
31. Herren, T., Feller, U. (1997): Transport of Cadmium via Xylem and Phloem in Maturing wheat Shoots: Comparison with the Translocation of Zinc, Strontium and Rubidium. Annals of Botany 80: 623-628
32. Mench, M., Baize, D., Mocquot, B. (1996): Cadmium availability to wheat in five soil series from the Yonne District, Burgundy, France. Environmental pollution, vol. 95, No. 1 : 93-103
33. Zeidan, M. S., Mohamed M. F., Hamouda, H. A. (2010): Effect of Foliar Fertilization of Fe, Mn and Zn on Wheat Yield and Quality in Low Sandy Soils Fertility. World Journal of Agricultural Sciences 6: 696-699
34. Manojlović, M., Singh, B.R. (2012): Trace elements in soils and food chains of the Balkan region. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science, 62:8, 673-695
35. Teklić, T., Lončarić, Z., Kovačević, V., Singh, B.R. (2013): Metallic trace elements in cereal grain – a review: how much metal do we eat? Food and Energy Security, doi: 10.1002/fes 3.24

36. Romić, M., Romić, D. (1998): Contents of metals Pb, Cd, Zn and Cu in Agricultural Soils of Zagreb and Its Surroundings. Agriculturae conspectus scientificus, Vol. 63, No. 3: 147-154
37. Zhu, Y. G., Zhao, Z. Q., Li, H. Y., Smith, S. E., Smith, F. A. (2003): Effect of Zinc-Cadmium Interactions on the Uptake of Zinc and Cadmium by Winter Wheat (Triticum aestivum) Grown in Pot Culture. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 71: 1289-1296

8. Sažetak

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi mogućnost agrofortifikacijskog povećanja koncentracije cinka u zrnu različitih sorata pšenice ispitujući učinkovitost folijarne aplikacije različitih oblika Zn, te utvrditi utječu li tretmani cinkom na smanjenje koncentracije kadmija u nadzemnim organima pšenice. 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 gnojidbu je korišteno gnojivo cinkov sulfat ($ZnSO_4$) i cink u EDTA otopini (Zn – EDTA). Oba gnojiva su dodana folijarno uz dodatak adheziva (0,1 % Herbovit v/v) za folijarne aplikacije. Gnojiva su primijenjena po tretmanima: 1. Kontrola - bez aplikacije cinka, 2. Folijarna aplikacija $ZnSO_4$, 3. Folijarna aplikacija Zn–EDTA. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice nije zabilježen, međutim kod svih tretmana utvrđeno je značajno povećanje koncentracije cinka u zrnu. Koncentracije su povećane s prosječnih 19,59 mg kg^{-1} u kontroli na 41,36 mg kg^{-1} pri folijarnoj aplikaciji $ZnSO_4$, te na 27,82 mg kg^{-1} pri folijarnoj aplikaciji Zn – EDTA. Iz dobivenih rezultata proizlazi da je znatno veća koncentracija Zn u zrnu utvrđena pri tretmanu sa $ZnSO_4$ u odnosu na Zn-EDTA. Iznošenje cinka prinosom zrna pšenice također je pod značajnim utjecajem oblika apliciranog cinka i kretalo se od 144,07 g ha^{-1} bez aplikacije cinka do 268,86 g ha^{-1} sa aplikacijom $ZnSO_4$. Utvrđena je znatno manja koncentracija Cd u nadzemnim organima pšenice pri tretmanu sa Zn-EDTA u odnosu na tretmane bez cinka i tretmane sa $ZnSO_4$. Koncentracije kadmija su smanjene sa prosječnih 0,055 mg kg-1 pri kontroli na 0,016 mg kg-1 pri tretmanu sa Zn-EDTA. Iznošenje kadmija prinosom zrna pšenice također je pod značajnim utjecajem oblika apliciranog cinka i kretalo se od 0,446 g ha^{-1} bez aplikacije cinka do 0,122 g ha^{-1} sa aplikacijom Zn-EDTA.

Ključne riječi: agrofortifikacija, pšenica, cink, kadmij

9. Summary

The aim of this study was to determine the impact of the agronomic fortification of wheat with Zn on Zn content of different wheat varieties by examining the effectiveness of foliar application of different forms of Zn, and to determine whether the treatments with zinc impacts on reduction of cadmium in aboveground organs of wheat. 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. Zinc sulphate ($ZnSO_4$) and zinc in EDTA solution (Zn-EDTA) were used as fertilizers, with addition of adhesive (0,1 % Herbovit v/v) for foliar applications. Fertilizers were applied by treatments as follows: 1. control - without Zn application, 2. foliar application of $ZnSO_4$, 3. foliar application of Zn-EDTA. The influence of treatments on yield components and agronomic properties was not found, but Zn concentration enhancement in grain was found in all treatments. Concentrations increased from 19,59 mg kg^{-1} in control to 41,36 mg kg^{-1} at foliar application of $ZnSO_4$, and on 27,82 mg kg^{-1} at foliar application of Zn-EDTA. From these results it can be seen that considerably higher concentration of Zn in the grain was found in the treatment with $ZnSO_4$ compared to Zn-EDTA. The removal of zinc by grain yield of wheat was also significantly influenced by the form of the applied zinc and ranged from 144.07 g ha^{-1} without the application of zinc to 268.86 g ha^{-1} with the application of $ZnSO_4$. There was a significantly lower concentration of Cd in above-ground organs of wheat after the treatments with Zn-EDTA compared with treatments without zinc and treatment with $ZnSO_4$. Cadmium concentrations were reduced from an average 0,055 mg kg^{-1} in control at 0,016 mg kg^{-1} in the treatment with Zn-EDTA. The removal of cadmium by wheat yield was also significantly influenced by the form of the applied zinc and ranged from 0.446 g ha^{-1} without the application of zinc to 0,122 gha^{-1} with the application of Zn-EDTA.

Key words: agrofortification, wheat, zinc, cadmium

10. Popis tablica

Tablica 1. Agrokemijska svojstva tla

Tablica 2. Ukupne i raspoložive koncentracije teških metala u tlu (mg/kg)

Tablica 3. Utjecaj sorte na komponente prinosa i agronomska svojstva

Tablica 4. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva

Tablica 5. Koncentracije cinka (mg/kg) u zrnu i iznošenje cinka (g/ha) prinosom pšenice

Tablica 6. Koncentracije kadmija (mg/kg) u zrnu i iznošenje kadmija (g/ha) prinosom pšenice

11. Popis grafikona

Grafikon 1. Utjecaj sorte na broj vlati/m² (sklop pšenice)

Grafikon 2. Utjecaj sorte na visinu biljke (cm)

Grafikon 3. Utjecaj sorte na dužinu klasa (cm)

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

Grafikon 5. Utjecaj sorte na koncentraciju Zn (mg kg^{-1}) u zrnu pšenice

Grafikon 6. Utjecaj sorte na iznošenje Zn (g ha^{-1}) prinosom zrna pšenice

Grafikon 7. Utjecaj sorte na koncentraciju Cd (mg kg^{-1}) u zrnu pšenice

Grafikon 8. Utjecaj sorte na iznošenje Cd (g ha^{-1}) prinosom zrna pšenice

Grafikon 9. Utjecaj tretmana na broj vlati/m² (sklop pšenice)

Grafikon 10. Utjecaj tretmana na prinos zrna pšenice (t/ha)

Grafikon 11. Utjecaj tretmana na koncentraciju Zn (mg kg^{-1}) u zrnu pšenice

Grafikon 12. Utjecaj tretmana na iznošenje Zn (g ha^{-1}) prinosom zrna pšenice

Grafikon 13. Utjecaj tretmana na koncentraciju Cd (mg kg^{-1}) u zrnu pšenice

Grafikon 14. Utjecaj tretmana na iznošenje Cd (g ha^{-1}) prinosom zrna pšenice

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

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

Agrofortifikacija pšenice cinkom

Marina Jandrić

Sažetak

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi mogućnost agrofortifikacijskog povećanja koncentracije cinka u zrnu različitih sorata pšenice ispitujući učinkovitost folijarne aplikacije različitih oblika Zn, te utvrditi utječu li tretmani cinkom na smanjenje koncentracije kadmija u nadzemnim organima pšenice. 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 gnojidbu je korišten cinkov sulfat ($ZnSO_4$) i cink u EDTA otopini (Zn – EDTA). Oba gnojiva su dodana folijarno uz dodatak adheziva (0,1 % Herbovit v/v) za folijarne aplikacije. Gnojiva su primijenjena po tretmanima: 1. Kontrola - bez aplikacije cinka, 2. Folijarna aplikacija $ZnSO_4$, 3. Folijarna aplikacija Zn–EDTA. Utjecaj tretmana na komponente prinosa i agronomska svojstva pšenice nije zabilježen, međutim kod svih tretmana utvrđeno je značajno povećanje koncentracije cinka u zrnu. Koncentracije su povećane s prosječnih 19,59 mg kg^{-1} u kontroli na 41,36 mg kg^{-1} pri folijarnoj aplikaciji $ZnSO_4$, te na 27,82 mg kg^{-1} pri folijarnoj aplikaciji Zn – EDTA. Iz dobivenih rezultata proizlazi da je znatno veća koncentracija Zn u zrnu utvrđena pri tretmanu sa $ZnSO_4$ u odnosu na Zn-EDTA. Iznošenje cinka prinosom zrna pšenice kretalo se od 144,07 g ha^{-1} bez aplikacije cinka do 268,86 g ha^{-1} sa aplikacijom $ZnSO_4$. Utvrđena je znatno manja koncentracija Cd u nadzemnim organima pšenice pri tretmanu sa Zn-EDTA u odnosu na tretmane bez cinka i tretmane sa $ZnSO_4$. Koncentracije kadmija su smanjene sa prosječnih 0,055 mg kg-1 pri kontroli na 0,016 mg kg-1 pri tretmanu sa Zn-EDTA. Iznošenje kadmija prinosom zrna pšenice također je pod značajnim utjecajem oblika apliciranog cinka i kretalo se od 0,446 g ha^{-1} bez aplikacije cinka do 0,122 g ha^{-1} sa aplikacijom Zn-EDTA.

Rad je izrađen pri: Poljoprivredni fakultet u Osijeku
Mentor: prof. dr. sc. Zdenko Lončarić
Broj stranica: 51
Broj grafikona i slika: 14
Broj tablica: 6
Broj literaturnih navoda: 37
Broj priloga: 0
Jezik izvornika: hrvatski
Ključne riječi: agrofortifikacija, pšenica, cink, kadmij
Datum obrane: 30.09.2014.
Stručno povjerenstvo za obranu:
1. doc. dr. sc. Krunoslav Karalić, 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 **Graduate thesis**
Faculty of Agriculture in Osijek
University Graduate Studies, Organic agriculture

Wheat Agrofortification with Zinc

Marina Jandrić

Abstract:

The aim of this study was to determine the impact of the agronomic fortification of wheat with Zn on Zn content of different wheat varieties by examining the effectiveness of foliar application of different forms of Zn, and to determine whether the treatments with zinc impacts on reduction of cadmium in aboveground organs of wheat. 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. Zinc sulphate ($ZnSO_4$) and zinc in EDTA solution (Zn-EDTA) were used as fertilizers, with addition of adhesive (0,1 % Herbovit v/v) for foliar applications. Fertilizers were applied by treatments as follows: 1. control - without Zn application, 2. foliar application of $ZnSO_4$, 3. foliar application of Zn-EDTA. The influence of treatments on yield components and agronomic properties was not found, but Zn concentration enhancement in grain was found in all treatments. Concentrations increased from 19,59 mg kg^{-1} in control to 41,36 mg kg^{-1} at foliar application of $ZnSO_4$, and on 27,82 mg kg^{-1} at foliar application of Zn-EDTA. From these results it can be seen that considerably higher concentration of Zn in the grain was found in the treatment with $ZnSO_4$ compared to Zn-EDTA. The removal of zinc by grain yield of wheat ranged from 144.07 g ha^{-1} without the application of zinc to 268.86 g ha^{-1} with the application of $ZnSO_4$. There was a significantly lower concentration of Cd in above-ground organs of wheat after the treatments with Zn-EDTA compared with treatments without zinc and treatment with $ZnSO_4$. Cadmium concentrations were reduced from an average 0,055 mg kg^{-1} in control at 0,016 mg kg^{-1} in the treatment with Zn-EDTA. The removal of cadmium by wheat yield was also significantly influenced by the form of the applied zinc and ranged from 0.446 g ha^{-1} without the application of zinc to 0,122 gha^{-1} with the application of Zn-EDTA.

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek
Mentor: prof. dr. sc. Zdenko Lončarić
Number of pages: 51
Number of figures: 14
Number of tables: 6
Number of references: 37
Number of appendices: 0
Original in: Croatian
Key words: agrofortification, wheat, zinc, cadmium
Thesis defended on date: 30.09.2014.
Reviewers:
1. doc. dr. sc. Krunoslav Karalić, 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