

UNIVERZITET U BEOGRADU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Dragana D. Ivanović

**UTICAJ PREDSETVENOG TRETMANA
SEMENA VODOM I CINKOM NA PRINOS
PŠENICE I BIOFORTIFIKACIJA ZRNA
FOLIJARNOM PRIMENOM CINKA**

doktorska disertacija

Beograd, 2021.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF AGRICULTURE

Dragana D. Ivanović

**EFFECT OF SEED PRIMING WITH WATER
AND ZINC ON WHEAT YIELD, AND GRAIN
BIOFORTIFICATION WITH ZINC FOLIAR
APPLICATION**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021.

Mentor:

dr Jasna Savić, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Članovi Komisije:

dr Vesna Kandić, naučni saradnik
Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd

dr Ljubiša Živanović, vanredni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Marija Knez, naučni saradnik
Institut za medicinska istraživanja,
Univerzitet u Beogradu

dr Ljubiša Kolarić, docent
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Datum odbrane: _____

Zahvalnica

Mentoru, prof. Jasni Savić se zahvaljujem što smo zajedničkim radom osmislile temu ove doktorske disertacije, kao i na korisnim savetima, pomoći u izradi rada u svim fazama izrade, kao i u pisanju disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem Institutu za kukuruz „Zemun polje“, članovima Grupe za strna žita, izuzetnim saradnicima dr Dejanu Dodigu i članu komisije dr Vesni Kandić, kao i Institutu PKB Agroekonomik, dr Petru Stojiću, prof. Nenadu Đurić i Vesni Trkulji, koji su mi omogućili izvođenje poljskih oglada i pružili punu tehničku i prijateljsku podršku tokom celokupnog trajanja naučnog istraživanja ove doktorske disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Nini Nikolić za pomoć u vezi statističke obrade podataka, kao i članovima komisije prof. Ljubiši Živanoviću i dr Mariji Knez što su uložili trud i vreme za ocenjivanje i pregled disertacije.

Zahvalna sam mojoj porodici koja mi je omogućila da se školujem, majci i sestrama koje su me uvek podržavale uz puno entuzijazma.

Želim da se zahvalim i kolegama Mariji Nikolić, Iliji Nikolić, Mijosavu Pantiću, Sandri Popović, Marini Stojanović, Mirjani Majdlen i Biljani Đurović, na razumevanju, trudu i angažovanju.

D.I.

Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom i cinkom na prinos pšenice i biofortifikacija zrna folijarnom primenom cinka

Sažetak

Ciljevi istraživanja ove doktorske disertacije su bili da se prouči uticaj predsetvenog tretmana semena vodom i cinkom na prinos zrna pet domaćih ozimih sorti hlebne pšenice (*Triticum aestivum* L.), takođe i uticaj jednokratne folijarne primene cinka na prinos i koncentraciju cinka i proteina u zrnu. Oba poljska ogleda su izvedena na dve lokacije (Zemun Polje i Padinska Skela), na svakoj u dve uzastopne proizvodne sezone. U predsetvenom tretmanu semena cinkom seme je potapano u 4 mM vodeni rastvor $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, a kontrola je bila netretirano seme. U drugom ogledu je 0,5% vodeni rastvor $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ primenjen folijarno na kraju cvetanja. Predsetveni tretman semena cinkom je na nivou celog ogleda značajno povećao suhu masu glavnog izdanka i ukupnu suhu masu svih izdanaka samo u odnosu na kontrolu, dok je uticaj tretmana sa vodom bio manje izražen; razlike između tretmana semena nisu bile značajne za sve sorte na obe lokacije. U proseku za ceo ogled, predsetveni tretman cinkom značajno je povećao prinos zrna u odnosu na kontrolu i tretman sa vodom, i to za 8% i 6%, po redu, pri čemu uticaj tretmana nije bio jednak i značajan po proizvodnim sezonama na obe lokacije i za sorte. Povećanje prinosa nije moglo sa sigurnošću da se dovede u vezu sa uticajem predsetvenog tretmana semena na merene komponente prinosa, i neophodna su dalja istraživanja u kojima će biti praćeno i prezimljavanje i bokorenje sorti pšenice u našem području. Jednokratna folijarna primena cinka na kraju cvetanja je značajno povećala koncentraciju cinka u zrnu svih sorti na obe lokacije, dok je uticaj ovog tretmana na koncentraciju proteina u zrnu bio manje izražen. Povećanje novoa cinka u zrnu je za sorte variralo od 15% do 49%. Rezultati su po prvi put pokazali da su domaće visoko prinodne sorte pšenice prilagođene na biofortifikaciju folijarnom primenom cinka, kojom može da se poboljša dijetarni unos cinka, i da visoki prinosi zrna ne ograničavaju potencijal za biofortifikaciju cinkom.

Ključne reči: predsetveni tretman semena, cink, voda, prinos zrna, biofortifikacija, folijarna primena cinka, pšenica

Naučna oblast: Biotehnologija

Uža naučna oblast: Ratarstvo, povrtarstvo, cvećarstvo, krmno i lekovito bilje

UDK: 631.53.027:633.11(043.3)

The effect of seed priming with water and zinc on wheat yield, and grain biofortification with zinc foliar application

Abstract

The aims of this dissertation were to study the effect of seed priming with water and zinc on grain yield of five local winter bread cultivars (*Triticum aestivum* L.), and to study the effect of zinc foliar application on grain yield and grain zinc and protein concentration. Both field trials were conducted on two experimental locations (Zemun Polje and Padinska Skela) over two growing seasons on each location. Seed priming comprised of following treatments: priming with water, priming with 4 mM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ water solution and control was untreated seeds. In the second experiment, 0.5% water solution $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ was applied as foliar spraying at the end of anthesis. Overall experiment, seed priming with zinc significantly increased dry weight of main tiller as well as total dry weight of all tillers over control, whilst the effect of water priming was less pronounced, and differences between priming treatments were not significant for all tested cultivars on both locations. Zinc seed priming significantly increased grain yield over control for 8% and for 6% over seed priming with water, but the effect were not significant in both cropping seasons on both locations. Yield increase could not be conclusively associated with positive effect of seed priming on measured yield components. Therefore, further research is needed to study the effect of zinc priming on overwintering and tillering of wheat under local agroecological conditions. Single zinc foliar application at the end of anthesis significantly increased grain zinc concentration of all cultivars on both locations in two cropping seasons. Grain zinc level increase for tested cultivars ranged from 15% to 49%. Results showed for the first time that grain of local high yielding winter wheat can be biofortified with zinc by zinc foliar application which can be recommended for increase of zinc dietary intake in the human population and help alleviate a low dietary zinc intake. High grain yields are not likely to limit the potential for zinc biofortification.

Key words: seed priming, zinc, water, grain yield, biofortification, foliar zinc application, wheat

Scientific field: Biotechnical sciences

Research area: Field crops, vegetable crops, floriculture, forage crops and medicinal herbs

UDK: 631.53.027:633.11(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA	3
3. PREGLED LITERATURE	4
3.1 Značaj cinka u ishrani biljaka.....	4
3.2 Primena cinka u proizvodnji žita	5
3.3 Razvoj biofortifikacije useva	7
3.4 Biofortifikacije pšenice cinkom	10
3.5 Predsetveni tretman semena	11
3.6 Predsetveni tretman semena vodom i cinkom	11
4. MATERIJAL I METODE	14
4.1 Opis lokacija	14
4.2 Klimatski podaci za period istraživanja	15
4.3 Poljski ogledi	16
4.3.1 Poljski ogled 1	16
4.3.1.1 Dizajn ogleda i tretmani	17
4.3.1.2 Agrotehničke mere	17
4.3.1.3 Uzorkovanje i merenje	17
4.3.2 Poljski ogled 2	18
4.3.2.1 Dizajn ogleda i tretmani	18
4.3.2.2 Agrotehničke mere	18
4.3.1.3 Uzorkovanje i merenje	18
4.4 Analitičke metode	18
4.5 Statistička analiza	18
5 REZULTATI	20
5.1 Ogled 1	20
5.1.1 Uticaj predsetvenog tretmana semena cinkom na koncentraciju cinka u semenu	20
5.1.2 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na suhu masu glavnih izdanaka i ukupnu suhu masu svih izdanaka	20
5.1.3 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na komponente prinosa	25
5.1.4 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na prinos zrna	29
5.2 Ogled 2	33
5.2.1 Uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na prinos zrna	33
5.2.2 Uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na koncentraciju cinka u zrnu pšenice	35
5.2.3 Uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na koncentraciju proteina u zrnu pšenice	40
6. DISKUSIJA	44
6.1 Uticaj predsetvenog tretmana semena cinkom na koncentraciju cinka u semenu	44
6.2 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte i na suhu masu glavnog izdanaka i ukupnu suhu masu svih izdanaka	44
6.3 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na komponente prinosa	45
6.4 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na prinos zrna pšenice	46
6.5 Uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na prinos zrna pšenice	48
6.6 Uticaj lokacije, sorte i folijarne primene cinka na koncentraciju cinka u zrnu pšenice ..	48
6.7 Uticaj lokacije, sorte i folijarne primene cinka na koncentraciju proteina u zrnu pšenice	51

7. ZAKLJUČCI	53
8. LITERATURA	54
Biografija autora	76

1. UVOD

Pšenica je vodeći usev u svetu prema površini od 216 miliona hektara na kojoj se gaji, a ukupna godišnja proizvodnja je oko 767 miliona tona (FAOSTAT, 2019). Oko 95% pšenice koja se gaji u svetu jeste hlebna (obična, meka) heksaploidna pšenica (*Triticum aestivum* L.), dok je ostatak uglavnom tetraploidna tvrda pšenica (*Triticum durum* Desf.) (Shewry, 2009). Jedan je od najrasprostranjenijih useva u svetu, gaji se od 67° s.g.š. u Rusiji i Skandinaviji do 45° j.g.š. u Argentini, uključujući i područja u tropskom i subtropskom pojasu. U poređenju sa drugim značajnim usevima, pšenica ima posebnu ulogu u obezbeđivanju potrebne energije i minerala u ishrani stanovnika država u razvoju. Tako u većini zemalja Centralne i zapadne Azije pšenica obezbeđuje u proseku približno 50% dnevnog unosa kalorija, dok taj udeo u ruralnim područjima dostiže 70% (Cakmak et al., 2004). Zrno pšenice se koristi i za ishranu životinja, proizvodnju kvalitetnih kozmetičkih preparata, dok su zrno i slama značajna sirovina za proizvodnju bio-goriva (Passoth and Sandgren, 2020; Gnansounou, 2010; Lantz et al., 2018; Đurišić-Mladenović i sar., 2016).

Pšenica se kao najrasprostranjeniji usev u svetu često gaji na zemljištima koja su deficitarna u mineralnim elementima neophodnim za njen optimalan rast. Skoro 50% područja na kojima se u svetu gaje žita, imaju zemljišta sa deficitom cinka (Zn) dostupnog biljkama (Graham and Welch 1996; Cakmak, 2002). Pored toga što nedostatak cinka može da dovede do smanjena prinosa useva, odražava se i na hranljivu vrednost jestivih delova biljaka, jer je koncentracija cinka u njima niska. Kada je reč o stanovništvu zemalja u razvoju, kod kog je ishrana bazirana na žitima, ovo predstavlja veliki problem jer su biljke glavni izvor esencijalnih minerala u ishrani stanovništva (Welch and Graham, 2004; Grotz and Guerinot, 2006), ali i u razvijenim državama je u nekim grupama stanovništva zabeležen potencijalni nedostatak cinka. Cilj poljoprivredne proizvodnje je da obezbedi dovoljno hrane za rastuću populaciju ljudi u svetu, koja će, kako se predviđa, 2050 godine biti oko 10 milijardi (Gomeiro, 2016), ali i da osigura da hrana ima odgovarajući nutritivni kvalitet. Stoga je biofortifikacija pšenice cinkom, odnosno povećanje koncentracije cinka u zrnu pšenice, takođe i drugim jestivim delovima glavnih useva postalo jedan od prioriteta u nauci i praksi u svetu, bez obzira na to kakav je status cinka u zemljištu.

Danas se u svetu poklanja dosta pažnje proučavanju metoda, čijom primenom uz mala ulaganja može da se poboljša proizvodnja najvažnijih useva. Jedna od njih je predsetveni tretman semena koji može da poboljša nicanje, sklop useva, samim tim i prinos, a kako najnovija istraživanja pokazuju i nivo tih elemenata u zrnu, odnosno može da se koristi i za biofortifikaciju. Dosadašnja istraživanja u svetu vođena uglavnom u područjima sa poluaridnom klimom, ukazala su da je tretiranje semena pre setve vodom i mikroelementima, uključujući i cink, jednostavna i efikasna metoda.

Kada je reč o Republici Srbiji, pšenica je najvažniji usev koji se koristi u ishrani ljudi i glavno je hlebno žito. Prema zvaničnim podacima za 2019. godinu, gaji se na oko 577 hiljada hektara, a prosečan prinos je 4,4 t/ha, (FAOSTAT, 2019), međutim u intenzivnoj proizvodnji se postižu znatno viši prinosi, pogotovo u Vojvodini. Potrošnja pšenice po glavi stanovnika godišnje je 111 kg (FAOSTAT, 2019) i značajan je izvor proteina i energije u ishrani ljudi. U naučnim istraživanjima do skora nije pridavano dovoljno značaja pšenici kao izvoru minerala i proučavanju primene mikroelemenata u proizvodnji pšenice, iako se u zemljištima u Vojvodini javlja nedostatak cinka dostupnog biljkama, takođe je ukazano da je nivo cinka, ali i gvožđa u zrnu pšenice gajene u Srbiji nizak (Nikolic et al., 2016). Nedavno je pokazano da 15–25% odraslih zdravih ispitanika ima nedovoljan dijetarni unos cinka, dok za unos i status cinka nisu zabeležene razlike između različitih socijalno-ekonomskih grupa (Knez et al., 2017). Prema podacima iz dostupne literature, do sada u

Srbiji nije proučavana mogućnost biofortifikacije domaćih sorti pšenice cinkom, takođe nisu izvođeni poljski ogledi sa ciljem da se prouči uticaj predsetvenog tretmana semena vodom i cinkom na prinos pšenice u našem području.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Osnovni ciljevi istraživanja ove doktorske disertacije su bili sledeći:

1) da se izvođenjem poljskih ogleda prouči uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili vodenim rastvorom sa cinkom na komponente prinosa i prinos zrna pet sorti ozime hlebne pšenice, gajenih na dve lokacije na kojima je u zemljištu bila različita koncentracija cinka koji je dostupan biljkama;

2) posebna pažnja je bila posvećena proučavanju efikasnosti jednokratne folijarne primene cinka na kraju faze cvetanja sa ciljem povećanja nivoa cinka u zrnu, kao i njen uticaj na prinos zrna i sadržaj proteina u zrnu, odnosno analiziranju prilagođenosti domaćih visoko prinosnih sorti ozime hlebne pšenice u našim agroekološkim uslovima na ovu meru, kojom se značajno može poboljšati njihova hranljiva vrednost;

3) da se utvrdi da li postoji razlika u koncentraciji cinka u zrnu između pet analiziranih sorti pšenice, kao i između dve ogledne lokacije, i da se prouči korelacija između nivoa cinka u zrnu i prinosa zrna, odnosno sadržaja proteina u zrnu.

U svrhu ostvarivanje postavljenih ciljeva izvedeni su dvogodišnji poljski ogledi.

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Značaj cinka u ishrani biljaka

Ulogu cinka u biološkim sistemima prvi je otkrio 1989. godine Raulin, uočivši da obična hlebna buđ nije rasla bez cinka (Zn) (Brown et al., 1993). Cink je mikroelement neophodan za rast i razviće viših biljaka i njegova esencijalnost je prvi put pokazana kod kukuruza (Mazé, 1915), dok je njegov nedostatak u poljskim uslovima prvi put uočen u voćnjacima u Kaliforniji (Chandler, 1937). Biljke usvajaju cink pretežno u obliku dvovalentnog katjona (Zn^{2+}), dok se pri visokoj pH verovatno usvaja i kao jednovalentni katjon ($ZnOH^+$) (Broadley et al., 2012). Cink je jedini metal prisutan u enzimima svih šest klasa enzima u živom svetu: oksidoreduktaze, transferaze, hidrolaze, liaze, izomeraze i ligaze (Sousa et al., 2009; Broadley et al., 2007). Sastavni je deo važnih proteina kao što su cink-finger proteina koji imaju uogu u nekoliko procesa na novou ćelika kroz različite molekularne mehanizme (Laity et al., 2001).

Cink ima nezamenjivu ulogu u nekoliko metaboličkih procesa u biljkama. Potreban je za aktivaciju velikog broja enzima kao što su RNA polimeraza, superoksid dismutaza i dr, zatim za sintezu proteina i metabolizam ugljenih hidrata, masti i nukleinskih kiselina (Cakmak 2000; Palmer and Guerinot 2009; Hafeez et al., 2013). Značajan je i za umnožavanje i diferencijaciju ćelija (Lin et al. 2005; Palmer and Guerinot 2009), kao i za razvoj i funkciju hloroplasta i sintezu hlorofila (Hansch and Mendel, 2009). Pored toga, ima ulogu u sintezi indolsirćetne kiseline (Cakmak et al., 1989). Cink je potreban i za održavanje integriteta i stabilnosti biomembrana. U uslovima nedostatka cinka dolazi na primer do tipičnog povećanja propustljivosti ćelijske membrane u korenu (Welch et al., 1982), što dovodi po povećanja eksudacije K^+ , šećera, amino kiselina i fenola, samim tim i do privlačenja patogena (Cakmak and Marschner, 1988). Primena cinka je ublažila uticaj stresa suše na biljke pšenice kroz povećanje fotosintetskih pigmenata i smanjenje lipidne peroksidacije (Ma et al., 2017). Pandey et al. (2006) su pokazali da je cink potreban za vitalnost polena i oplodnju.

Velika pažnja se poklanja i proučavanju uloge cinka u tolerantnosti na biotski i abiotski stres. Biljke koje rastu u uslovima nedostatka cinka podložnije su bolestima (Marschner, 1995; Helfenstein et al., 2015). Prikaz dosadašnjih istraživanja koja karakterišu strategije povezane sa cinkom koje biljke koriste kao odgovor na infekcije patogena i protiv štetočina, dat je u preglednom radu autora Cabot et al. (2019).

Tipični simptomi nedostatka cinka kod dikotiledonih biljaka su zakržljao rast usled skraćanja internodija i drastično smanjenje veličine lista, što je verovatno povezano sa poremećajem u sintezi aukasina, posebno indolsirćetne kiseline (Broadley et al., 2012). Na pšenici, simptomi su smanjeno izduživanje nadzemnog dela i pojava beličasto-braoon nekrotičnih delova na srednje starim listovima, dok mladi listovi zadržavaju žućkastozelenu boju, bez pojave nekroza (Cakmak et al., 1996).

Visoke koncentracije cinka kojima su izložene biljke, mogu da dovedu do pojave toksičnosti. Ova pojava se retko uočava u poljoprivrednoj proizvodnji i mahom se javlja na zemljištu u blizini rudnika i postrojenja za topljenje ruda, ili ako se tretira materijalima bogatim cinkom, kao što je kanalizacioni mulj, svinjski i živinski stajnjak koji potiče od životinja u čiju je hranu dodat zink ili otpadnim vodama iz industrije (Alloway, 2008).

3.2 Primena cinka u proizvodnji žita

Na dostupnost cinka biljkama utiče više faktora, a najvažniji su ukupan sadržaj cinka u zemljištu, pH, sadržaj kalcijum-karbonata, voda u zemljištu, odnosno klima (Alloway, 2008; Lindsay, 1972). Nizak nivo cinka dostupnog biljkama i njegov nedostatak u biljkama je problem koji se javlja širom sveta, zabeležen je u mnogim državama i još pre četrdeset godina (Sillanpää, 1982). Prema studiji koju je na svetskom nivou sproveo Sillanpää (1990), 49% uzoraka važnih poljoprivrednih zemljišta sakupljenih u 25 država bilo je deficitarno u cinku, a ista je procena i za zemljišta u proizvodnim područjima žita u svetu (Graham and Welch, 1996; Cakmak, 2002), kao i za obradivo zemljište u Indiji i Turskoj (Cakmak, 2009; Eyüpoglu et al., 1994). Takođe, na 40% zemljišta u Kini zabeležen je nedostatak cinka (Wang et al., 1998), pogotovo na karbonatnim zemljištima na severu Kine (Liu, 1996). Fageria et al. (2002) su naveli da usled površinske erozije zemljišta, kalcizacije kiselih zemljišta, smanjene upotrebe stajnjaka u odnosu na mineralna đubriva i upotrebe marginalnih zemljišta za proizvodnju useva dolazi do opadanja koncentracije mikroelemenata u poljoprivrednim zemljištima širom sveta. Rađene su brojne procene kritične koncentracije za nedostatak cinka dostupnog biljkama u zemljištu (ektstrakcija sa DTPA), a Alloway (2009) je naveo da je ona u rasponu od 0,5 do 1,5 mg/kg. Suša, a naročito nedostatak vode u fazi razvoja ploda kao i neravnomeran raspored padavina dovode do pojave nedostatka cinka kod pšenice, npr. u Australiji (Graham et al., 1992), Turskoj (Ekiz et al., 1998; Bagci et al. (2007), a slične rezultate su za neke od Azijskih zemalja dobili Karim and Rahman (2015).

Problem nedostatka cinka u gajenju ratarskih useva se prevazilazi primenom cinka u obliku đubriva unošenjem u zemljište i folijarno, ili se dodaje biljkama predsetvenim tretmanom semena (prajming semena) (Johnson et al., 2005; Singh, 2007). Primena cinkovih đubriva u zemljište je opšteprihvaćen pristup kojim se rešava ili ublažava nedostatak cinka u usevima (Rengel et al., 1999), pri čemu istovremeno može da se poveća koncentracija cinka u zrnu pšenice (Yilmaz et al., 1997). Đubrenje cinkom preko zemljišta može da ima jak produženi efekat (Liu et al., 2004). Sa druge strane, u nekim zemljištima cink može da bude imobilizovan i zbog toga biljke ne mogu da ga usvoje (Rengel, 2015). Efikasnost njihove primene zavisi od osobina zemljišta kao što su pH, sadržaj CaCO_3 i organske materije (Noulas et al., 2018), što potvrđuje studija koju su izveli Wang et al. (2015), u kojoj su ukazali da dodavanje 1500 kg/h $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ u zemljište nije značajno uticalo na prinos zrna pšenice. Biljke usvoje mali deo cinka iz đubriva, te je stopa njegovog povraćaja niska, u rasponu od <1% do 5%, u zavisnosti od količine i vrste đubriva (Rico et al. 1996; Zhao et al. 2011). Neki autori navode da cinkova đubriva imaju rezidualni efekat i do 10 godina, i da nije potrebno svake godine vršiti njihovu primenu jer biljke usvajaju malu količinu cinka (Shivay et al., 2008). Drugi autori navode rezultate da se ponovljeno đubrenje tokom više uzastopnih godina odražava na linearno povećanje koncentracije Zn u svim njegovim formama u zemljištu i time dostupnost biljkama u ishrani (Liu et al., 2017a).

Takođe, Alloway (2009) i Rengel et al. (1999) su naveli da je efikasnost iskorišćavanja cinka niska zbog njegovog vezivanja u oblike nedostupnim biljkama i ograničene pokretljivosti kada je dodat u obliku cink-sulfata (ZnSO_4), a Holloway et al. (2010) su ukazali da može da je ograničava i raspored korena u zemljišnom profilu. Povećanjem količine đubriva sa cinkom može da se obezbedi više cinka dostupnog biljkama, mada ova mera može da bude neekonomična (Zhao et al., 2011). Kada se mikroelementi unose u zemljište, vrlo je teško da se ravnomerno rasporede (Ryan et al., 2013).

Problem nedostatka cinka u zemljištu i usevima, i njegov uticaj na prinos i kvalitet glavnih poljoprivrednih proizvoda, na prvom mestu žita, intenzivno je proučavan tokom prethodne tri decenije, uporedo sa rastućim problemom nedostatka cinka kod ljudi. Istraživač Ismail Čakmak iz

Turske je posvetio veliku pažnju ovim istraživanjima koje je izvodio najpre u Turskoj, jer je nedostatak cinka u zemljištu predstavljao veliki problem kako u biljnoj proizvodnji, tako i u ishrani ljudi (Cakmak et al., 1999; Kalayci et al., 1999), a zatim su istraživanja intezivirana širom sveta. Međutim, novija istraživanja su sve više usmerena ka povećanju koncentracije cinka u znu žita, bez obzira na obezbeđenost zemljišta cinkom.

U istraživanjima koje su u centralnoj Anadoliji izveli Cakmak et al. (1996), primenom cinka preko zemljišta postignuto je povećanje prinosa zrna pšenice od 5 do 554%, u zavisnosti od lokacije i koncentracije cinka u zemljištu koji je dostupan biljkama. Ogromno povećanje prinosa zrna pšenice pobudilo je veliko interesovanje za NPK mineralnim đubrivima sa cinkom, i njihova proizvodnja je godinama posle toga progresivno rasla (Cakmak et al., 1999). Međutim, đubrenje cinkom je uz povećanje prinosa dovelo i do povećanja nivoa cinka u znu, što je predstavljeno u delu ovog poglavlja koje se odnosi na biofortifikaciju pšenice cinkom. Khan et al. (2008) su primenom različitih količina cink-sulfata u karbonatno zemljište, od 5 do 30 kg/ha, dobili povećanje mase 1000 zrna i prinosa zrna pšenice.

Yilmaz et al. (1997) su proučavali uticaj različitih metoda primene cinka na prinos obične i tvrde pšenice gajene na zemljištu sa jakim nedostatkom cinka. U tretmanima sa đubrenjem preko zemljišta, u kombinaciji preko zemljišta i folijarno, i u kombinaciji folijarne primene i tretiranjem semena pre setve prinos je povećan u poređenju sa kontrolom za oko 260%, dok je folijarnom primenom povećan za 204%. Sa druge strane, Fageria et al. (2009) su istakli da folijarno đubrenje useva može da ima malu efikasnost, što može da zavisi i od različitog odgovora sorti na različite forme primenjenog cinka, što je pokazano za ječam (Moshfeghi et al., 2019).

Kada je reč o drugim važnim ratarskim usevima kao što je npr. kukuruz, istraživanja autora Abunyewa and Mercie-Quarshie (2004), Potarzycki (2010), Liu et al. (2017a) su pokazala da značajno povećanje prinosa zrna kukuruza primenom cinka u zemljišta deficitarna u ovom mikroelementu. Značaj đubrenja cinkom za rani rast biljaka kukuruza pokazali su Liu et al. (2016) kroz povećanje stope fotosinteze u fazi razvoja listova.

Osim na prinos, status minerala u biljci može da utiče i na kvalitet zrna pšenice (Naeem et al., 2012), kao što je pokazano da ishrana N, S, Cu i Zn može da utiče na komponente proteina brašna, naročito glutetnina (Zhao et al., 1999; Peck et al., 2008). Li et al. (2011) su istakli da cink ima značajnu ulogu u formiranju proteina i za proces asimilacije azota u znu ozime pšenice. Cink može takođe utiče i na kvalitet brašna tako što dovodi do promene odnosa glijadina i glutenina, ali specifični mehanizmi preko kojih cink deluje nisu još razjašnjeni (Peck et al., 2008). Starks and Johnson (1985) su pokazali da se najveći deo cinka primenjenog u obliku đubriva nalazi u proteinima brašna, naročito u gluteninu. Pokazano je da aktivnost enzima nitrat-reduktaza i glutamin-sinetetaza utiče na sadržaj ukupnih proteina u pšeničnom brašnu (Zhao et al., 2013), i da ona može biti povećana u listu zastavičaru kada se pšenica đubri cinkom (Crawford, 1995). U istraživanjima koje su Liu et al. (2015) izveli u kontrlistanim uslovima, primena cinka dovela je do povećanja sadržaja proteina u znu tri sorte pšenice i to za 13,63%, 3,71% i 7,47%, kao i do promene sastava proteina brašna.

3.3 Razvoj biofortifikacije useva

Prema izveštaju Svetske zdravstvene organizacije (*World Health Organization – WHO*) sa početka ovog veka, u kome su definisani faktori rizika pojave oboljenja kod ljudi, nedostatak cinka

se nalazi na jedanaestom mestu među dvadeset najvažnijih u svetu, i na petom mestu u državama u razvoju, a slede ga nedostatak gvožđa i vitamina A (WHO, 2002). Nedostatak mikroelemenata kod ljudi obično se naziva i “skrivena glad” (“hidden hunger”), i najviše pogađa stanovništvo nerazvijenih država (Allen et al., 2006; Bouis, 2020). Nedostatak cinka kod ljudi je dokumentovan velikim brojem naučnih radova. Hotz and Brown (2004) su u sveobuhvatnoj studiji pokazali da nedostatak cinka pogađa, u proseku, jednu trećinu svetskog stanovništva, a u zavisnosti od države, 4-73% stanovnika. Na primer, studija u Kini je pokazala da oko 50% stanovnika ima supklinički nedostatak cinka (Yang et al., 2007). Najviše su ugrožene trudnice i deca uzrasta do pet godina, jer ona imaju velike potrebe za cinkom koji je neophodan za rast i razviće, te nedostatak cinka ima ozbiljne posledice po njihovo zdravlje, uključujući otežan fizički rast, narušen imunitet i reproduktivne funkcije, a pretpostavlja se i razvoj nervnog sistema (Gibson, 2006; Gibson, 2012; Prasad 2013). Black et al. (2008) su naveli da je 2004. godine u svetu umrlo oko pola miliona dece mlađe od pet godina, zbog komplikacija koje su u vezi sa nedostatkom cinka, što Krebs et al. (2014) takođe ističu. Velika smrtnost dece predškolskog uzrasta u siromašnim državama se pripisuje nedostatku cinka zbog oslabljenog imunološkog sistema (Black et al., 2013).

Geografski posmatrano, nedostatak cinka kod ljudi podudara se sa područjima koja imaju zemljišta sa niskom koncentracijom cinka, najviše u zemljama u razvoju u kojima je ishrana ljudi bazirana na žitima (Welch 1993; Bouis et al., 2011; Hotz and Brown, 2004). Sadžaj i biološka dostupnost mikroelemenata u zrnu ratarskih useva su znatno niži u poređenju sa hranom animalnog porekla (Waters and Sankaran, 2011) ali je ona nedostupna siromašnim ljudim. Nedavno sprovedena studija na nacionalnom nivou u Pakistanu, pokazala je da je kod 22,1% žena u reproduktivnom uzrastu i 18,6% dece mlađe od pet godina zabeležen nedostatak cinka (UNICEF, National Nutrition Survey, 2018.) Nedavno su Rehman et al. (2020) u preglednom radu predstavili dosadašnje rezultate uspešne agronomske i genetičke biofortifikacije u Pakistanu, kao i doskusiju o ekonomičnosti i isplativosti agronomske biofortifikacije. Na mogućnost pojave deficita cinka u određenim grupama stanovništva i u razvijenim državama, kao što su Australija i Engleska ukazali su Gibson and Heath (2011) i Roberts et al. (2018). Kada je reč o Republici Srbiji, pored pomenute studije autora Knez et al. (2017), dostupni su još rezultati Gurinović i sar. (2011) koji pokazuju da je unos cinka bio niži od preporučenog u proseku za 50% ispitanika devojčica i dečaka uzrasta 15 godina. Black et al. (2008) su naveli da je na širem području Evrope uključujući i Srbiju, rizik od nedostatka cinka kod dece srednji. Nedavna studija je pokazala da je u Vojvodini, u opštoj populaciji odraslih ispitanika serumska koncentracija cinka bila niža od referentnih kod 2,3% muškaraca i 3,8% žena (Todorović et al., 2019), međutim, najnoviji dostupni rezultati ukazuju na moguć nedostatak cinka u populaciji u Srbiji, jer je u serumu ispitanika izmerena dva puta niža količina cinka u poređenju sa drugim populacijama, a slični rezultati su dobijeni i za uzorke krvi, pri čemu su značajno veće količine bile kod muškaraca u odnosu na žene (Jagodić et al., 2021).

Da bi se prevazišao problem smanjenog unosa minerala ishranom, koriste se dodaci u ishrani (suplementi), fortifikuje se hrana, a najbolji način je raznovrsna ishrana, što se odnosi i na cink (Stein, 2010). Međutim, Graham (2001) je istakao da je primena ovih mera često ograničena ekonomskim i drugim faktorima, dok su Combs et al. (1996) i Welch et al. (1997) istovremeno ukazali da bi sistemi poljoprivredne proizvodnje trebalo da obezbede hranu sa višim nivoom mikroelemenata, čime bi se rešio problem njihovog nedostatka kod ljudi.

Takođe, istraživanja su pokazala da je u razvijenim zemljama vremenom došlo do opadanja koncentracije pojedinih minerala u poljoprivrednim proizvodima. Ekholm et al. (2007) su istakli da je koncentracija cinka i bakra u suvoj masi proizvoda od žita, u voću i povrću gajenih u Finskoj opala tokom posmatranog vremenskog perioda od 25 godina. Slična su zapažanja kada je reč o koncentraciji nekih minerala u povrću u Engleskoj i SAD za višedecenijski period (Davis et al., 2004; Davis, 2009; White and Broadley, 2005). Pošto su se pomenute promene javile u državama sa

sličnom poljoprivrednom praksom, White and Broadley (2005) su kao moguć razlog nastanka promena naveli uvođenje modernih sorti i/ili agrotehničkih mera. Najbolja potvrda za ovu pojavu je opadanje koncentracije minerala u zrnu hlebne pšenice u eksperimentu u Rotamstedu, Ujedinjeno Kraljevstvo, započetom 1843. godine. Naime, Fan et al. (2008) su na osnovu analize zapisa o koncentraciji minerala u zrnu i uzorcima zemljišta zaključili da su vrednosti za Zn, Fe, Cu and Mg bili stabilni od 1845. godine do šezdesetih godina prošlog veka, ali su od tada naglo opali, što se podudarilo sa uvođenjem polupatuljastih prinosa sort pšenice u proizvodnju. Sa druge strane, koncentracije ovih elemenata u zemljištu su se povećale ili ostale stabilne. Slični trendovi su uočeni za različite tretmane – bez đubrenja, sa đubrenjem mineralnim đubrivima ili stajnjakom. Analiza multiple regresije je pokazala da su povećanje prinosa i žetveni indeks bili u vrlo značajnoj vezi sa trendom opadanja nivoa minerala u zrnu. Tilman et al. (2002) i Mueller et al. (2012) su sa razlogom istakli da je tokom Zelene revolucije manje pažnje poklanjano primeni cinka u odnosu na azot, promenu fosfora ili navodnjavanje.

Stoga je predloženo dodatno rešenje za problem neadekvatne ishrane ljudi, odnosno nedostatka minerala i vitamina – biofortifikacija (Graham, 2001; Bouis, 2003). Biofortifikacija se definiše kao proces kojim se poboljšava nutritivni kvalitet hrane, odnosno jestivog dela gajenih biljaka, kroz primenu agronomskih mera, konvencionalno oplemenjivanje ili modernu tehnologiju (Svetska zdravstvena organizacija – *World Health Organization* – www.who.int; White and Broadley, 2005). Razlikuje se od konvencionalne fortifikacije po tome što je cilj povećanje sadržaja minerala i vitamina u usevima u toku rasta biljaka, a ne dodavanjem tokom prerade poljoprivrednih proizvoda. Ovaj proces podrazumeva dva pristupa, i to agronomsku i genetičku biofortifikaciju useva (Graham et al., 1999, 2001, 2007; White and Broadley, 2005, 2009; Cakmak, 2008; Khoshgoftarmanesh et al., 2009; Bouis and Welch, 2010; Martínez-Ballesta et al., 2010; Cakmak and Kutman, 2018; Bouis et al., 2003).

Agronomska biofortifikacija se postiže primenom odgovarajućih đubriva, dok genetička biofortifikacija podrazumeva konvencionalne i molekularne metode kojima se stvaraju genotipovi koji imaju osobinu da intenzivno usvajaju minerale i akumuliraju ih u jestivim delovima useva. Drugi naveden pristup se zasniva na proučavanju razlika između genotipova u okviru gajene vrste (Rengel, 2001; Hacısalihoglu and Kochian, 2003; Alloway, 2008). Neki autori smatraju da je agronomska biofortifikacija kratkotrajno rešenje za povećanje mikroelemenata u jestivim delovima useva i da treba se dopunjuje sa genetičkom biofortifikacijom, pristupom koji je više održiv (Bouis et al., 2003; Garcia-Banuelos et al., 2014; Velu et al., 2014). Cakmak (2010) je takođe istakao da je oplemenjivanje važno za poboljšanje hranljive vrednosti glavnih useva u državama u razvoju gde đubriva nisu dostupna ili siromašni farmeri mogu da ih priušte. Značaj ovog pristupa je prikazan kroz istraživanja o genetički biofortifikovanim usevima, na primer u slučaju povećanja statusa gvožđa kod žena u Filipinima koje su konzumirale pirinač biofortifikovan gvožđem (Haas et al., 2005), zatim u ishrani žena u Ruandi pasuljem biofortifikovanim gvožđem (Haas et al., 2016) i u značaju ishrane dece školskog uzrasta u Indiji prosom biofortifikovanim gvožđem (Finkelstein et al., 2015).

Do sada je uloženi veliki trud širom sveta u cilju biofortifikacije najvažnijih useva cinkom, gvožđem i vitaminom A, u velikoj meri kroz sprovođenje međunarodnog programa HarvestPlus (www.harvestplus.org), a posebno biofortifikacije žita cinkom, kroz njegov potprojekat (www.harvestzinc.org). Ovi rezultati su prikazani u radu autora Bouis and Saltzman (2017). Bouis and Welch (2010) su istakli da je usev uspešno biofortifikovan ako je visok prinos, što ga čini prihvatljivim za poljoprivredne proizvođače i potrošače, a Zhao and McGrath (2009) da je biofortifikacija najverovatnije najekonomičniji i najodrživiji način da se reši problem nedostatka mikroelemenata kod ljudi.

3.4 Biofortifikacija pšenice cinkom

Savremene sorte pšenice sa velikim potencijalom rodnosti koje se gaje u svetu nisu bogat izvor cinka, prvenstveno zbog niske koncentracije u zrnu, dok se njegova biološka dostupnost dalje smanjuje zbog visokog sadržaja fitinske kiseline i vlakana (Welch and Graham, 2004). Zhao et al. (2009) su na osnovu 175 analiziranih uzoraka hlebne pšenice utvrdili da postoji negativna korelacija između koncentracije cinka i prinosa pšenice. U proizvodnim područjima pšenice u svetu koncentracija cinka u njenom zrnu je između 20 i 35 mg/kg (Cakmak and Kutman 2018), u proseku 28–40 mg/kg (Rengel et al., 1999; Graham et al., 2007; Fardet et al., 2008; Cakmak et al., 2010a). Slične koncentracije cinka od 15–40 mg/kg su zabeležili Oury et al. (2006) u zrnu 243 genotipa hlebne pšenice gajene na poljoprivrednim zemljištima. Zhao et al. (2009) su radeći skrining 150 genotipova hlebne pšenice u pet država, na zemljištu dovoljno obezbeđenom cinkom, dobili medijanu za koncentracije cinka od 20,8 mg/kg. Međutim, nivo cinka u zrnu pšenice može biti znatno niža kada se ona gaji na karbonatnom zemljištu deficitarnom u cinku (Erdal et al., 2002). Na primer, u Turskoj, Kalayci et al. (1999) su na takvim zemljištima zabeležili koncentracije cinka u zrnu u rasponu od 5 do 12 mg/kg, dok su Graham et al. (1992) dobili slične koncentracije u Australiji.

Hranljiva vrednost zrna pšenice se znatno smanjuje prilikom meljave u preradi. Tada se odstranjuje omotač ploda i delovi sa klicom, pa se u ishrani koristi endosperm koji se siromašan u cinku, ali i gvožđu (Ozturk et al., 2006; Persson et al., 2009; Borilli et al., 2014). Razlike u koncentraciji cinka između delova ploda pšenice su velike. Cakmak et al. (2010b) su pokazali sledeće koncentracije cinka u zrnu hlebne pšenice đubrene sa 80 kg/ha azota i bez primene cinka: u omotaču ploda je bilo 42 mg/kg, u klici 70 mg/kg i 11 mg/kg u endospermu, dok su u zrnu tvrde pšenice bez đubrenja azotom i cinkom te koncentracije bile: 20 mg/kg, 38 mg/kg i 8 mg/kg, po redu, pri čemu je uz povećanje količine azota znatno povećan nivo cinka u zrnu obe vrste pšenice, ali ravnomerno po delovima zrna. Isti autori su bojenjem zrna meke pšenice reagensom ditizon pokazali da je cink najviše koncentrisan u omotaču ploda, aleuronskom sloju i klici. Klica i aleuronski deo su bogati u proteinima i fitatima što ukazuje na činjenicu da su zapravo oni i rezerve cinka u zrnu (Lott and Spitzer 1980; Mazzolini et al., 1985). Ozturk et al. (2009) su istakli da pšenice bogate proteinima imaju veću koncentraciju gvožđa (71 mg/kg) i cinka (57 mg/kg) u zrnu u odnosu na pšenice sa manjim sadržajem proteina (36 mg/kg i 30 mg/kg), po redu. Smatra se da je nivo cinka u zrnu koji treba da se postigne za populaciju čija je ishrana bazirana na žitima 40–60 mg/kg (Cakmak, 2008; Zhao et al., 2009).

Pored cinka i gvožđe je značajan mikroelement za biljke, ali i za zdravlje ljudi jer nedostatak gvožđa pogađa više od dve milijarde ljudi u svetu (Welch and Graham, 2004), pa su istraživanja o biofortifikaciji pšenice ali i drugih useva rađena istovremeno za oba elementa. Na primer, Niyigaba et al. (2020) su pokazali da nivo gvožđa i cinka u zrnu pšenice može da se poveća folijarnom primenom cinka i gvožđa u različitom odnosu. Jedino sveobuhvatno istraživanje o statusu cinka i gvožđa u zrnu pšenice izvedeno u Srbiji pokazuje da koncentracija gvožđa u zrnu dve sorte gajene na 93 lokacije niska, medijana je bila 36 mg/kg (Nikolic et al., 2016).

Jedan od najboljih primera zašto je biofortifikacija pšenice cinkom neophodna u nekim delovima sveta jeste proizvodnja pšenice u Turskoj, posebno u centralnoj Anadoliji. Cavdar and Arcasoy (1972) i Cavdar et al. (1980) su odavno pokazali da je nedostatak cinka kod ljudi u Turskoj široko rasprostranjen, a ubrzo su Cavdar et al. (1983) i Prasad (1984) ukazali na to da je nedostatak cinka u zemljištu, samim tim i u hrani, možda jedan od glavnih uzroka ovog problema. Međutim, uticaj nedostatka cinka na proizvodnju žita bio je zanemaren sve do početka devedesetih godina prošlog veka (Cakmak et al., 1999).

Istovremeno sa proučavanjem problema nedostatka cinka u usevima na zemljištima siromašnim cinkom, otkriveno je da đubrenje cinkom znatno povećava njegov nivo u zrnu pšenice. Yilmaz et al. (1997) su pokazali da đubrenje cinkom može da poveća njegovu koncentraciju u zrnu tri do četiri puta na zemljištima vrlo deficitarnim cinkom, a najbolji rezultati se postižu kombinacijom primene cinka u zemljište i folijarno. Cakmak (2008) smatra oblaganje semena i folijarnu primenu cinka kada je zrno u mlečnoj fazi razvoja zrna najprikladnijim metodama za povećanje koncentracije Zn u zrnu. Posebno je učinkovito folijarno đubrenje u kasnijim fenofazama, kada je zrno u mlečnom i testastom stanju (Cakmak et al., 2010a). Ozturk et al. (2006) su takođe ukazali da je najveća akumulacija cinka u zrnu kada je ono u mlečnom stanju i istakli da folijarna primena cinka u toj fazi daje najbolje rezultate. Tako su Zou et al. (2012) na više lokacija u više država dobili vrlo veliko povećanje nivoa cinka u zrnu pšenice đubrenjem cinkom. Na primer, na jednoj lokaciji u Kazahstanu, u kontroli je zabeleženo 20 mg/kg, đubrenjem zemljišta 26 mg/kg, folijarnim đubrenjem 73 mg/kg, a u tretmanu sa njihovom kombinacijom čak 91 mg/kg. Imajući u vidu da se usvajanje cinka i mikroelemenata lako poremeti u uslovima suše ili zaslanjenosti, naročito u fazi nalivanja zrna (Fernández and Eichert, 2009), folijarna primena ovih hraniva je značajna i sa ekonomskog i agronomskog stanovišta, a u istraživanju koje su izveli Wang et al. (2017) primena cinka istovremeno sa azotom, fosforom ili kalijumom dovela je do značajnog povećanja nivoa cinka u zrnu.

Istraživanja u kontrolisanim uslovima su takođe pokazala da se povećanje koncentracije cinka u zrnu pšenice može postići primenom cinkovih đubriva u zemljište i/ili folijarno (Rengel et al., 1999; Kutman et al., 2010). Dalje su Kutman et al. (2010) istakli da obezbeđenost biljaka azotom igra značajnu ulogu za postizanje maksimalnog nivoa cinka u zrnu tvrde pšenice. Pokazana je jaka pozitivna korelacija azota i cinka u tkivu biljaka kada su one tretirane sa optimalnim količinama cinkovih i azotnih đubriva, pa je pri optimalnom đubrenju cinkom pojačana ishrana azotom znatno povećala nivo cinka u zrnu.

Prasad et al. (2013) su u preglednom radu prikazali rezultate rada na biofortifikaciji pšenice i pirinča cinkom u Indiji i istakli značaj ove mere za zdravlje ljudi. Prema rezultatima istraživanja koje su nedavno sprovedi Signorell et al. (2019), apsorpcija cinka iz agronomski biofortifikovane pšenice slična onoj iz pšenice fortifikovane posle žetve i istakli su da ova pšenica može da bude značajan izvor biološki dostupnog cinka za ljude. Joy et al. (2015) su sprovedi meta-analizu objavljenih rezultata o biofortifikaciji i naveli da je folijarna primena cinka isplativa mera za povećanje nivoa cinka u zrnu žita, i da su troškovi slični troškovima fortifikacije brašna cinkom. Dosadašnja istraživanja su posvećena i agronomskoj biofortifikaciji cinkom drugih useva, kao što su kukuruz (Wats et al., 2020; Suganya et al., 2020), pirinač (Ram et al., 2016; Cakmak et al., 2020; Prom-U-Thai et al., 2020), soja i krompir (Mao et al., 2014) i drugi.

3.5 Predsetveni tretman semena

Predsetveni tretman semena se naziva i prajming semena (engl. „seed priming“). Heydecker (1973) je ustanovio upotrebu termina “seed priming” za opisivanje predsetvenog tretmana semena u cilju poboljšanja klijavosti i ujednačenosti nicanja u nepovoljnim uslovima spoljašne sredine. Ovaj tretman predstavlja kontrolisani proces hidratacije semena, prekid dormantnosti semena njegovim pobuđivanjem ili aktiviranjem nakon čega se seme suši do približno početne mase, a rezultat su aktiviranje metaboličkih procesa i brži razvoj biljaka (Farooq et al., 2005). Pill (1995) je naveo da se ovim postupkom seme hidrira obično u okviru 10–20% ukupne imbibicije, što je, kako je istakao Bradford (1986), dovoljno da se nastave metabolički procesi koji prethode klijanju, ali nedovoljno

da izazove prorastanje radikule. Predsetvenim tretmanom semena aktiviraju se procesi koji stimulišu klijanje i opstaju posle ponovnog sušenja semena (Asgedom and Becker, 2001). Ovaj tretman poboljšava rast useva aktivirajući promene na fiziološkom, biohemijskom i molekularnom nivou (Chen et al., 2012). Leubner-Metzger (2006) je istakao da su brzina i sinhronizovanost klijanja posle predsetvenog tretmana poboljšani što ukazuje da pozitivno utiče na vigor semena i aktivaciono vreme. Imbibicija i rehidracija suvog semena tokom klijanja je kritičan proces i rapidno usvajanje vode može da prouzrokuje oštećenje membrane što dovodi do gubitka elektrolita, šećera i amino kiselina (Powell et al., 1987), što je više izraženo u stresnim uslovima.

Tokom klijanja i nicanja žita odvijaju se tri faze koje su u vezi sa usvajanjem vode (Bewley et al., 2013). Fazu I karakteriše brzo usvajanje vode, dok je u fazi II ono ograničeno jer je tada vodni potencijal semena blizu ravnoteže sa onim u okruženju. U ovoj fazi se odvijaju metabolički procesi potrebni za razvoj klice. U fazi III se dešava ponovno brzo usvajanje vode, izbija klicin korenak, i nastupa tzv. vidljivo klijanje (Nonogaki et al., 2010). Za vreme predsetvenog tretmana vodom, za određeno vreme se završe faza I i II, dok netretirano seme prolazi kroz sve faze klijanja.

Do sada su razvijene različite metode predsetvenog tretmana semena kao što su tretman vodom, tretman sa nisko-osmotskim aerisanim rastvorom sa različitim trajanjem, hemijski, biološki ili tretman hormonima, zatim tretman sa čvrstim matriksom (videti pregledne radove Girolamo and Barbandi, 2012; Marthandan et al., 2020 i reference u njima). Predsetveni tretman semena hranivima podrazumeva potapanje semena u rastvor sa hranivima umesto u vodi, da bi se povećao sadržaj hraniva u semenu i time poboljšalo klijanje i sklop useva.

3.6 Predsetveni tretman semena vodom i cinkom

Predsetveni tretman vodom se definiše kao potapanje semena u vodi sa ili bez aeracije (Gassemi-Golezani et al., 2008; Girolamo and Barbandi, 2012). Krajem prošlog veka ovaj tretman je prepoznat kao jednostavna metoda kojom može da se poboljša proizvodnja glavnih useva u sušnim područjima kao što su Indija i Zimbabve, što su intenzivno proučavali Harris et al. (2001). Nedavno su Karim et al. (2020) pokazali da predsetveni tretman vodom značajno poboljšava, pored drugih parametara, klijanje i prinos plodova po biljci vrste *Vigna unguiculata*, takođe i klijanje *Medicago truncatula* (Forti et al., 2020), kao i da je poboljšao toleranciju suncokreta na salinitet (Matias et al., 2018). Slično navedenim rezultatima, Harris (1996) je pokazao da tretman semena vodom povećava klijavost i početni rast pirinča, kukuruza i sirka. Istim tretmanom su povećani efikasnost usvajanja vode i prinos kukuruza u uslovima stresa suše, kao i prinos pšenice u kasnoj setvi zahvaljujući poboljšanom usvajanju vode za navodnjavanje (Ali et al., 2013). Zabeležena je i poboljšana tolerantnost na sušu i usvajanje hraniva ječma kod biljaka koje su se razvile iz semena koje je pre setve tretirano vodom (Ajour et al., 2004). Takođe je pokazano da tretman vodom može da poboljša klijanje, vigor ponika, nicanje i rast nauta i boba (Kaur et al., 2002; Damalas et al., 2019), kao i nicanje pirinča (Basra et al., 2005). Farooq et al. (2009a) su istakli da je klijanje semena tretiranog vodom bolje sinhronizovano, i da se u njima povećava koncentracija metabolita koji poboljšavaju klijanje (Basra et al., 2005; Farooq et al., 2006) i smanjuje se oštećenje DNA (Farooq et al., 2009b). Bojović i sar. (2021) su nedavno pokazali da je predsetveni tretman vodom povećao koncentracija karotenoida u listu ponika pšenice u odnosu na netretirano seme. Chen and Arora (2013) su predložili hipotetički model koji objašnjava fiziološke procese kojima predsetveni tretman indukuje tolerantnost na stres, stvarajući tzv. „prajming pamćenje“.

Za vreme nicanja, enzimi razlažu jedinjenja skladištena u semenu i hraniva se transportuju do klice koja raste (Fincher, 1989). Rezerve minerala u semenu su neophodne da bi se održao rast klijanaca (Longnecker and Robson, 1993), dok kasnije biljke obezbeđuju hraniva tako što ih usvajaju korenom. Na primer, Cooper and MacDonald (1970) su pokazali da se rezerve cinka u semenu kukuruza iscrpe kada je biljka ima tri do četiri razvijena lista, tako da tretman semena cinkom pre setve, osim što hidrira seme, obezbeđuje i značajne rezerve cinka koje biljke mogu da koriste u ranim fazama rasta. Korišćenje semena sa višim nivoom mikroelemenata može da poboljša rast klijanaca i dovede do povećanja prinosa useva (Welch, 1986). Minerali u semenu su posebno značajni kada se usevi gaje na zemljištu siromašnom u hranivima, odnosno u njihovoj frakciji koja je dostupna biljkama (Asher, 1987). Seme može da se tretira mikroelementima potapanjem u hranljivi rastvor određene koncentracije tokom određenog vremena, što je klasični predsetveni tretman (Harris et al., 1999) i naziva se predsetveni tretman hranivima odnosno mikrohranivima, ili se seme oblaže mikroelementima (Farooq et al., 2012). Tretman semena hranivima pre setve se intenzivno proučava u svetu u različitim istraživačkim projektima (Kumar et al., 2020).

Iz semena koje ima nisku koncentraciju cinka, ukoliko se upotrebi kao semenski materijal u merkantilnoj proizvodnji, razvijaju se biljke manje otporne prema stresnim uslovima spoljne sredine (Welch and Graham, 2004). Visoke vrednosti rezervi cinka u semenu igraju važnu fiziološku ulogu u klijanju i razvoju klijanaca, a visoke koncentracije cinka izmerene u radikuli i koleoptilu (preko 200 mg/kg) upućuju na važnu ulogu cinka tokom ranih faza razvoja mladih biljaka (Ozturk et al., 2006). U uslovima visoke metaboličke aktivnosti korena i tkiva koleoptile, uloga cinka je najverovatnije vezana za sintezu proteina, za funkciju aktivnosti membrane, procese izduživanja ćelija, i otpornosti biljaka na stresne uslove spoljne sredine (Cakmak 2000).

Brojna istraživanja su pokazala da viši sadržaj cinka u semenu doprinosi da u uslovima nedostatka cinka bolje rastu biljke koje su se razvile iz semena sa višim, nego one iz semena sa niskim sadržajem cinka, kao što je na primer pokazano za pirinač i pšenicu (Rengel and Graham, 1995; Hacısalihoglu and Kochian, 2003). Cink iz semena koje je pre setve tretirano, za vreme klijanja i ranog razvoja klijanaca se premešta u nadzemni izdanak, kao što je pokazano za kukuruz (Imran et al., 2015; Imran et al., 2017), pirinač (Prom-u-thai et al., 2012) i naut (Ullah et al., 2019). Predsetveni tretman semena ječma sa fosforom i cinkom poboljšao klijanje, rast klijanaca, kao i usvajanje ovih elemenata korenom biljaka u istraživanjima koje su izveli Ajouri et al. (2004). Pozitivan uticaj predsetvenog tretmana semena cinkom na akumulaciju suve mase nadzemnog dela i korena izdanaka pšenice, kao i jaku korelaciju između prosečne klijavosti/vremena klijanja, dužine nadzemnog dela i korena izdanaka sa masom suvog korena pokazan je u istraživanjima koje su sprovedli Rehman et al. (2015). Imran et al. (2017) su pokazali da je predsetvenim tretmanom semena soje cinkom njegova koncentracija povećana čak šest puta, ali je 40–60% cinka usvojio omotač semena. Tretman semena cinkom omogućio je da biljke pet sedmica rastu isto kao biljke kojima je cink bio obezbeđen u obliku hranljivog rastvora. Slični rezultati su dobijeni i za tretman semena manganom. Harris et al. (2007) su pokazali da se predsetvenim tretmanom semena kukuruza sa 1% rastvorom cink-sulfata ($ZnSO_4$) vrlo lako može povećati nivo cinka u semenu. Oblaganje semena cinkom se takođe pokazalo kao efikasno, a Rehman and Farooq (2016) su u ogledu u kontrolisanim uslovima, u kojima je pšenica gajena u posudama sa zemljištem u stakleniku, pokazali da oblaganje sa 1,25 i 1,50 kg Zn/kg semena u obliku cink-sulfata ili cink-hlorida može da poveća prinos zrna za 33–55%, ali i povećanje nivoa cinka u zrnu za 21–35%. Učinkovitost predsetvenog tretmana semena cinkom je vrlo izražena kada se poljski ogledi izvode na karbonatnom zemljištu. Tako je tretman cinkom bio efikasniji u odnosu na folijarnu primenu cinka na karbonatnom zemljištu siromašnom u cinku u Turskoj (Yilmaz, 1997) i jednako efikasan kao đubrenje cinkom preko zemljišta u Pakistanu (Harris et al., 2007). Nedavno su Esper Neto et al. (2020) pokazali da predsetveni tretman semena kukuruza sa nanočesticama cink-oksida poboljšali

rast ponika. Rehman et al. (2018) su nedavno pokazali da je tretman semena pšenice pre setve sa 0,5 M cink-sulfatom doveo do povećanja koncentracije cinka u zrnu dve sorte hlebne pšenice gajenih na zemljištu koje nije bilo cink deficitarno, što ukazuje da ova metoda može da se koristi i za biofortifikaciju pšenice cinkom.

Međutim, Welch (1999) je istakao da male količine mineralnih hraniva u semenu mogu da imaju nepovoljne uticaje na vitalnost semena tokom njegovog razvoja i da oni ne mogu kasnije da se ublaže. Stoga klijanje ovakvog semena možda ne može da se poboljša čak i sa adekvatnom primenom određenih hraniva u medijumu u kome biljke rastu, kao što je pokazano za mangan i rast lupine (Longnecker et al., 1996). Zato su Rashid et al. (2019) mišljenja da predsetveni tretmani u kojima se seme potapa u rastvor sa hranivima ili se njima oblaže, ne mogu uvek da poboljšaju klijanje i razvoj ponika kada seme potiče sa biljaka koje nisu vitalne. Takođe su istakli da je povećanje novoa cinka u zrnu tokom proizvodnje, značajno kako za ishranu ljudi, tako i za poboljšanje svojstava semena koje se koristi u proizvodnji na cink deficitarnim i marginalnim zemljištima, što su Candan et al. (2018) nedavno potvrdili kroz poboljšanje rasta ponika tvrde pšenice u uslovima nedostatka cinka i stresa suše, kada je korišćeno seme biofortifikovano cinkom.

4. MATERIJAL I METODE

4.1 Opis lokacija

Dva poljska oglada su izvedena na dva lokaliteta, na svakom tokom dve uzastopne proizvodne sezone, i to na Oglednom polju Instituta PKB Agroekonomik u Padinskoj Skeli (44°96' N, 20°42' E) na zemljištu tipa ritska crnica, tokom 2014/2015. i 2015/2016. godine i na Oglednom polju Instituta za kukuruz, Zemun Polje (44°86' N, 20°32' E) na zemljištu tipa černoze, tokom vegetacionih sezona 2015/2016. i 2016/2017. godine.

Pre početka izvođenja oglada uzeti su uzorci zemljišta do 30 cm dubine i uređena je njihova hemijska analiza. Rezultati hemijske analize zemljišta sa obe lokacije su prikazani u Tabeli 1. pH zemljišta je određena u vodi (zemljište:voda= 1:2,5), a sadržaj CaCO₃ je izmeren kalcimetrom po metodu Scheibler-a. Sadržaj humusa je određen metodom oksidacije organske materije sa rastvorom KMnO₄, prema Kotzman-u. Ukupan sadržaj azota (N) je izmeren metodom Kjeldahl-a, dok su koncentracije frakcija fosfora (P) i kalijuma (K) dostupnih biljkama određene AL metodom (ekstrakcija sa amonijum-laktatom). Koncentracija kalijuma je merena na spektrofotometru, a kalijuma na plamen-fotometru. Za određivanje koncentracije cinka dostupnog biljkama urađena je ekstrakcija sa DTPA-TEA rastvorom (Lindsay and Norvell, 1978), a za određivanje ukupnog cinka izvršeno je razaranje sa HNO₃; koncentracija cinka merena je metodom optičke emisije spektroskopije sa idukovanom spregnutom plazmom (ICP-OES).

Tabela 1. Odabrane osobine zemljišta sa dve ogledne lokacije, uzorku uzeti pre početka izvođenja oglada

	Lokacija	
	Zemun Polje	Padinska Skela
pH	7,3	7,0
Humus (%)	3,2	2,7
CaCO ₃ (%)	3,54	1,74
Ukupan N (%)	0,16	0,16
Dostupni P ₂ O ₅ (mg/100 g)	14,0	22,4
Dostupni K ₂ O (mg/100 g)	32,0	25,7
Zn, DTPA-ekstrakcija (mg/kg)	0,88	1,28
Ukupan Zn	64,1	114,0

Na lokaciji Zemun Polje zemljište je bilo blago alkalno, obezbeđeno humusom i srednje karbonatno. Prema koncentraciji dostupnog fosfora spada u zemljišta srednje obezbeđena ovim elementom i optimalno obezbeđena kalijumom. Na lokaciji Padinska Skela zemljište je bilo neutralno, slabo humusno i slabo karbonatno. Bilo je srednje obezbeđeno dostupnim fosforom i vrlo dobro obezbeđeno dostupnim kalijumom. Zemljišta su se znatno razlikovala prema koncentraciji ukupnog cinka i njegove frakcije koja je dostupna biljkama. U Zemun Polju, koncentracije ukupnog

cinka i frakcije dostupnog biljakma od 64,1 mg/kg i 0,88 mg/kg, po redu, bile su niže u odnosu na Padinsku Skelu gde su zabeležene vrednosti 114,0 mg/kg i 1,28 mg/kg, po redu.

4.2 Klimatski podaci za period istraživanja

Ogledne lokacije na kojima je vršeno istraživanje se nalaze u području sa umereno kontinentalnom do kontinentalnom klimom. Karakterišu je hladne zime i topla leta, sa manje ili više izraženim prolećem i jeseni. Prosečna godišnja suma padavina za obe lokacije je oko 650 mm. Meteorološki uslovi su pogodni za gajenje pšenice i ostalih ratarskih useva. Meteorološki podaci za temperature vazduha i padavine u toku dve proizvodne sezone na dve lokacije su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Srednje dnevne temperature vazduha i ukupne količine padavina po mesecima na lokacijama Zemun Polje i Padinska Skela, u toku dve uzastopne proizvodne sezone pšenice, u periodu 2014–2017. godine

Mesec	Lokacija							
	Zemun Polje				Padinska Skela			
	Temperatura vazduha (C°)		Padavine (mm)		Temperatura vazduha (C°)		Padavine (mm)	
	2015/16.	2016/17.	2015/16.	2016/17.	2014/15.	2015/16.	2014/15.	2015/16.
Oktobar	11,9	11,2	56,7	60,3	12,1	10,8	55,2	70,6
Novembar	8,3	7,4	48,8	58,8	7,7	6,5	14,4	50,8
Decembar	3,4	0,2	2,0	0,6	2,3	2,8	52,8	10,8
Januar	2,6	-1,8	47,8	6,8	1,9	0,2	51,4	46,4
Februar	8,9	5,3	40,5	18,1	2,6	7,3	56,6	46,4
Mart	8,8	11,0	71,1	21,3	13,7	7,8	70,4	78,8
April	15,3	12,4	51,9	47,1	14,8	13,9	28,4	34,4
Maj	17,6	18,6	47,4	49,2	17,6	16,3	84,4	74,4
Jun	23,0	24,4	107,4	39,0	20,4	21,5	41,8	89,2
Jul	24,2	25,5	33,6	26,7	24,2	22,6	6,2	34,8
Prosek/suma	12,4	11,4	507,1	327,9	11,4	11,0	461,6	536,6

U Zemun Polju, u drugoj godini su zabeležene niže temperature tokom zime u decembru, januaru i februaru, dok su u maj i juni bili topliji u odnosu na prvu godinu istraživanja. U prvoj godini su posle zime zabeležene i veće količine padavina, naročito u martu i junu, pa je suma padavina za vegetacioni period od 507,1 mm bila znatno viša u odnosu na drugu godinu, kada je zabeleženo ukupno 327,9 mm. Kada se uporede meteorološki podaci za dve godine istraživanja u Padinskoj Skeli, temperatura vazduha bila znatno niža u februaru i znatno viša u martu, takođe su u prvoj godini bili topliji mart i april u prvoj godini, dok su u drugoj zabeležene više temperature u junu. Suma padavina za vegetacioni period pšenice bila je viša u drugoj godini (536,6 mm), zahvaljujući količini padavina u novembru i junu; suma padavina u drugoj godini je bila 461,6 mm.

4.3 Poljski ogledi

Istraživanja su obuhvatila dva dvogodišnja poljska ogleda u kojima je ozima hlebna pšenica (*Triticum aestivum* L.) u Zemun Polju (Slika 1) i Padinskoj Skeli (Slika 2), na svakoj u dve uzastopne vegetacione sezone. Seme domaćih sorti pšenice je dobijeno iz Instituta za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada i Instituta BKB Agroekonimik iz Beograda.



Slika 1. Ogledno Polje u Zemun Polju



Slika 2. Ogledno Polje u Padinskoj Skeli

4.3.1 Poljski ogled 1

4.3.1.1 Dizajn ogleda i tretmani

Prvi faktorijalni poljski ogled se na obe lokacije sastojao od petnaest kombinacija faktora predsetvenog tretmana semena sa tri nivoa – tretman sa cinkom, sa vodom i kontrolu (seme nije tretirano pre setve) i faktora sorta – pet sorti: Talas, Ratarica, i NS-40S, Dika i Simonida, sa četiri ponavljanja u potpuno slučajnom blok sistemu. Površina elementarne parcele je bila 5 m² (1 x 5 m).

Predsetveni tretman semena cinkom svih sorti je izveden tako što su semena potapana u hranljivi rastvor sa 4 mM cink-sulfatom (ZnSO₄·7H₂O, tokom) 24 h, tako da su sva zrna bila potopljena, prema postupku koji su ranije primenili Johnson et al. (2005). Seme je potapano rastvor sa cinkom u plastičnim posudama prekrivenim crnom folijom. Nakon ovog postupka, seme je ispirano mlazom destilovane vode da bi se isprao rastvor sa površine semena, a zatim se seme sušeno na sobnoj temperaturi dok masa nije bila slična onoj pre predsetvenog tretmana. Predsetveni tretman semena vodom izveden je uz isti postupak, s tim da je seme potapano u destilovanoj vodi. Pre početka izvođenja ogleda izmerena je koncentracija cinka u netretiranom semenu (kontroli) i u semenu koje je tretirano cinkom, da bi se utvrdilo koliko je povećanje nivoa cinka. Koncentracija cinka nije merena u semenu koje je tretirano destilovanom vodom jer je ranije pokazano ovaj tretman ne dovodi do povećanja cinka u semenu (Imran et al., 2013), što su kasnije potvrdili Imran et al. (2021).

4.3.1.2 Agrotehničke mere

Setva je u obe godine i na obe lokacije obavljena u periodu od treće dekade oktobra do prve dekade novembra. Izvedena je ručno, na rastojanje od 12 cm između redova, i setvenom normom od 500 semena/m².

Osnovno đubrenje je na obe lokacije izvršeno pre setve, kada su u zemljište uneta mineralna đubriva, i to ukupna količina fosfora i kalijuma, i manji deo azota, dok je sa preostalom količinom azota izvršeno prihranjivanje pre početka vlatanja. U Zemun Polju za đubrenje su korišćena đubriva MAP i urea, sa sledećim količinama hraniva po hektaru: 120 N i 90 P₂O₅. U Padinskoj Skeli primenjeno je NPK đubrivo formulacije 15:15:15 i urea, sa sledećim količinama hraniva po hektaru: 120 N, 60 P₂O₅ i 60 K₂O. Tokom proizvodnje primenjene su standardne mere zaštite useva od korova, uzročnika bolesti i štetočina.

4.3.1.3 Uzorkovanje i merenje

Za merenje suve mase glavnog izdanka i ukupne suva mase svih izdanaka uzeti su uzorci od deset biljaka u fazi vlatanja (BBCH 32-33). Uzorci su sušeni u sušnici na temperaturi od 80°C do konstantne mase. U žetvi je obračunat prinos zrna na 13% vlage u zrnu i izmerena je masa 1000 zrna. Tada su uzeti uzorci od deset klasova sa glavnog stabla za merenje sledećih komponenti prinosa: broj klasića po klasu, broj zrna po klasu, masa zrna po klasu. Posmatranjem je utvrđeno da nije bilo razlike u nicanju između tretmana semena tokom trajanja ogleda, stoga nisu sakupljeni podaci.

4.3.2 Poljski ogled 2

4.3.2.1 Dizajn ogleda i tretmani

Ovaj faktorijalni poljski ogled izveden na dve opisane lokacije i na svakoj se sastojao od deset parcela koje su predstavljale kombinaciju faktora folijarnog đubrenja sa dva tretmana: folijarne primene cinka i kontrole, i faktora sorte, koje su bile iste kao u Ogledu 1, sa četiri ponavljanja u potpuno slučajnom blok sistemu. Cink je primenjen folijarno obliku 0,5% vodenog rastvora $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ na kraju cvetanja, pri čemu je posebna pažnja posvećena da se tretiraju samo listovi, a da klasovi bude što manje izložen prskanju. Norma prskanja je bila 600 l/ha rastvora. Prskanje je izvedeno ručnom prskalicom pod pritiskom, po vremenu bez vetra. Kontrola je poprskana destilovanom vodom, čija je zapremina bila jednaka zapremini primenjenog rastvora cink-sulfata.

4.3.2.2 Agrotehničke mere

Setva i ostale primenjene agrotehničke mere bile su iste kao u Ogledu 1.

4.3.2.3 Uzorkovanje i merenje

Žetva pšenice je izvedena u fazi tehnološke zrelosti sa 13% vlage u zrnu. Tada su uzeti uzorci zrna za određivanje koncentracije cinka i proteina u zrnu. Za merenje cinka, zrna su oprana dejonizovanom vodom, zatim su sušena na temperaturi od 70°C i samlevena. Koncentracija proteina u zrnu je takođe merena u prethodno samlevenim uzorcima.

4.4 Analitičke metode

Za merenje koncentracije cinka u semenu pre setve i zrnu pšenice, sameleveni uzorci su žareni na temperaturi od 550°C tokom 8 h. Pepeo je zatim rastvoren u 25 mL koncentrovane HCl uz blago ključanje u trajanju od 10 minuta. Rastvor je filtriran i dopunjen do 100 mL destilovanom vodom. Koncentracija cinka je merena atomskom apsorpcionom spektrometrijom (AAS, Perkin-Elmer, 1100B). Koncentracija proteina u zrnu je merena metodom bliske infra-crvene spektroskopije (NIR analizator, INSTALAB 600, Dickey John, USA).

4.5 Statistička analiza

Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na suhu masu izdanaka, prinos zrna i komponente prinosa u prvom ogledu i uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na prinos zrna i koncentraciju cinka i proteina u zrnu pšenice u drugom ogledu analizirani su analizom varijanse (ANOVA), a značajnost razlika između sredina utvrđen je Tukey-ovim testom ($P < 0,05$). U cilju bolje interpretacije podataka u prvom ogledu je izvedena dodatna dvofaktorska analiza varijanse

odvojeno za svaki lokalitet i proizvodnu sezonu, dok je dodatna jednofaktorska analiza varijanse kojom je analiziran uticaj faktora zasebno za svaku sortu, lokaciju i proizvodnu sezonu izvedena za oba oglada. Dalje je izvedena jednofaktorska analiza varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena, odnosno folijarne primene cinka na merene pokazatelje zasebno za svaku sortu, lokaciju i proizvodnu sezonu. Linerani modeli su primenjeni da bi se proučila korelacija između prinosa zrna i koncentracije cinka u zrnu, i korelacija između koncentracije cinka i protein u zrnu. Koeficijenti korelacije su računati na osnovu sredina za folijarni tretman cinkom. Značajnost razlika u porastu prinosa zrna i koncentracije cinka u zrnu između dve lokacije u drugom ogledu analizirana je *t* testom uparenih uzoraka ($p < 0,5$). Za statističku analizu korišćen je softver STATISTICA 6 (StatSoft Inc., Tulsa, USA).

5. REZULTATI

5.1 Oglad 1

5.1.1 Uticaj predsetvenog tretmana semena cinkom na koncentraciju cinka u semenu

U Tabeli 3 prikazani su rezultati merenja koncentracije cinka u semenu pet sorti pšenice koje nije tretirano pre setve i semena tretiranog vodenim rastvorom cink-sulfata. Koncentracija cinka u netretiranom semenu pet sorti kretala se od 19,5 do 25,6 mg/kg, a u semenu tretiranom pre setve cinkom od 156,9 do 179,3 mg/kg. Koncentracija cinka u semenu sa predsetvenim tretmanom sa cinkom je bila viša u odnosu na netretirano seme, u zavisnosti od sorte, od 7,1 do 8,6 puta.

Tabela 3. Koncentracija cinka u semenu pet sorti pšenice bez predsetvenog tretmana i sa tretmanom sa cinkom

Sorta	Koncentracija Zn u zrnu (mg/kg)*	
	Bez predsetvenog tretmana	Sa predstevenim tretmanom Zn
Talas	24,4	174,2
Ratarica	22,6	166,9
NS 40S	21,2	179,3
Dika	19,8	170,8
Simonida	19,5	158,3

*Vrednosti su prosek merenja za dva uzorka.

5.1.2 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte i na suhu masu glavnog izdanka i ukupnu suhu masu svih izdanaka

Suva masa glavnog izdanka i ukupna masa svih izdanaka mereni su u fazi vlatanja da bi se proučio uticaj predsetvenog tretmana semena vodom i cinkom na rast pet sorti pšenice gajenih na dve lokacije, pri čemu godina nije bila faktor. Trofaktorska analiza varijanse, za uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na suhu masu glavnog izdanka i ukupnu masu svih izdanaka za prosek dve proizvodne sezone otkrila je značajnu interakciju lokacije i sorte, kao i značajan uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte (Tabela 4).

Tabela 4. Rezultati trofaktorske analize varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena (PTS), lokacije i sorte u proseku za dve proizvodne sezone na suhu masu glavnog i ukupnu masu svih izdanaka

Izvor variranja	Suva masa glavnog izdanka		Ukupna suva masa svih izdanaka	
	F	P	F	P
PTS	11,86*	0,011	10,37***	<0,001
Lokacija (L)	412,27***	<0,001	518,46***	<0,001
Sorta (S)	23,67***	<0,001	31,829***	<0,001
PTS x L	0,16 nz	0,856	0,35 nz	0,704
PTS x S	1,58 nz	0,123	1,84 nz	0,071
L x S	4,52***	<0,001	3,236*	0,001
L x S x PTS	1,15 nz	0,331	1,09 nz	0,369

nz–nije značajno

Interakcije između ostalih faktora nisu imale značajan uticaj na merene pokazatelje. Međutim, kada je urađena analiza varijanske zasebno za lokalitete za svaku proizvodnu sezonu, uticaj predsetvenog tretmana semena je imao značajan uticaj na suhu masu glavnog izdanka i ukupnu masu svih izdanaka samo na lokaciji Zemun Polje u drugoj sezoni (Tabela 5).

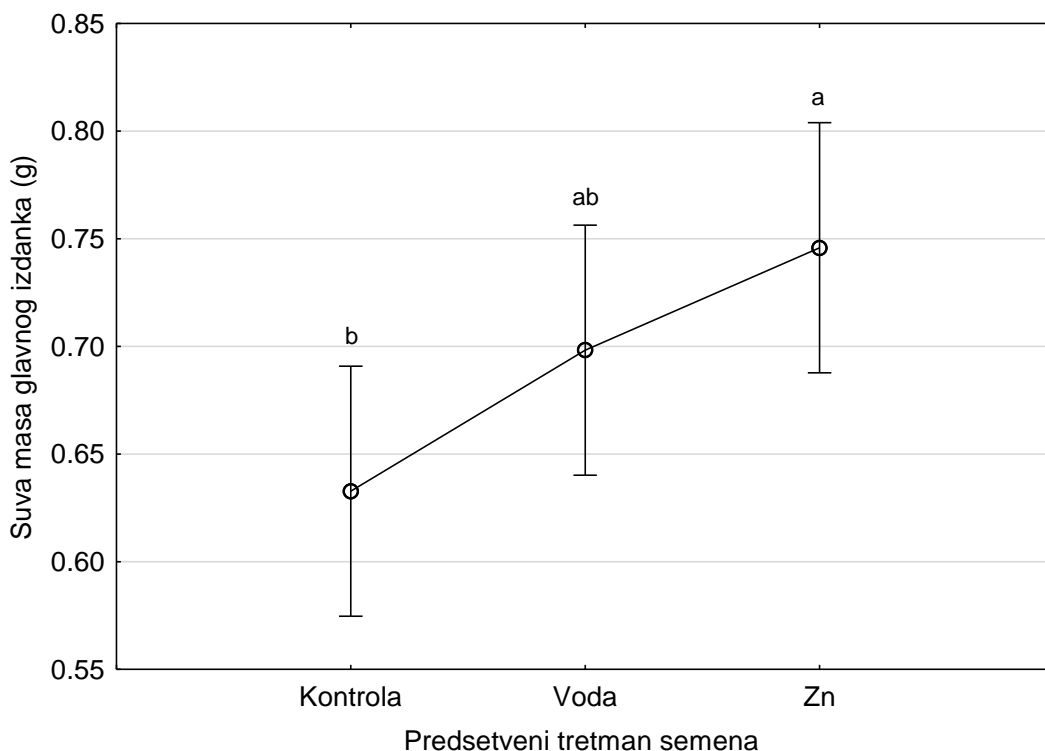
U proseku za dve lokacije, pet sorti i dve proizvodne sezone, suva masa glavnog izdanka u tretmanu sa cinkom (0,75 g) bila je značajno je veća samo u odnosu na kontrolu (0,63 g), dok razlika između kontrole i tretmana vodom, kao ni razlika između tretmana vodom i cinkom nije bila značajna ($P < 0,05$) (Grafik 1).

Tabela 5. Rezultati analize varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena (PTS) i sorte na suhu masu glavnog izdanka i ukupnu masu svih izdanaka, urađene zasebno za svaku lokaciju i proizvodnu sezonu (PS)

Izvor variranja	Suva masa glavnog izdanka				Ukupna suva masa svih izdanaka			
	F	P	F	P	F	P	F	P
	Zemun Polje, prva PS		Zemun Polje, druga PS		Zemun Polje, prva PS		Zemun Polje, druga PS	
PTS	0,612 nz	0,546	5,348	<0,001	0,228 nz	0,797	7,078*	0,002
Sorta (S)	23,737nz	<0,001	22,273	<0,001	16,577	<0,001	25,039	<0,001
PTS x S	1,452 nz	0,202	3,582 nz	0,002	0,892 nz	0,531	3,559*	0,002
	P. Skela, prva PS		P. Skela, druga PS		P. Skela, prva PS		P. Skela, druga PS	
PTS	2,235 nz	0,118	0,930 nz	0,402	0,990 nz	0,379	0,401 nz	0,671
Sorta (S)	44,11***	<0,001	57,717	<0,001	51,229	<0,001	47,854	<0,001
PTS x S	1,437 nz	0,207	1,332 nz	0,252	1,506 nz	0,181	0,697 nz	0,692

nz–nije značajno

Efekat Predsetveni tretman semena: $F(2, 210)=11.861$ $p=.00001$



Grafik 1. Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom na suhu masu glavnog izdanka pšenice u proseku za dve lokacije, pet sorti i dve proizvodne sezone. Srednje vrednosti označene istim slovom ne razlikuju se značajno (trofaktorska analiza varijanske i Tukey's test $P < 0,05$). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.

Jednofaktorska analiza varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena na rast biljaka sprovedena je zasebno za svaku sortu, proizvodnu sezonu i lokaciju, da bi se dobio jasniji uvid u uticaj tretmana vodom ili cinkom na rast pšenice. Posmatrano za ceo ogled, zabeleženo je povećanje suve mase glavnog izdanka u tretmanu semena sa vodom i cinkom u odnosu na kontrolu, osim u Zemun Polju za sorte Talas i Dika u prvoj proizvodnoj sezoni i sortu Talas u drugoj proizvodnoj sezoni, kao i u Padinskoj Skeli za sorte Talas i Simonida u prvoj proizvodnoj sezoni (Tabela 6). Međutim, povećanje dobijeno tretmanom sa cinkom u odnosu na kontrolu je bilo značajno samo za sortu Ratarica u Zemun Polju u drugoj proizvodnoj sezoni, sa 0,72 g na 1,25g, zatim u Padinskoj Skeli u prvoj proizvodnoj sezoni za sortu Ratarica, sa 0,43 g na 0,63 g i za sortu Dika sa 0,48 g na 0,70 g, pri čemu razlike između tretmana sa vodom i cinkom nisu bile značajne ($P<0,05$).

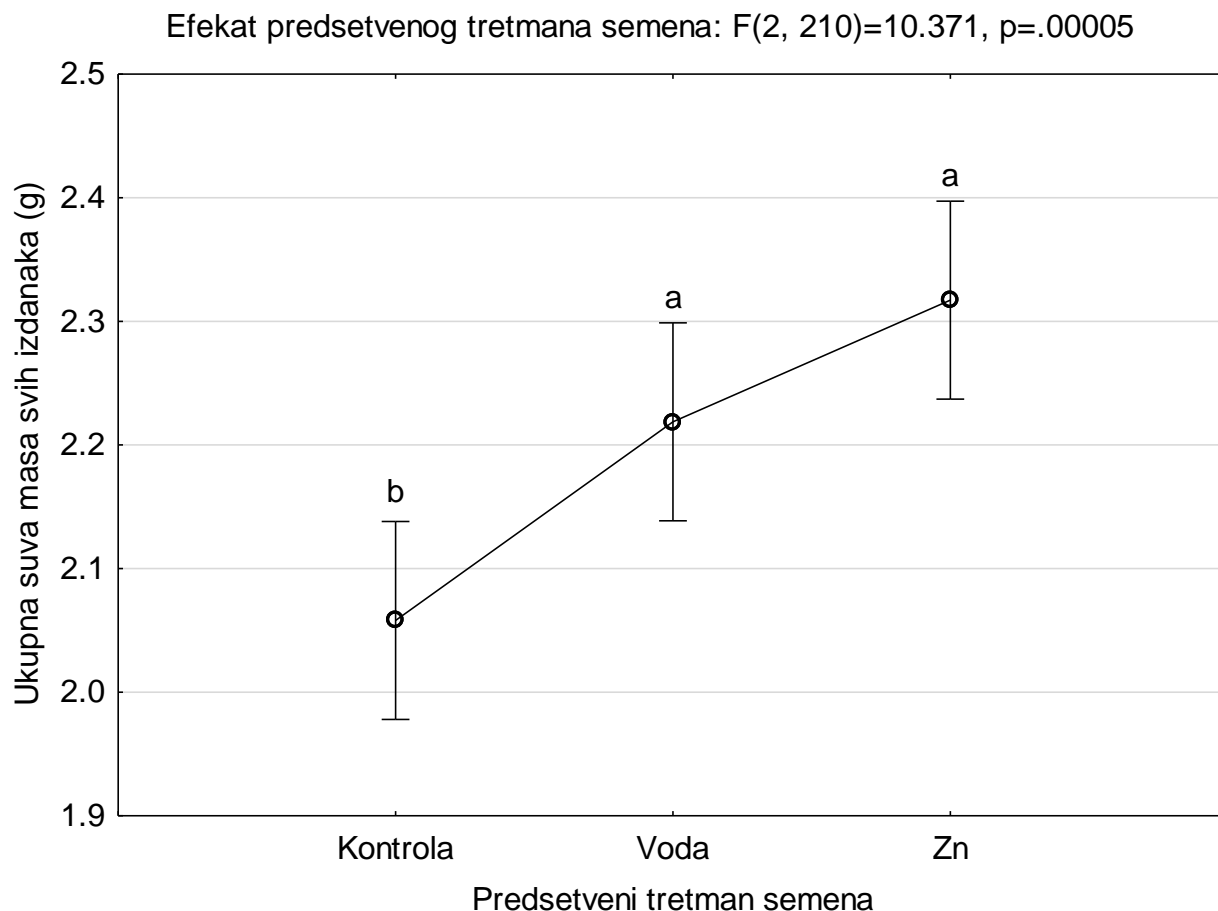
Tabela 6. Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom na suhu masu glavnog izdanka u vazii vlatanja pet sorti ozime hlebne pšenice gajenih u Zemun Polju i Padinskoj Skeli, na svakoj lokaciji u dve uzastopne proizvodne sezone (PS), u periodu 2014–2017. g.

Sorta	Suva masa glavnog izdanka (g)								
	Zemun Polje				Padinska Skela				
	PS	Kontrola	Voda	Cink	PS	Kontrola	Voda	Cink	
Talas	2015/16.	0,57a	0,55a	0,57a	2014/15.	0,43a	0,48a	0,42a	
Ratarica		0,84a	1,04a	0,99a		0,43b	0,60ab	0,63a	
NS 40S		0,61a	0,65a	0,66a		0,40a	0,43a	0,48a	
Dika		1,00a	1,03a	0,97a		0,48b	0,53ab	0,70a	
Simonida		0,85a	0,86a	0,95a		0,45a	0,45a	0,60a	
Prosek		0,77	0,83	0,83		0,44	0,50	0,57	
Talas	2016/17.	0,78a	0,76a	0,83a	2015/16.	0,39a	0,48a	0,46a	
Ratarica		0,72b	1,00ab	1,25a		0,59a	0,64a	0,65a	
NS 40S		0,89a	1,11a	1,03a		0,39a	0,42a	0,46a	
Dika		1,05a	1,08a	1,09a		0,52a	0,60a	0,62a	
Simonida		0,88a	0,89a	1,10a		0,40a	0,44a	0,49a	
Prosek		0,86a	0,98a	1,06a		0,46a	0,43a	0,54a	
Dvogod. prosek		0,82	0,91	0,95		0,45	0,47	0,56	
Sredine za lokacije	Zemun Polje				Padinska Skela				
		0,88A				0,50B			

Vrednosti su prosek četiri ponavljanja. Različita mala slova označavaju značajne razlike između tretmana semena za svaku sortu (jednofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P<0,05$), a velika slova označavaju značajne razlike između sredina za lokaciju (trofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P<0,05$).

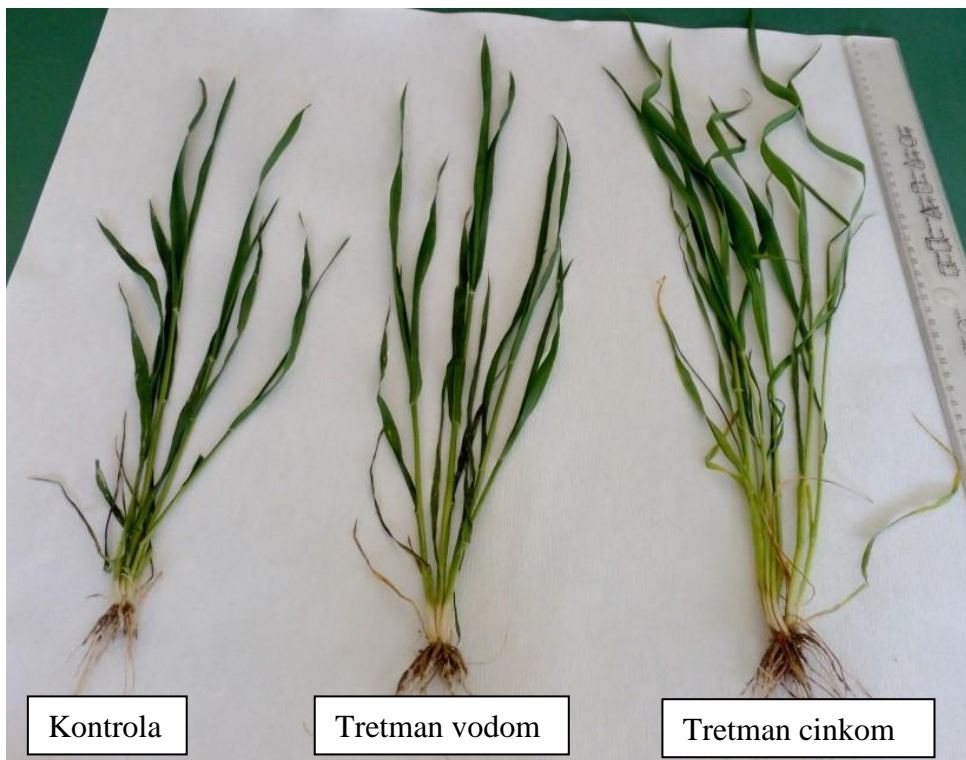
Ukupna suva masa svih izdanaka u proseku za lokacije, sorte i dve proizvodne sezone bila je značajno viša u tretmanima semena sa cinkom ili vodom u odnosu na kontrolu (2,32 g, 2,22 g i 2,06 g, po redu) ($p<0,05$) (Grafik 2). U proseku za predsetvene tretmane, sorte i proizvodne sezone, ukupna suva masa je bila značajno veća u Zemun Polju (2,73 g) u odnosu na Padinsku Skelu (1,66

g) (Tabela 7). Kao što je bilo očekivano, zabeležene su značajne razlike između sorti, pa je u proseku za ostale faktore, ukupna suva masa izdanaka sorte Ratarica (2,44 g) i sorte Dika (2,44 g) bila značajno viša u odnosu na sorte Talas (1,84 g) i NS 40S (1,98 g) (rezultati nisu prikazani).



Grafik 2. Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom na ukupnu suhu masu svih izdanaka pšenice u proseku za dve lokacije, pet sorti i dve proizvodne sezone. Srednje vrednosti označene istim slovom ne razlikuju se značajno ($P<0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.

U Tabeli 7 prikazani su rezultati za uticaj predsetvenog tretmana semena vodom i cinkom na ukupnu suhu masu svih izdanaka pet sorti pšenice gajenih na dve lokacije u dve uzastopne proizvodne sezone na obe lokacije. Jednofaktorska analiza varijanse izvedena zasebno za svaku sortu, lokaciju i proizvodnu sezonu, pokazala je da je ukupna suva masa svih izdanaka značajno povećana tretmanom sa cinkom u odnosu na kontrolu kod sorte Dika u Zemun Polju u prvoj proizvodnoj sezoni i kod sorti Ratarica i NS 40S u drugoj proizvodnoj sezoni (sa 2,30 na 3,24 g, sa 2,16g na 3,27 g i sa 2,49g na 3,0 g, po redu). U Padinskoj Skeli je zabeleženo značajno povećanje u prvoj proizvodnoj sezoni kod sorti Ratarica, NS 40S i Simonida (sa 1,43 g na 2,00 g, sa 1,30 g na 1,67 g i sa 1,50 g na 1,80 g, po redu), kao i sorte Talas (Slika 1) u drugoj proizvodnoj sezoni (sa 1,34 g na 1,73 g) ($P<0,05$). Značajno povećanje tretmanom sa vodom u odnosu na kontrolu u zabeleženo je za iste slučajeve sa izuzetkom sorte NS 40S u Padinskoj Skeli u drugoj godini. Međutim, značajno povećanje suve mase tretmanom sa cinkom u odnosu na tretman sa vodom bilo je značajno samo za sortu Ratarica u Zemun Polju u drugoj proizvodnoj sezoni (sa 2,73 g na 3,27 g). Na Slici 2 prikazana je sorta Simonida gajena na lokaciji Padinska Skela u drugoj proizvodnoj sezoni.



Slika 3. Sorta Talas gajena na lokaciji Padinska Skela u drugoj proizvodnoj sezoni posle predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom; kontrola je bila netretirano seme.



Slika 4. Sorta Simonida gajena na lokaciji Padinska Skela u drugoj proizvodnoj sezoni posle predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom; kontrola je bila netretirano seme.

Tabela 7. Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom na ukupnu suhu masu svih izdanaka u fazi vlatanja pet sorti ozime hlebne pšenice gajenih u Zemun Polju i Padinskoj Skeli, na svakoj lokaciji u dve uzastopne proizvodne sezone (PS), u periodu 2014–2017. g.

Ukupna suva masa svih izdanaka (g)								
Sorta	Zemun Polje				Padinska Skela			
	PS	Kontrola	Voda	Cink	PS	Kontrola	Voda	Cink
Talas	2015/16.	2,15a	2,19a	2,19a	2014/15.	1,35a	1,25a	1,47a
Ratarica		2,96a	3,44a	3,34a		1,43b	2,00a	2,00a
NS 40S		2,10a	2,33a	2,05a		1,30b	1,35ab	1,67a
Dika		2,30b	3,64a	3,24a		1,80a	1,88a	2,24a
Simonida		2,71a	2,72a	3,05a		1,50b	1,54ab	1,82a
Prosek		2,44	2,86	2,77		1,49	1,59	1,84
Talas	2016/17.	2,38a	2,08a	2,30a	2015/16.	1,34b	1,68a	1,73a
Ratarica		2,16c	2,73b	3,27a		1,87a	2,00a	2,09a
NS 40S		2,49b	3,20a	3,00a		1,35a	1,46a	1,39a
Dika		2,35a	2,80a	2,87a		1,88a	1,91a	1,93a
Simonida		2,58a	2,67a	3,08a		1,51a	1,50a	1,64a
Prosek		2,39	2,69	2,90		1,59	1,71	1,76
Dvogod. prosek		2,42	2,78	2,84		1,54	1,65	1,80
Sredine za lokacije	Zemun Polje				Padinska Skela			
	2,73A				1,66B			

Vrednosti su prosek četiri ponavljanja. Različita mala slova označavaju značajne razlike između tretmana semena za svaku sortu, zasebno za svaku lokaciju i proizvodnu sezonu (jednofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P < 0.05$), a različita velika slova označavaju značajne razlike između sredina za lokaciju (trofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P < 0.05$).

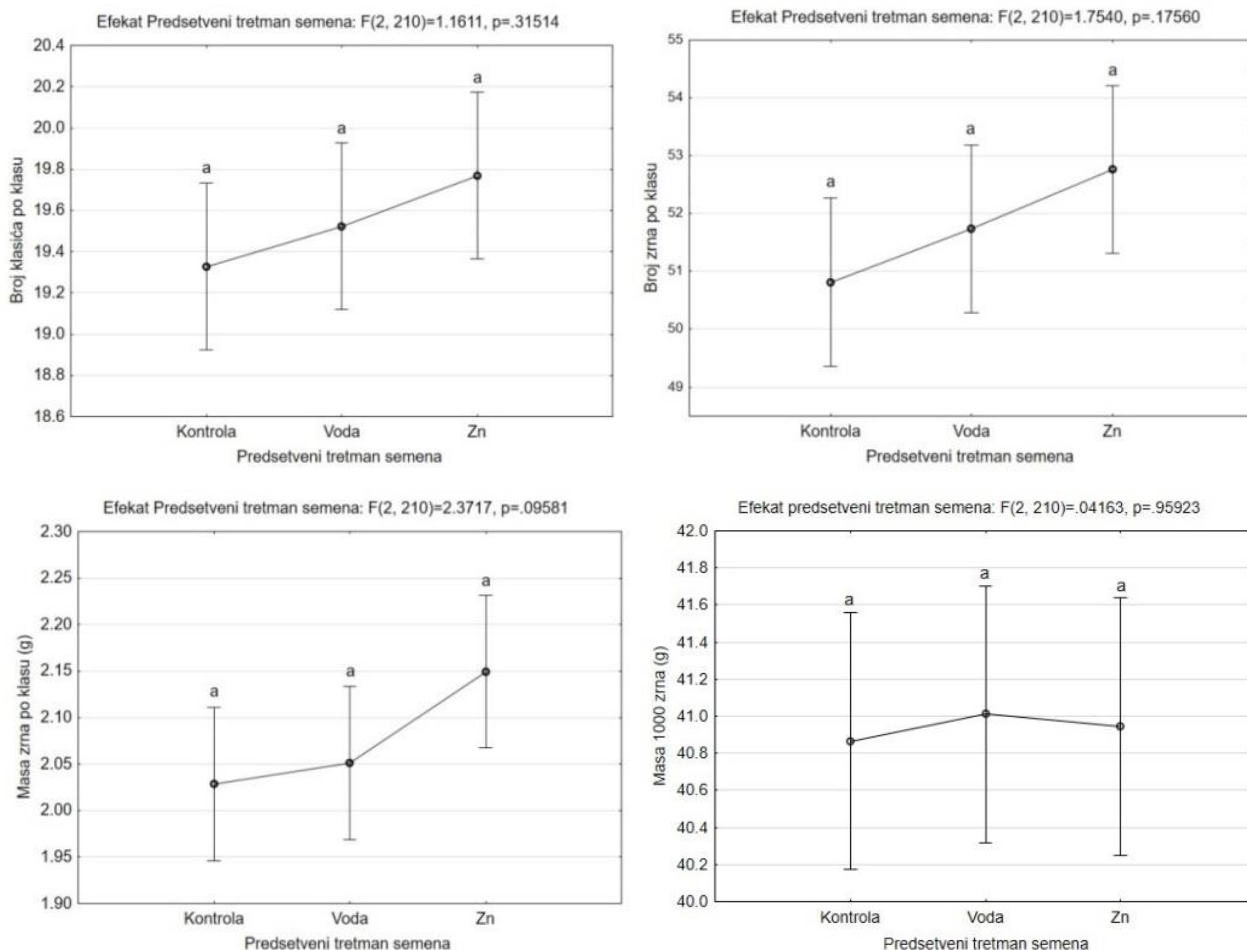
5.1.3 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na komponente prinosa

Trofaktorska analiza varijanse je pokazala značajnu interakciju između lokacije i sorte za broj zrna po klasu, masu zrna po klasu i masu 1000 zrna (Tabela 8). Uticaj lokacije je bio značajan za broj klasića po klasu i masu 1000 zrna, dok je uticaj sorte bio značajan za sve komponente prinosa. Ostale interakcije nisu bile značajne. Međutim, nije otkriven značajan uticaj predsetvenog tretmana semena na ove pokazatelje; sredine za merene komponente prinosa u proseku za ceo ogled prikazane su u Grafiku 3. Kada je analiza varijanse izvedena zasebno za svaku lokaciju i proizvodnu sezonu, da bi uticaj predsetvenog tretmana semena bio dodatno analiziran, nije utvrđena značajna interakcija između predsetvenog tretmana semena i sorte (Tabela 8). Značajan uticaj predsetvenog tretmana semena je detektovan samo za broj klasića po klasu, i to u Zemun Polju u drugoj proizvodnoj sezoni. Uticaj sorte je bio značajan za sve komponente prinosa, osim za masu zrna po klasu u Padinskoj Skeli u drugoj oglednoj godini na toj lokaciji.

Tabela 8. Rezultati trofaktorske analize varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena (PTS), lokacije i sorte na komponente prinosa u proseku za dve proizvodne sezone

Izvor variranja	Broj klasića po klasu		Broj zrna po klasu		Masa zrna po klasu		Masa 1000 zrna	
	F	P	F	P	F	P	F	P
PTS	1,16 nz	0,315	1,75 nz	0,175	2,37 nz	0,095	0,04 nz	0,959
Lokacija (L)	131,8***	<0,001	1,84 nz	0,176	1,28 nz	0,257	20,57***	<0,001
Sorta (S)	18,05***	<0,001	54,50***	<0,001	22,66***	<0,001	21,07***	<0,001
PTS x L	0,69 nz	0,504	0,10 nz	0,901	0,29 nz	0,744	1,31 nz	0,271
PTS x S	2,32 nz	0,058	0,14 nz	0,996	0,12 nz	0,998	0,70 nz	0,689
L x S	2,32 nz	0,058	3,39***	0,010	5,252***	<0,001	7,13***	<0,001
PTS x S x L	0,10 nz	0,999	0,06 nz	0,999	0,16 nz	0,994	0,51 nz	0,846

nz – nije značajno



Grafik 3. Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom na broj klasića po klasu, broj zrna po klasu, masu zrna po klasu i masu 1000 zrna pšenice u proseku za dve lokacije, pet sorti i dve proizvodne sezone. Srednje vrednosti označene istim slovom ne razlikuju se značajno ($P < 0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.

Tabela 9. Rezultati analize varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena (PTS) i sorte na komponente prinosa, urađene zasebno za svaku lokaciju i proizvodnu sezonu

Izvor variranja	Broj klasića po klasu		Broj zrna po klasu		Masa zrna po klasu		Masa 1000 zrna	
	F	P	F	P	F	P	F	P
Zemun Polje, prva godina								
PTS	1,43nz	0,249	2,24nz	0,117	3,08nz	0,056	1,1 nz	0,328
Sorta (S)	27,27***	<0,001	116,1***	<0,001	28,38***	<0,001	34,87***	<0,001
PTS x S	0,62nz	0,756	0,61nz	0,767	0,42nz	0,900	0,76nz	0,638
Zemun Polje, druga godina								
PTS	4,73*	0,013	1,70nz	0,194	2,45nz	0,096	2,15nz	0,128
Sorta (S)	13,97***	<0,001	31,42***	<0,001	13,69***	<0,001	17,44***	<0,001
PTS x S	0,30nz	0,960	0,374nz	0,928	0,35nz	0,937	1,37nz	0,236
Padinska Skela, prva godina								
PTS	0,11nz	0,896	1,92nz	0,158	1,49nz	0,235	1,75nz	0,184
Sorta (S)	12,78***	<0,001	30,14***	<0,001	5,32***	0,001	1,59nz	0,194
PTS x S	0,06nz	0,999	0,62nz	0,754	0,25nz	0,976	1,13nz	0,361
Padinska Skela, druga godina								
PTS	2,68nz	0,079	0,258nz	0,773	1,55nz	0,222	0,12nz	0,885
Sorta (S)	85,99***	<0,001	35,53***	<0,001	70,21***	<0,001	26,16***	<0,001
PTS x S	1,05nz	0,414	0,144nz	0,996	0,48nz	0,863	0,15nz	0,995

nz – nije značajno

U proseku za predsetvene tretmane semena, pet sorti i dve ogledne godine, broj klasića po klasu je bio značajno višu u Padinskoj Skeli (20,9) u odnosu na Zemun Polje (18,2), a masa 1000 zrna je bila veća u Zemun Polju (41,9 g) u odnosu na lokaciju Padinska Skela (40,0 g) ($P < 0,05$) (Tabela 10). Razlike između sorti za komponente prinosa su bile očekivane. Tako je, u proseku za ceo ogled, najmanji broj klasića po klasu imala sorta Dika (17,6), i bio je značajno niži u odnosu na sorte Talas, Ratarica, NS 40S i Simonida (20,2, 19,6, 20,5 i 19,9, po redu), a razlike između ove četiri sorte nisu bile značajne (svi rezultati za razlike između sorti nisu prikazani). Posmatrano na nivou celog ogleda, najveći broj zrna po klasu je zabeležen za sorte Talas i Simonida (57,0 i 58,4), i bio je značajno viši u odnosu na sorte Ratarica, NS 40S i Dika (53,3 49,1 i 41,0, po redu), a slične razlike između sorti su zabeležene i za prinos zrna po klasu. Nasuprot ovome, sorta Dika je imala najveću masa 1000 zrna (43,3 g) koja je bila značajno viša u odnosu na ostale sorte, osim za sortu Simonida (42,3 g). Najmanja masa 1000 zrna je zabeležena kod sorte NS 40S (37,9 g) i ona je ujedno bila značajno niža u odnosu na ostale ispitivane sorte.

Rezultati jednofaktorske analize varijanse urađene odvojeno za svaku sortu, zasebno za svaki lokalitet i godinu prikazni su u Tabeli 10.

Tabela 10. Broj klasića po klasu, broj zrna po klasu, masa zrna po klasu i masa 1000 zrna pet sorti hlebne ozime pšenice gajenih posle predsetvenih tretmanom semena vodom ili cinkom na lokacijama Zemun Polje i Padinska Skela, na svakoj lokaciji u dve uzastopne vegetacione sezone, u periodu 2014–2017. god.

Sorta	Zemun Polje											
	2015/16. god.											
	Br. klasića po klasu			Broj zrna po klasu			Masa zrna po klasu			Masa 1000 zrna		
	Kontrola	Voda	Zn	Kontrola	Voda	Zn	Kontrola	Voda	Zn	Kontrola	Voda	Zn
Talas	15,3a	15,4a	16,0a	47,0b	46,7b	50,2a	2,08a	2,10a	2,20a	40,5a	41,3a	40,5a
Ratarica	15,6a	16,1a	16,1a	51,9a	52,7a	52,2a	1,60a	1,40b	1,74a	43,3a	42,3a	42,0a
NS 40S	17,4a	17,7a	17,6a	40,7a	40,8a	41,6a	1,61a	1,77a	1,89a	35,3a	35,5a	36,5a
Dika	15,1a	15,4a	15,3a	31,7a	31,4a	32,2a	1,31a	1,25a	1,37a	42,3a	43,8a	43,0a
Simonida	17,3a	17,2a	18,1a	58,3a	59,3a	64,3a	2,33a	2,20a	2,55a	42,3a	42,5a	43,3a
	2016/17. god.											
Talas	20,1a	21,1a	21,4a	65,9a	67,3a	67,0a	2,45a	2,53a	2,39a	38,8a	39,5a	39,1a
Ratarica	20,2a	20,3a	20,2a	51,9a	56,4a	57,2a	2,10a	2,30a	2,29a	40,0a	39,3a	40,2a
NS 40S	20,4a	21,3a	21,2a	58,5a	58,9a	59,1a	2,23a	2,46a	2,51a	39,0a	40,8a	41,1a
Dika	17,1a	18,4a	18,6a	44,2a	46,8a	47,2a	1,96a	1,99a	2,12a	42,3a	43,8a	43,3a
Simonida	19,2a	20,3a	20,3a	61,6a	61,9a	61,8a	2,65a	2,87a	2,90a	44,8a	44,3a	43,4a
	Padinska Skela											
	2014/15. god.											
Talas	21,0a	21,3a	21,6a	52,5a	53,3a	54,0a	1,74a	1,77a	1,80a	36,1a	36,3a	36,2a
Ratarica	19,4a	19,2a	19,5a	51,0a	50,4a	52,6a	1,83a	1,79a	1,86a	39,3a	38,9a	36,4a
NS 40S	22,0a	21,8a	21,9a	51,6a	52,3a	52,6a	1,97a	1,88a	1,94a	38,9a	35,9a	36,9a
Dika	18,5a	18,7a	18,8a	40,7a	44,1a	43,0a	1,60a	1,54a	1,73a	40,8a	36,3a	36,8a
Simonida	21,5a	21,1a	21,3a	55,1a	54,9a	59,6a	1,92a	1,96a	2,16a	37,8a	38,7a	39,2a
	2015/16. god.											
Talas	23,0a	23,0a	23,3a	58,5a	60,8a	60,9a	2,50a	2,53a	2,58a	39,3a	39,8a	39,0a
Ratarica	23,0a	22,0a	23,1a	52,1a	54,0a	54,1a	2,35a	2,48a	2,49a	43,8a	44,0a	43,8a
NS 40S	21,0a	21,5a	21,8a	44,6a	43,9a	44,5a	1,73a	1,65a	1,81a	37,8a	38,7a	38,6a
Dika	18,3a	18,5a	18,8a	43,4a	43,0a	44,2a	2,01a	2,10a	2,13a	43,0a	42,8a	43,3a
Simonida	21,0a	20,3a	20,8a	55,2a	54,3a	54,9a	2,55a	2,51a	2,54a	43,0a	43,0a	42,5a
Sredine za lokacije	Zemun Polje		Padinska Skela	Zemun Polje		Padinska Skela	Zemun Polje		Padinska Skela	Zemun Polje		Padinska Skela
	18,2B		20,9A	52,3A		51,2A	20,10A		20,05A	41,9A		40,0B

Vrednosti su prosek četiri ponavljanja. Različita mala slova označavaju značajne razlike između predsetvenih tretmana semena za svaku sortu, zasebno za svaku lokaciju i proizvodnu sezonu; različita velika slova označavaju značajnu razliku između sredina za lokacije ($P < 0,05$).

Broj klasića po klasu u tretmanu sa cinkom je bio veći u odnosu na kontrolu i tretman semena vodom, na primer, u Zemun Polju za sortu Talas i Simonida u prvoj proizvodnoj sezoni, dok su u drugoj proizvodnoj sezoni oba tretmana semena povećala broj klasića u odnosu na kontrolu kod sorti Talas, NS 40S, Dika i Simonida, ali ove razlike nisu bile značajne ($P < 0,05$). Na lokaciji Padinska Skela, uticaj predsetvenog tretmana semena na broj klasića po klasu je bio manje izražen. Razlike između tretmana sa cinkom u odnosu na tretman sa vodom i kontrolu za broj zrna po klasu bike su značajne samo za sortu Talas u Zemun Polju u prvoj proizvodnoj sezoni. Masa zrna po klasu je povećana tretmanom sa cinkom u odnosu na tretman sa vodom i kontrolom na nivou celog ogleada, ali je povećanje bilo značajno samo za sortu Ratarica u Zemun Polju u prvoj proizvodnoj sezoni, kada je masa zrna po klasu u kontroli (1,60 g) i tretmanu sa cinkom (1,74 g) bila značajno viša u odnosu na tretman sa vodom (1,40 g). Posmatrano za ceo ogled, masa 1000 zrna bila je u rasponu od 35,5 do 44 g. Razlike između tretmana semena za sorte nisu bile značajne ($P < 0,05$).

5.1.4 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na prinos zrna pšenice

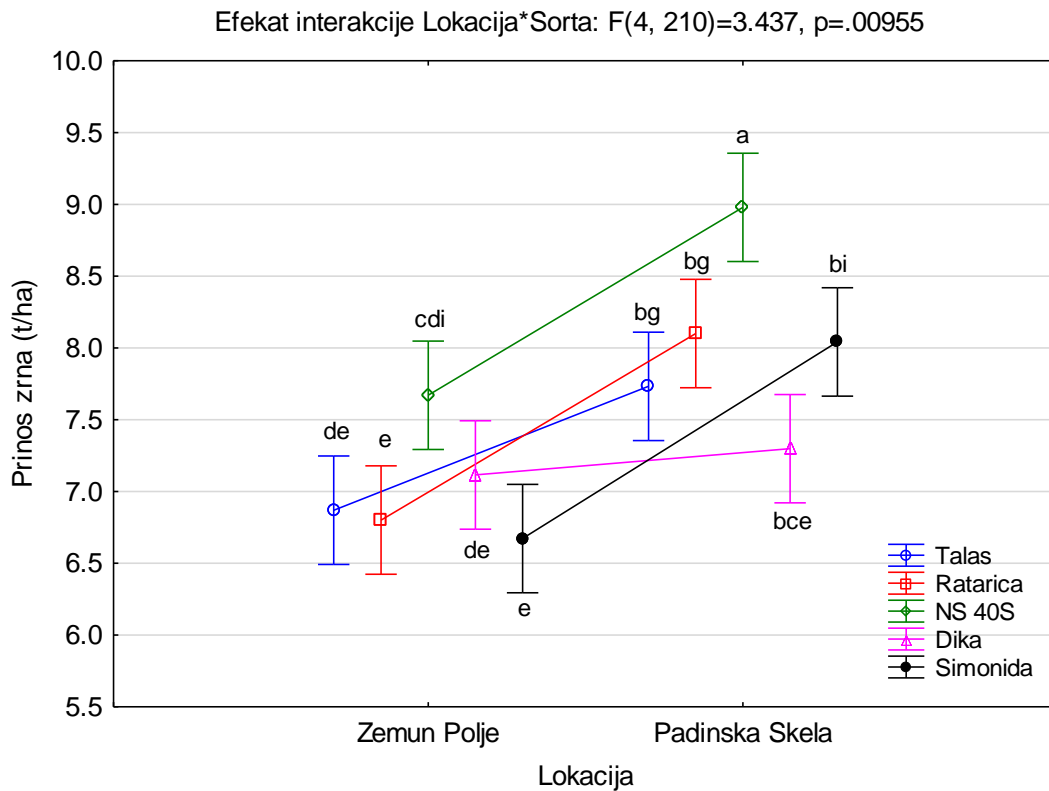
Za prinos zrna je utvrđena značajna interakcija lokacije i sorte (Tabela 11). Kod svih ispitivanih sorti prinos je bio viši u Padinskoj Skeli, ali je u proseku za predsetvene tretmane semena i dve godine, na primer, za sortu Simonida prinos bio viši u odnosu na Zemun Polje za 20,5%, a za sortu Dika 2,8% ($P < 0,05$) (Grafik 4). Efekat predsetvenog tretmana semena na prinos zrna je bio značajan, ali nije otkrivena značajna interakcija sa ostalim faktorima. U proseku za dve lokacije, pet sorti i dve proizvodne sezone prinos zrna pšenice je bio značajno viši u tretmanu semena cinkom (7,87 t/ha) u poređenju sa tretmanom vodom (7,42 t/ha) i kontrolom (7,29 t/ha), dok razlika između kontrole i predsetvenog tretmana semena sa vodom nije bila značajna ($P < 0,05$) (Grafik 5). Povećanje prinosa tretmanom sa cinkom u odnosu na tretman sa vodom, u proseku za ceo ogled je bilo 6%, a u odnosu na kontrolu 8%.

Analiza varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena i sorte, urađena zasebno za svaku lokaciju i godinu istraživanja, pokazala je značajan uticaj predsetvenog tretmana na prinos u Padinskoj Skeli u obe godine i u Zemun Polju u drugoj godini, ali nije utvrđena značajna interakcija između tretmana semena i sorte u sve četiri izvedene analize varijanse (Tabela 12).

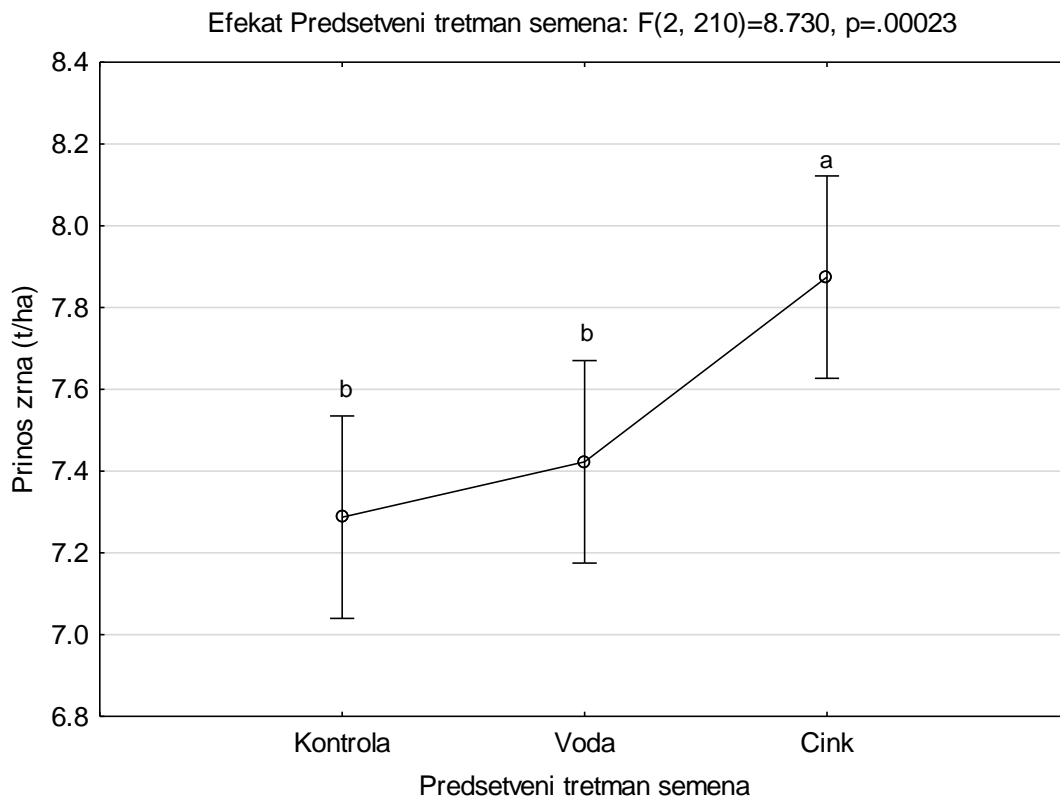
Tabela 11. Rezultati trofaktorske analize varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena (PTS), lokacije i sorte na prinos zrna u proseku za sve proizvodne sezone

Izvor variranja	Prinos zrna	
	F	P
PTS	8,73***	<0,001
Lokacija (L)	69,90***	<0,001
Sorta (S)	11,42***	<0,001
PTS x L	0,58nz	0,558
PTS x S	0,10nz	0,999
L x S	3,44***	<0,001
PTS x S x L	0,09nz	0,999

nz–nije značajno

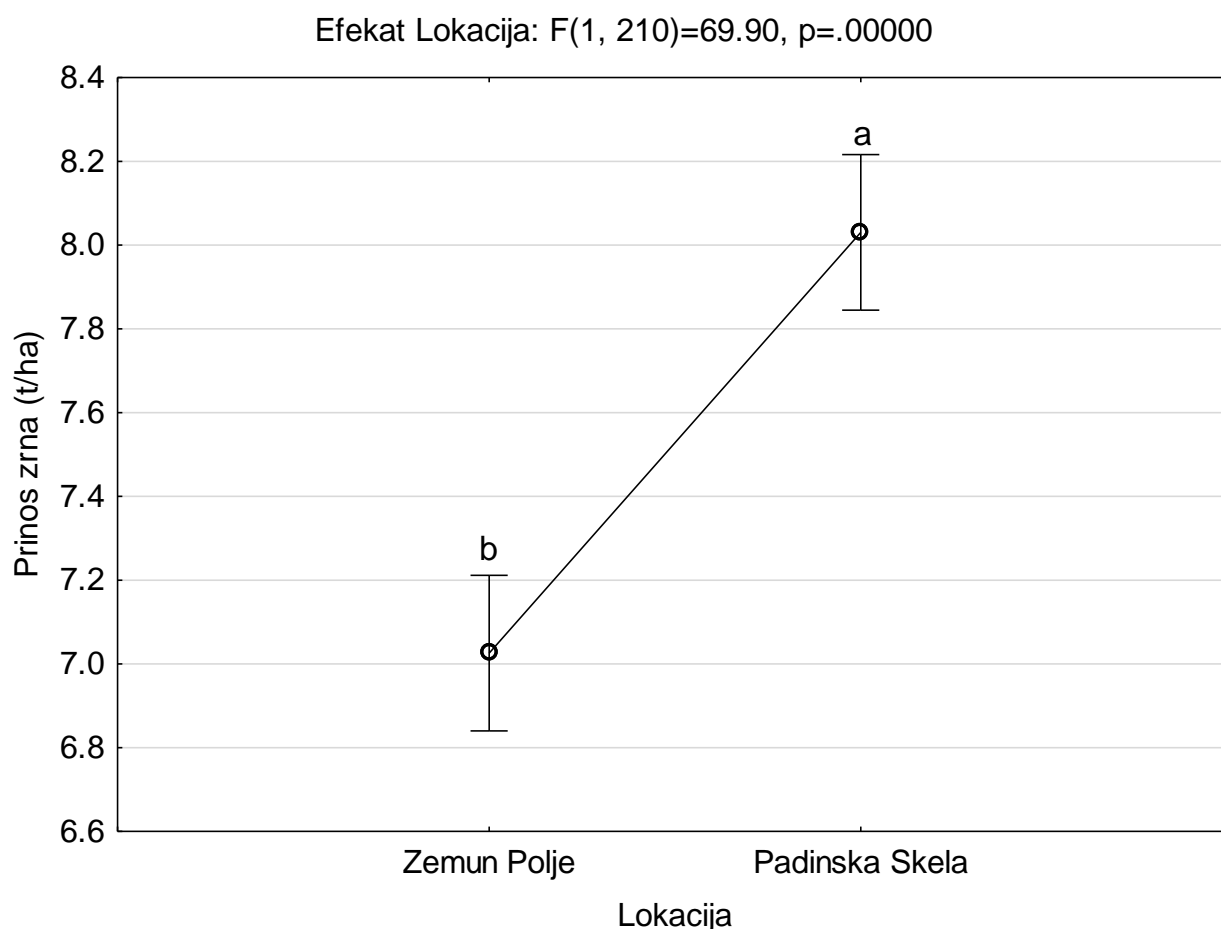


Grafik 4. Uticaj interakcije između lokacije i sorte na prinos zrna pšenice gajene tokom dve proizvodne sezone. Srednje vrednosti označene istim slovom ne ralikuju se značajno ($P<0,05$). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.



Grafik 5. Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom na prinos zrna pšenice, u proseku za dve lokacije, pet sorti i dve p.s. Srednje vrednosti označene istim slovom ne razlikuju se značajno ($P<0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.

U proseku za sorte, predsetvene tretmane semena i dve godine, prosek zrna je bio značajno viši u Padinskoj Skeli u poređenju sa lokacijom Zemun Polje (Grafik 6).



Grafik 6. Uticaj lokacije na prinos zrna pšenice, u proseku za predsetvene tretmane semena, pet sorti i dve proizvodne sezone. Srednje vrednosti označene istim slovom ne razlikuju se značajno ($P<0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.

Tabela 12. Rezultati četiri zasebne analize varijanse za uticaj predsetvenog tretmana semena (PTS) i sorte na prinos, urađene odvojeno za dve lokacije i dve proizvodne sezone

Izvor variranja	Zemun Polje, prva godina		Zemun Polje, druga godina		Padinska Skela, prva godina		Padinska Skela, druga godina	
	F	P	F	P	F	P	F	P
PTS	2,84ns	0,069	67,06***	<0,001	7,28***	0,001	28,82***	<0,001
Sorta (S)	34,10	<0,001	16,58***	<0,001	68,90	<0,001	45,54***	<0,001
PTS x S	0,76ns	0,654	1,61ns	0,149	0,17ns	0,994	1,49ns	0,187

nz – nije značajno

Rezultati jednofaktorske analize varijanse za uticaj presetvenog tretmana na prinos zrna, izvedene zasebno za svaku sortu, lokacije i godine, da bi se dobio jasniji uvid u uticaj tretmana sa vodom i cinkom, prikazani su u Tabeli 13. Dobijeni rezultati ukazuju da je uticaj tretmana semena bio različiti po godinama, i u saglasnosti su sa analizom varijanse urađene zasebno za svaku

lokaciju i godinu (Tabela 12). Primena cinka u predsetvenom tretmanu semena značajno je povećala prinos zrna u odnosu na kontrolu i tretman sa vodom svih sorti u Zemun Polju samo u drugoj oglednoj godini. Najveće povećanje u odnosu na tretman sa vodom, od 15,2–16,4% zabeleženo je za sorte Talas, NS 40S, Dika i Simonida, dok je za sortu Ratarica povećanje u odnosu na kontrolu i tretman sa vodom bilo 7% i 5%, po redu. U Padinskoj Skeli u drugoj godini, tretman sa cinkom je doveo do povećanja prinosa u odnosu na kontrolu i tretman sa vodom sorte Talas, za 16% i 12%, po redu, dok je za sorte NS 40S i Dika povećanje bilo značajno samo u odnosu na kontrolu, za 10%. U prvoj proizvodnoj sezoni za svaku lokaciju, razlike u prinosu zrna između predsetvenih tretmana semena nisu bile značajne za sve ispitivane sorte.

Tabela 13. Uticaj predsetvenog tretmana semena vodom ili cinkom na prinos zrna pet sorti ozime hlebne pšenice gajenih u Zemun Polju i Padinskoj Skeli, na svakoj lokaciji u dve uzastopne proizvodne sezone (PS), u periodu 2014–2017. god.

Sorta	Zemun Polje				Padinska Skela			
	PS	Kontrola	Voda	Cink	PS	Kontrola	Voda	Cink
Talas	2015/16.	5,94a	6,08a	6,43a	2014/15.	8,47a	8,54a	8,85a
Ratarica		5,97a	6,14a	6,10a		9,01a	9,11a	9,51a
NS 40S		7,52a	7,75a	7,96a		10,34a	10,32a	10,25a
Dika		6,54a	6,47a	6,75a		7,89a	8,37a	8,35a
Simonida		6,43a	6,70a	6,65a		8,30a	8,41a	8,67a
Prosek		6,48	6,62	6,81		8,79	8,95	9,15
Talas	2016/17.	7,23b	7,21b	8,33a	2015/16.	6,39b	6,61b	7,43a
Ratarica		7,38b	7,52b	7,90a		6,70a	7,06a	7,32a
NS 40S		7,31b	7,18b	8,20a		7,15b	7,55ab	7,87a
Dika		7,13b	7,10b	8,28a		6,07b	6,47a	6,65a
Simonida		6,45b	6,28b	7,51a		7,47a	7,69a	7,81a
Prosek		7,08	7,06	8,04		6,76	7,08	7,42
Dvogod. prosek		6,77	6,84	7,43		7,78	8,02	8,32

Vrednosti su prosek četiri ponavljanja. Različita slova označavaju značajne razlike između tretmana semena za svaku sortu, zasebno za svaku lokaciju i proizvodnu sezonu (jednofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P < 0.05$).

5.2 Ogled 2

Ovaj poljski ogled je izveden sa ciljem da se najpre prouči uticaj folijarne primene cinka na kraju cvetanja na prinos zrna, koncentraciju cinka i proteina u zrnu pšenice, i da se utvrdi da li postoji interakcija između ovog faktora i sorte i lokaliteta, kao i zavisnost između merenih pokazatelja, kao i da se utvrde eventualne razlike između sorti u akumulaciji cinka u zrno.

5.2.1 Uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na prinos zrna

Rezultati trofaktorske analize varijanse za uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na prinos prikazani su u Tabeli 14. Zabeležen je značajan uticaj lokacije i sorte na prinos zrna, a izostao je uticaj folijarne primene cinka, i nije otkrivena značajna interakcija faktora. U proseku za ceo ogled značajno viši prinos je zabeležen u Padinskoj Skeli (7,87 t/ha) nego u Zemun Polju (6,87 t/ha) (Tabela 15).

Tabela 14. Rezultati trofaktorske analize varijanse za uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte i na prinos zrna i koncentraciju cinka i proteina u zrnu u proseku za dve proizvodne sezone

Izvor variranja	Prinos zrna		Koncentracija cinka u zrnu		Koncentracija proteina u zrnu	
	F	P	F	P	F	P
Folij. Zn (F)	0,670 nz	0,414	186,31***	<0,001	12,79***	<0,001
Lokacija (L)	32,87***	<0,001	832,30***	<0,001	29,90***	<0,001
Sorta (S)	4,91***	<0,001	18,88***	<0,001	16,87***	<0,001
F x L	0,002 nz	0,969	2,67 nz	0,104	0,06 nz	0,811
F x S	0,057 nz	0,993	2,21 nz	0,070	0,35 nz	0,843
L x S	2,038 nz	0,092	10,56***	<0,001	0,18 nz	0,949
F x L x S	0,070 nz	0,991	1,00 nz	0,411	0,54 nz	0,706

nz – nije značajno

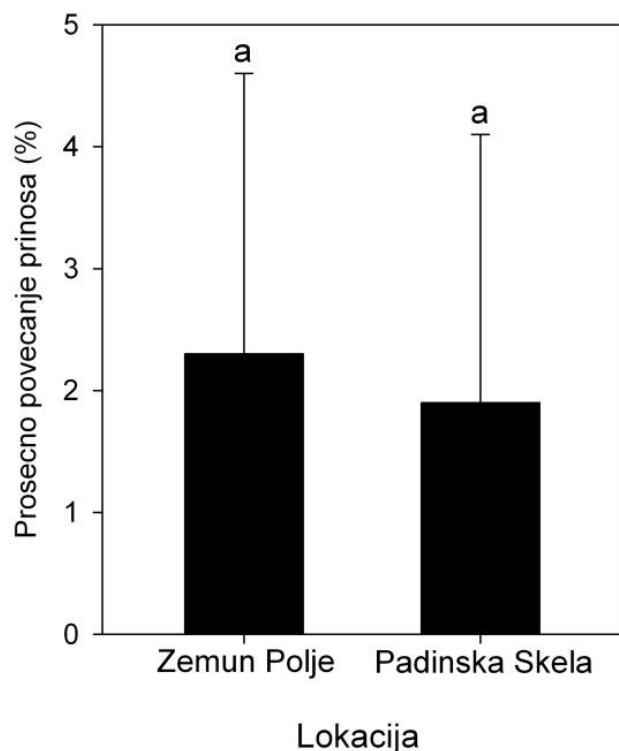
Jednofaktorska analiza varijanse za uticaj folijarne primene cinka na prinos zrna, izvedena zasebno za svaku sortu, lokaciju i oglednu godinu pokazalo je da je značajno povećanje prinosa povezano sa primenom cinka ($P < 0,05$) zabeleženo samo za dve sorte, i to sortu Ratarica u Zemun Polju u drugoj godini (7,55 t/ha u kontroli i 8,01 t/ha u tretmanu sa cinkom) i sortu Dika u Padinskoj Skeli u prvoj godini (8,02 t/ha u kontroli i 8,46 t/ha u tretmanu sa cinkom) (Tabela 15). Neznatno smanjenje prinosa koje može da se dovede u vezu sa primenom cinka zabeleženo je za sortu Talas i Dika u Zemun Polju u prvoj godini, zatim za NS 40S u Padinskoj Skeli u drugoj godini, ali ono nije bilo statistički značajno ($P < 0,05$). U proseku za ceo ogled, prinos zrna u kontroli je bio 7,29 t/ha, a za folijarnu primenu cinka 7,45 t/ha (Tabela 15) i ova razlika nije bila značajna ($P < 0,05$). Prosečno povećanje prinosa zrna u Zemun Polju i Padinskoj Skeli bilo je 2,3% i 1,9%, po redu; t test za uparene uzorke pokazao je da razlike između povećanja prinosa između dve lokacije nisu bile značajne ($P < 0,05$) (Grafik 7).

Kada je jednofaktorska analiza varijanse za uticaj sorte na prinos zrna izvedena zasebno za svaku lokaciju i proizvodnu sezonu, pokazala je da su na obe lokacije i obe godine zabeležene značajne razlike između sorti, ali bez određene pravilnosti (Tabela 15). U Zemun Polju u prvoj proizvodnoj sezoni u kontroli, prinos zrna sorte NS 40S (7,36 t/ha) bio je značajno viši u odnosu na sorte Talas, Ratarica i Simonida (6,05 t/ha, 5,80 t/ha i 6,68 t/ha), jedino razlika u odnosu na sortu Dika, kod koje je prinos bio 6,70 t/ha, nije bila značajna ($P<0,05$), dok je u drugoj godini prinos sorte Simonida (6,19 t/ha) bio značajno niži u odnosu na preostale sorte. Prinos zrna sorte NS40S (10,52 t/ha) je bio takođe značajno viši u poređenju sa ostalim sortama u prvoj proizvodnoj sezoni na lokaciji Padinska Skela, dok je u drugoj godini to bio slučaj sa sortama NS 40S (7,02 t/ha) i Simonida (7,64 t/ha). Slični razlike između sorti za prinos zrna su dobijeni i za tretman sa folijarnom primenom cinka.

Tabela 15. Uticaj folijarne primene cinka na kraju cvetanja na prinos zrna pet sorti ozime hlebne pšenice gajenih u Zemun Polju i Padinskoj Skeli, na svakoj lokaciji u dve uzastopne proizvodne sezone (PS), u periodu 2014–2017. god.

Sorta	Prinos zrna (t/ha)					
	Zemun Polje			Padinska Skela		
	PS	Kontrola	Zn	PS	Kontrola	Zn
Talas	2015/16.	6,05 bA	5,95 bcA	2014/15.	8,23 bcA	8,56 bA
Ratarica		5,80 bA	5,84 cA		9,23 bA	9,27 bA
NS 40S		7,36 aA	7,51 aA		10,52 aA	10,66 aA
Dika		6,70 abA	6,64 acA		8,02 cB	8,46 bA
Simonida		6,68 bA	6,91 aA		8,39 bcA	8,59 bA
Prosek		6,52	6,57		8,88	9,11
Talas	2016/17.	7,13 aA	7,41 aA	2015/16.	6,60 bA	6,67 bcA
Ratarica		7,55 aB	8,01 aA		6,47 bA	6,42 bcA
NS 40S		7,23 aA	7,32 abA		7,02 aA	6,90 cA
Dika		7,21 aA	7,36 abA		5,84 bA	6,06 bA
Simonida		6,19 bA	6,55 bA		7,64 aA	7,90 aA
Prosek		7,06	7,33		6,71	6,79
Dvogodišnji prosek		6,79	6,95		7,79	7,95
Sredine za fol. Zn		7,29A	7,45A			
Sredine za lokacije	Zemun Polje	Padinska Skela				
	6,87B	7,87A				

Vrednosti predstavljaju prosek četiri ponavljanja. Različita mala slova označavaju značajne razlike između sorti, velika slova označavaju značajne razlike između kontrole i folijarne primene cinka za svaku sortu, odvojeno za dve lokacije i dve proizvodne (jednofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P<0,05$); različita velika slova označavaju i razlike između sredina za folijarni tretman i lokacije (trofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P<0,05$).

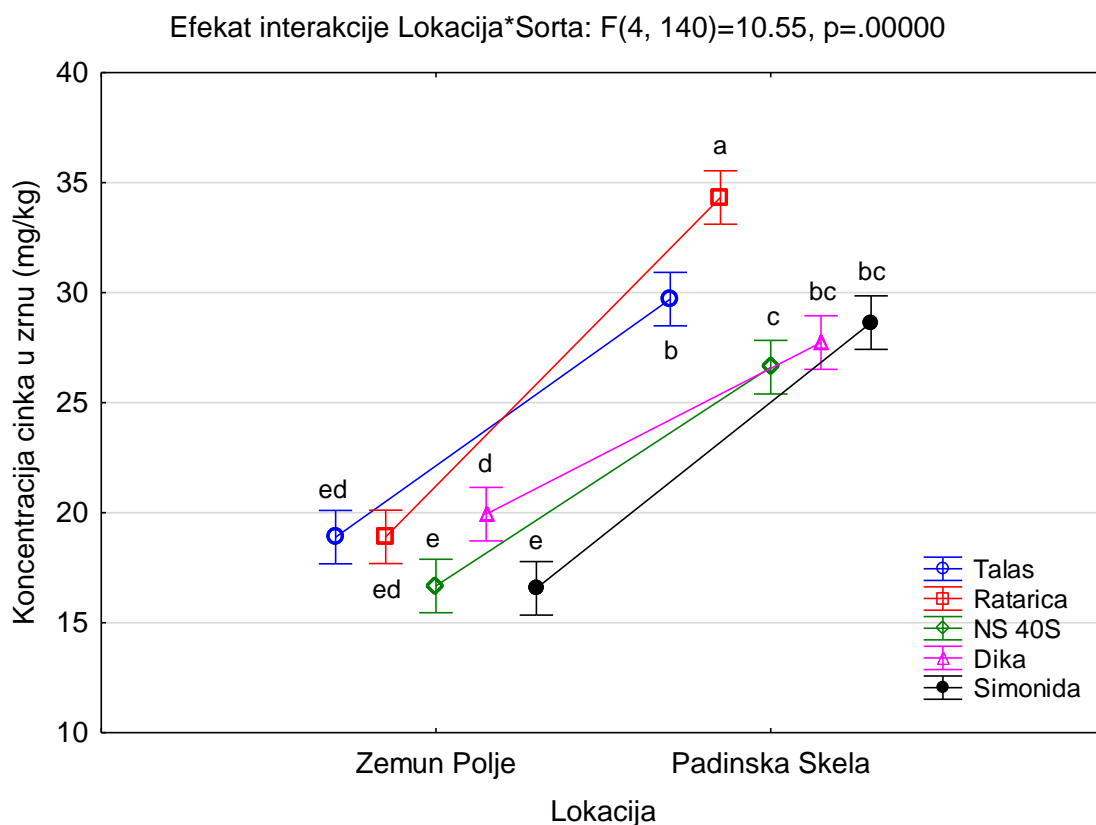


Grafik 7. Prosečno povećanje prinosa zrna jednokratnom primenom cinka ozime hlebne pšenice gajene na dve lokacije. Prosečno povećanje je računato kao povećanje u odnosu na kontrolu u proseku za pet sorti i dve proizvodne sezone. Ista slova znače da razlike između dve lokacije nisu značajne (t test uparenih uzoraka, $P < 0,05$).

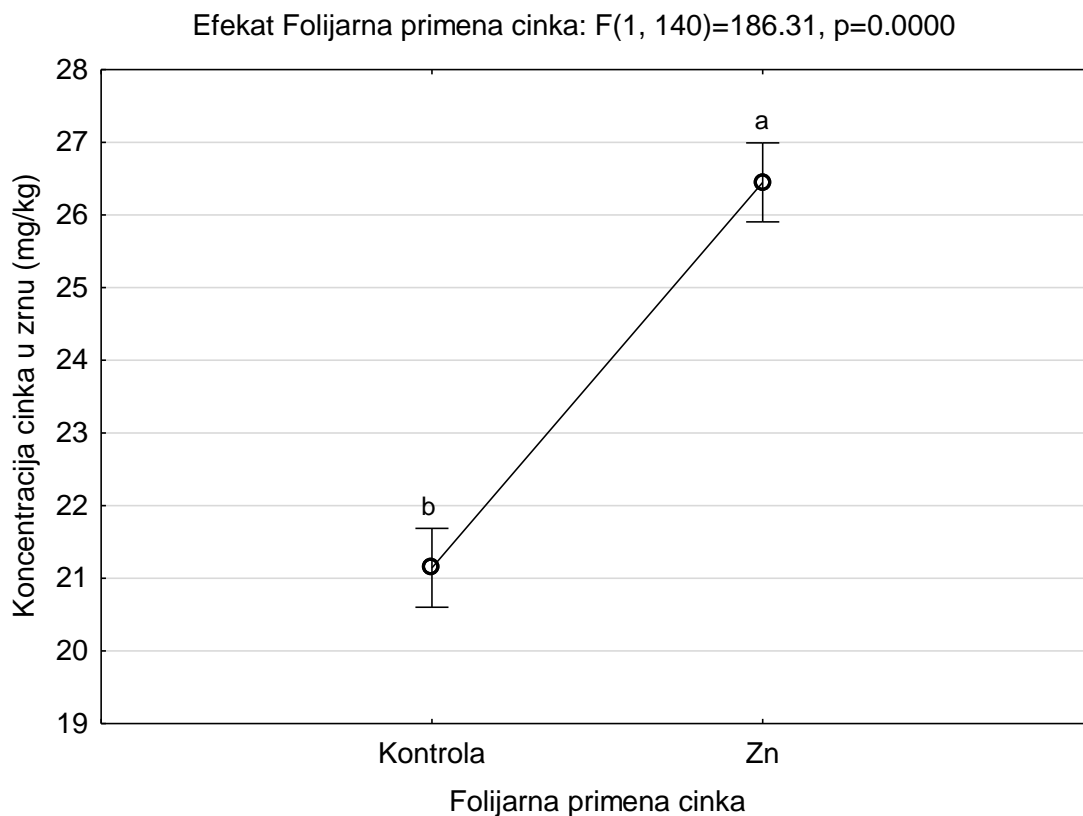
5.2.2 Uticaj lokacije, sorte i folijarne primene cinka na koncentraciju cinka u zrnu pšenice

Trofaktorska analiza varijanse je otkrila značajnu interakciju između lokacije i sorte za nivo cinka u zrnu (Tabela 14). U proseku za faktor folijarni tretman cinkom i dve proizvodne sezone, koncentracija cinka u zrnu sorte Ratarica gajene u Padinskoj Skeli je bila značajno viša u odnosu na sve ostale interakcije sorti i lokacije (Grafik 8). Nivo cinka u zrnu sorte Ratarica bio je viši u Padinskoj Skeli u odnosu na Zemun Polje za 82%, što je znatno veća razlika od onih zabeleženih za sorte Talas, NS 40S, Dika i Simonida (57%, 60%, 40% i 70%, po redu). Sva tri faktora, folijarna primena cinka, lokacija i sorta i imali su značajan uticaj na koncentraciju cinka u zrnu (Tabela 14). Folijarnom primenom cinka na kraju cvetanja prosečna koncentracija cinka u zrnu pet sorti pšenice gajenih na dve lokacije i tokom dve proizvodne sezone povećana je sa 21,2 mg/kg na 26,6 mg/kg (Grafik 9).

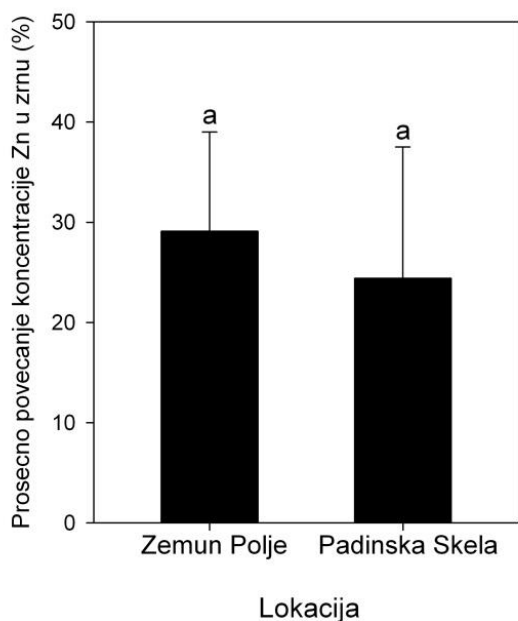
U proseku za ceo ogled, nivo cinka je bio značajno viši u Padinskoj Skeli (29,4 mg/kg) u odnosu na Zemun Polje (17,2 mg/kg) (Tabela 16). U proseku za sorte i dve proizvodne sezone, koncentracija cinka u zrnu u kontroli i folijarnom tretmanu cinkom u Zemun Polju (15,9 mg/kg i 20,5 mg/kg, po redu) bili su znatno niži u poređenju sa lokacijom Padinska Skela (26,4 mg/kg i 32,6 mg/kg, po redu). Prosečno povećanje nivoa cinka u zrnu bilo je veće u Zemun Polju nego u Padinskoj Skeli (29,1% i 24,4%, po redu), ali razlike nisu bile značajne (Grafik 10).



Grafik 8. Uticaj interakcije lokacije i sorte na koncentraciju cinka u zrnu pet sorti ozime hlebne pšenice gajenih na dve lokacije, u proseku za dve uzastopne proizvodne sezone. Različita slova ukazuju da se srednje vrednosti značajno razlikuju ($P<0,05$). Vertikalne linije znače interval poverenja od 95%.

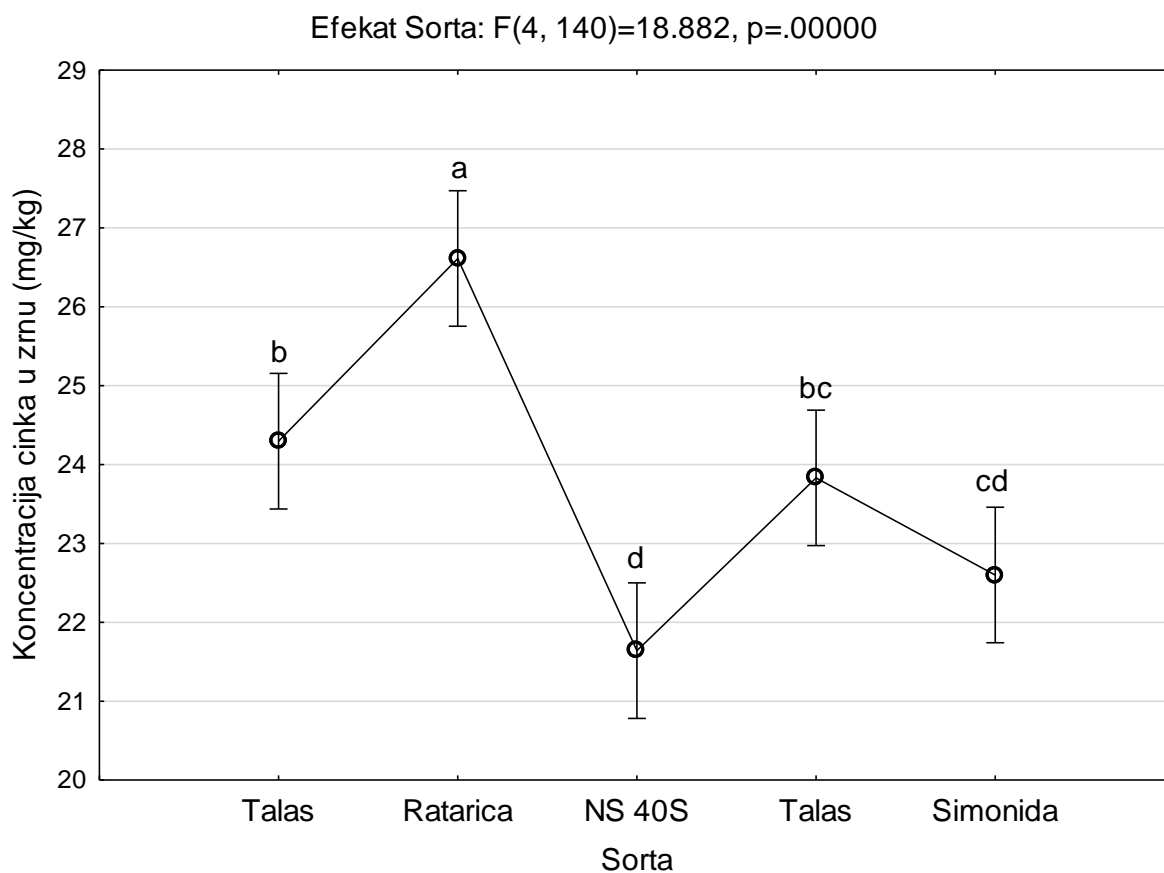


Grafik 9. Uticaj folijarne primene cinka na koncentraciju cinka u zrnu pšenice u proseku za dve lokacije, pet sorti i dve proizvodne sezone. Različita slova ukazuju da se srednje vrednosti značajno razlikuju ($P<0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije znače interval poverenja od 95%.



Grafik 10. Prosečno povećanja koncentracije cinka u zrnju folijarnom primenom cinka ozime hlebne pšenice gajene na dve lokacije. Prosečno povećanje je računato kao povećanje u odnosu na kontrolu u proseku za pet sorti i dve proizvodne sezone. Ista slova znače da razlike između dve lokacije nisu značajne (t test uparenih uzoraka, $p < 0,5$).

U proseku za ceo ogled koji je obuhvatio pet sorti gajenih na dve lokacije u dve proizvodne sezone koncentracija cinka u zrnju sorte Ratarica (26,6 mg/kg) je bila značajno viša u odnosu na sorte Talas, NS 40S, Dika i Simonida (24,3 mg/kg, 21,6 mg/kg, 23,8 mg/kg i 22,6 mg/kg, po redu) (Grafik 11).



Grafik 11. Uticaj sorte na koncentraciju cinka u zrnju pšenice u proseku za folijarni tretman cinkom, dve lokacije, i dve proizvodne sezone. Različita slova ukazuju da se srednje vrednosti značajno razlikuju ($P < 0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije znače interval poverenja od 95%.

Dalje je urađena jednofaktorska analiza varijanse za uticaj folijarne primene cinka na njegovu koncentraciju u zrnu zasebno za svaku sortu, lokaciju i godinu (Tabela 16), da bi se detaljnije proučio odgovor pet sorti pšenice na ovaj tretman. Folijarna primena cinka je dovela do značajnog povećanja nivoa cinka u zrnu svih ispitanih sorti. Relativan porast koncentracije cinka u zrnu u odnosu na kontrolu u Zemun Polju u dve uzastopne godine varirao je od 17%, za sorte Talas i Ratarica u prvoj godini, pa do 43%, za sortu Simonida u drugoj godini, što je bilo oko 5 mg/kg. Slično povećanje nivoa cinka u zrnu folijarnom primenom cinka zabeležena su i u Padinskoj Skeli, i to najmanje 15%, za sorte Ratarica u prvoj godini i Talas u drugoj godini, a najveće za 49%, za sortu Simonida u drugoj godini, što je bio apsolutni porast oko 10 mg/kg za ovu sortu.

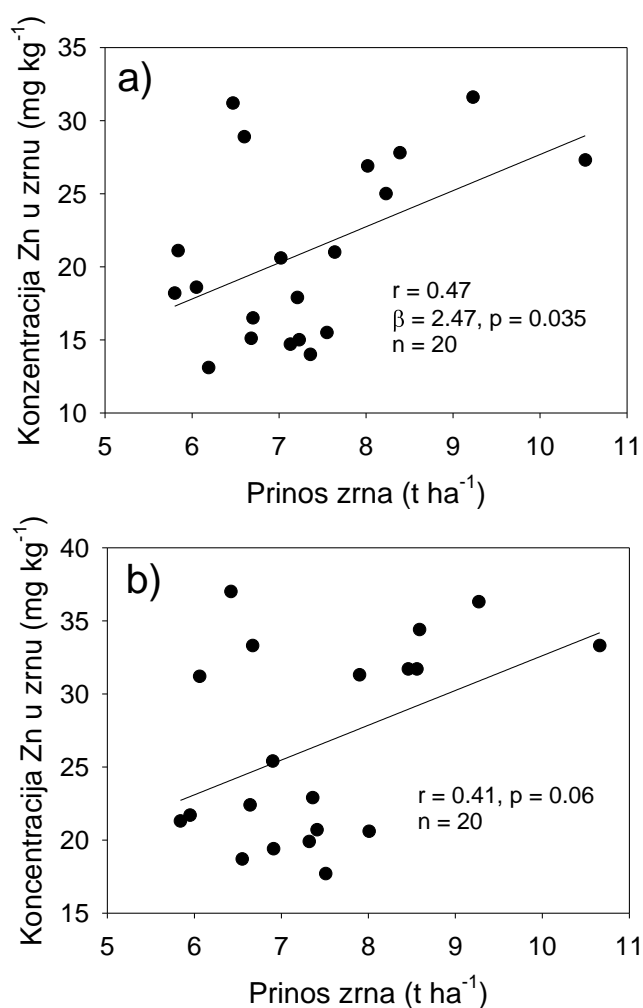
Tabela 16. Uticaj folijarne primene cinka na kraju cvetanja na koncentraciju cinka u zrnu ozmih hlebnih sorti pšenice Zemun Polju i Padinskoj Skeli, na svakoj lokaciji u dve uzastopne proizvodne sezone (PS), u periodu 2014–2017. god.

Sorta	Koncentracija Zn u zrnu (mg/kg)					
	Zemun Polje			Padinska Skela		
	PS	Kontrola	Zn	PS	Kontrola	Zn
Talas	2015/16.	18,6 aB	21,7aA	2015/16.	25,0 bB	31,7 aA
Ratarica		18,2 aB	21,3aA		31,6 aB	36,3 aA
NS 40S		14,0 cB	17,7bA		27,3 bB	33,3 aA
Dika		16,5 bB	22,4aA		26,9 bB	31,7 aA
Simonida		15,1 bcB	19,4bA		27,8a bB	34,4A
Prosek		16,5	20,5		27,7	33,5
Talas	2016/17.	14,7bB	20,7 aA	2016/17.	28,9 bB	33,3 abA
Ratarica		15,5 bcB	20,6 aA		31,2 aB	37,0 aA
NS 40S		15,0 bB	19,9 aA		20,6 cB	25,4 cA
Dika		17,9 aB	22,9 aA		21,1 cB	31,2 bA
Simonida		13,1 cB	18,7 aA		21,0 cB	31,3 bA
Prosek		15,2	20,6		25,2	31,6
Dvogodišnji prosek		15,9	20,5		26,4	32,6
Sredine za lokacije	Zemun Polje	Padinska Skela				
	17,2 B	29,4 A				

Vrednosti predstavljaju prosek četiri ponavljanja. Različita mala slova označavaju značajne razlike između sorti zasebno za kontrolu i folijarni tretman, a velika slova označavaju značajne razlike između kontrole i folijarne primene cinka za svaku sortu, odvojeno za dve lokacije i dve proizvodne sezone (jednofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P<0.05$); različita velika slova označavaju i značajne razlike između sredina za lokacije (trofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P<0.05$).

Koncentracija cinka u zrnu sorti Talas i Ratarica bila je u Zemun Polju u prvoj godini 18,6 mg/kg i 18,2 mg/kg, po redu, značajno viša u odnosu na ostale ispitane sorte, dok je u drugoj godini to bio slučaj sa sortom Dika kod koje je nivo cinka u zrnu bio 17,9 mg/kg. Najviša koncentracija u Padinskoj Skeli je u obe godine izmerena za sortu Ratarica, i bile su značajno više u odnosu na ostale sorte.

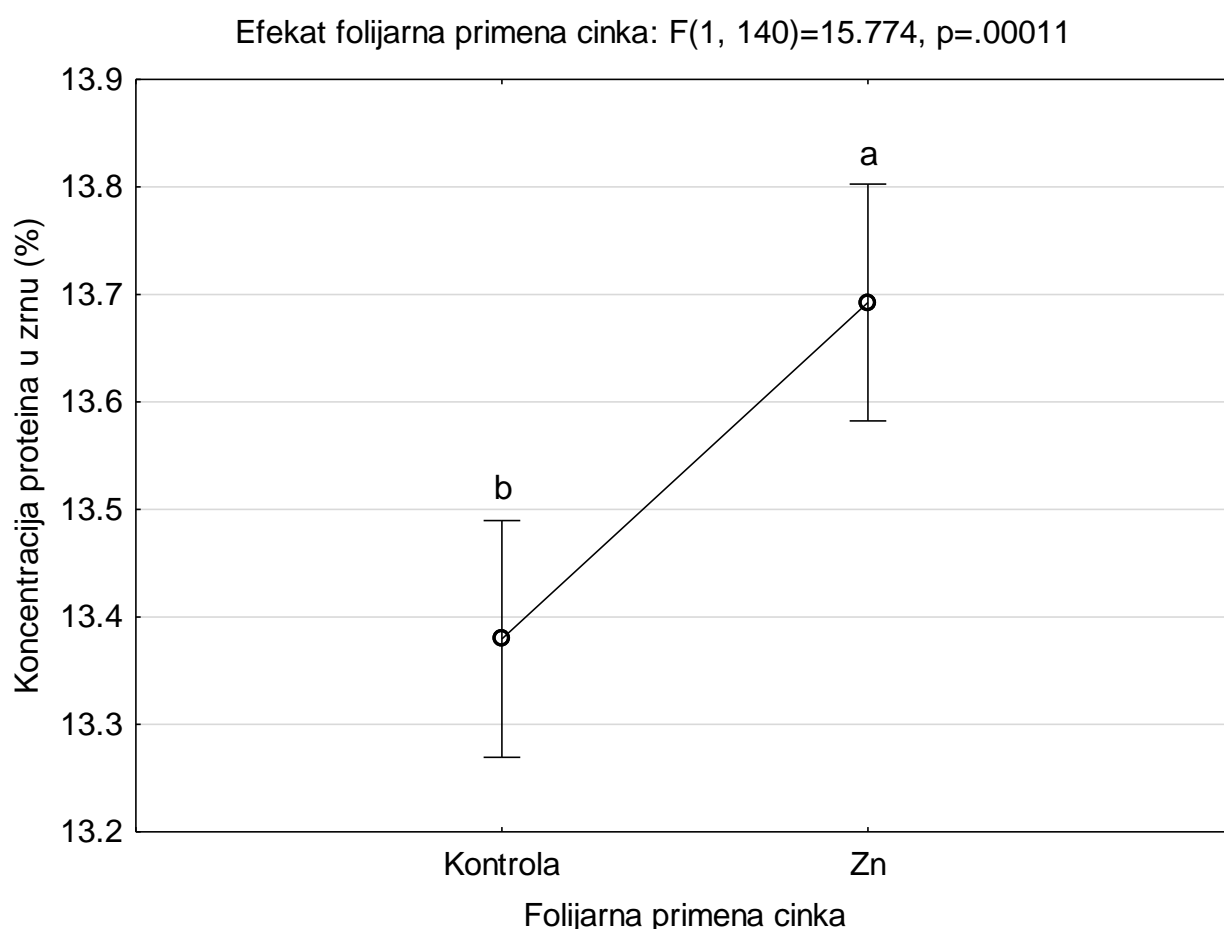
Povećanje prinosa zrna nije bilo u korelaciji sa smanjenjem koncentracija cinka u zrnu (Grafik 16). Bez folijarnog tretmana cinkom, koeficijent korelacije je bio značajan, svako povećanje prinosa zrna od 1 t/ha, bilo je praćeno je povećanjem koncentracije cinka u zrnu od 2,47 mg/kg (nagib regresione prave, Grafik 16A). Sa druge strane, u slučaju folijarne primene cinka nije mogla biti ustanovljena statistička značajnost linearne zavisnosti koncentracije cinka u zrnu od prinosa zrna Grafik 16B). Analiza kovarijanse (ANCOVA) svih uzoraka (tretiranih i netretiranih) pokazala je da folijarna primena cinka ne menja linearnu zavisnost koncentracije cinka u zrnu od prinosa zrna (interakcija prinos zrna*primena cinka nije bila značajna, rezultati nisu prikazani). Ova analiza je dalje pokazala da, ako se uzmu u obzir svi (tretirani i netretirani uzorci), zajednički β koeficijent linearne regresije je statistički značajan ($p=0.0043$) te se za svaku tonu povećanja prinosa po hektaru koncentracija cinka u zrnu povećava u proseku za 2,43 mg/kg (95% interval poverenja pokazuje da to povećanje može iznositi 0,8-4,0 mg/kg).



Grafik 16. Uticaj povećanja prinosa zrna na koncentraciju cinka u zrnu. Prikazani su podaci za pet sorti ozime hlebne pšenice gajenih na dve lokacije tokom dve proizvodne sezone; a) kontrola (bez primene cinka); b) jednokratna primena cinka na kraju cvetanja; p – P vrednost modela linearne regresije (na $\alpha=0.05$); β – nagib regresione prave; r – Pearson-ov koeficijent korelacije; n – broj uzoraka.

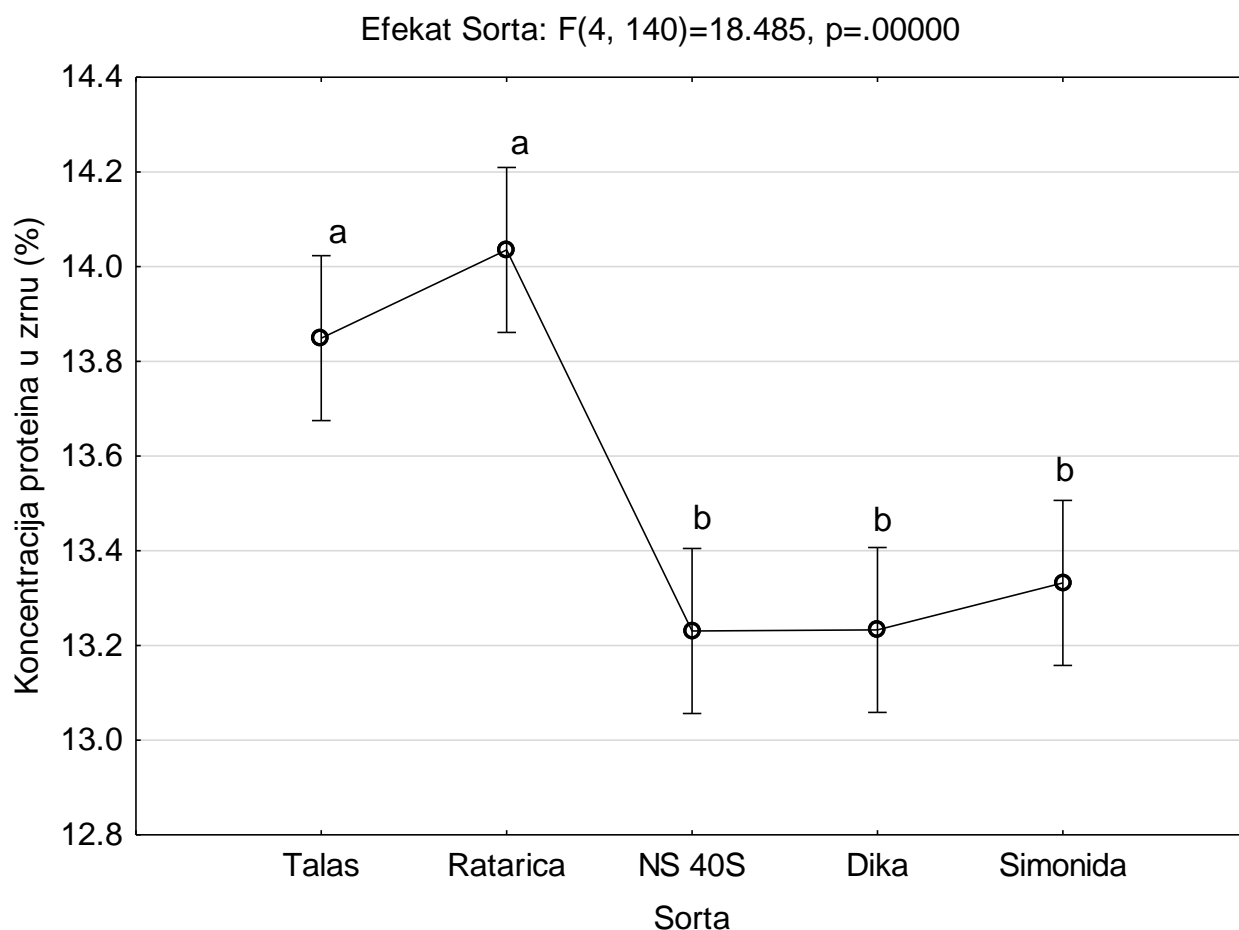
5.2.3 Uticaj lokacije, sorte i folijarne primene cinka na koncentraciju proteina u zrnu pšenice

Trofaktorska analiza varijanse otkrila je značajan uticaj lokacije, sorte i folijarne primene cinka na koncentraciju proteina u zrnu u proseku za dve proizvodne sezone, i nije detektovana značajna interakcija između ova tri faktora (Tabela 14). Folijarnom primenom cinka na kraju cvetanja koncentracija proteina u zrnu je značajno povećana, i to sa 13,4% na 13,7% u proseku za dve lokacije, pet sorti i dve proizvodne sezone ($P<0,05$). (Grafik 12). U Zemun Polju je, u proseku za sorte, folijanu primenu cinka i proizvodne sezone nivo proteina u zrnu bio značajno viši (13,8%) nego na lokaciji Padinska Skela (13,3%) ($P<0,05$) (Tabela 17).



Grafik 12. Uticaj folijarne primene cinka na kraju cvetanja na koncentraciju cinka u zrnu pšenice, u proseku za dve loakcije, pet sorti i dve proizvodne sezone. Različita slova ukazuju da se srednje vrednosti razlikuju značajno ($P<0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.

Koncentracije proteina u zrnu sorti Talas i Ratarica, u proseku za folijarnu primenu cinka, dve lokacije i dve proizvodne sezone (13,85% i 14,04%, po redu) bile su značajno više u odnosu na sorte NS 40S, Dika i Simonida (13,23%, 13,23% i 13,33%, po redu) ($P<0,05$) (Grafik 13).



Grafik 13. Uticaj sorte na koncentraciju cinka u zrnu pšenice, u proseku za folijarni tretman cinkom, dve loakcije i dve godine. Srednje vrednosti označene istim slovom ne razlikuju se značajno ($P<0,05$, Tukey's test posle trofaktorske analize varijanse). Vertikalne linije označavaju interval poverenja od 95%.

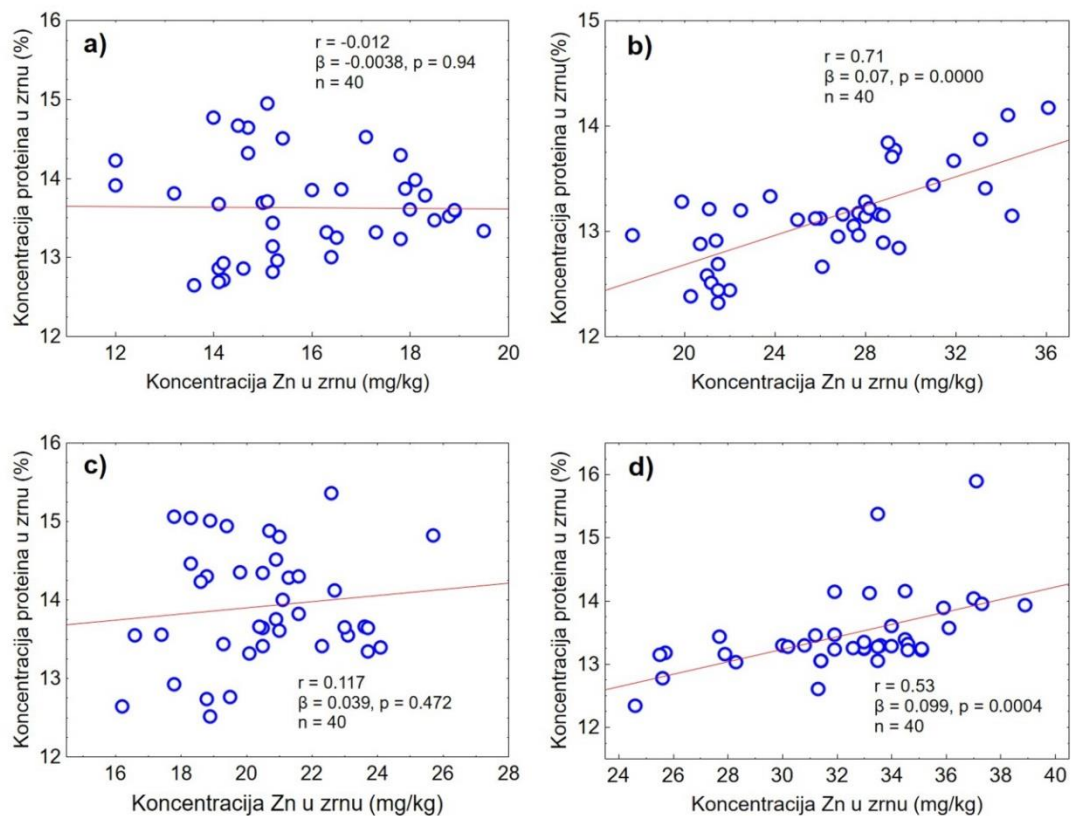
Na nivou celog ogleđa koncentracija proteina u zrnu pšenice se varirala od 12,7 do 14,9%. Jednofaktorska analiza varijanse za uticaj folijarne primene cinka na koncentraciju proteina u zrnu izvedena je odvojeno za svaku sortu za oba lokaliteta i dve proizvodne sezone (Tabela 17). Folijarna primena cinka je dovela do povećanja koncentracije proteina u zrnu svake sorte na nivou celog ogleđa, ali je povećanje bilo značajno u nekoliko slučajeva, i to na lokaciji Zemun Polje u prvoj proizvodnoj sezoni za sorte Talas i Dika (povećanje sa 13,4% na 13,7%), a u drugoj za sorte Talas, NS 40S i Simonida (povećanje sa 14,2% na 14,9%, sa 13,7% na 14,5% i sa 13,7% na 14,4%, po redu ($P<0,05$)). Najmanje relativno povećanje koncentracija proteina u odnosu na kontrolu od 0,6% je zabeleženo u drugoj godini za sortu Ratarica, a najveće je bilo 5,8% kod sorte NS 40S. Na lokaciji Padinska Skela folijarna primena cinka nije dovela do značajnog povećanja proteina u zrnu za ispitane sorte u prvoj proizvodnoj sezoni, ali jeste u drugoj, i to za sortu Talas, sa 13,6% na 14,4%, što je bilo povećanje od 5,8%, i sortu Dika, sa 12,5% na 13,0 ($P<0,05$), što je bilo povećanje od 4%. Prosečno povećanje nivoa proteina u zrnu folijarnom primenom cinka, mereno kao povećanje u odnosu na kontrolu u proseku za pet sorti, bilo je vrlo slično na dve lokacije, i to 2,5% u Zemun Polju i 2,4% u Padinskoj Skeli. Prosečne koncentracije proteina za pet sorti i folijarni tretman cinkom bile su u Padinskoj Skeli slične za dve proizvodne sezone, dok su u Zemun Polju u prvoj bile niže (13,2 i 13,4%) nego u drugoj (14,0 i 14,5%).

Tabela 17. Uticaj folijarne primene cinka na kraju cvetanja na koncentraciju proteina u zrnu ozmi hlebnih sorti pšenice gajenih na dve lokacije, na svakoj lokaciji u dve uzastopne proizvodne sezone (PS), u periodu 2014–2017. godine.

Sorta	Koncentracija proteina u zrnu (%)					
	Zemun Polje			Padinska Skela		
	PS	Kontrola	Zn	PS	Kontrola	Zn
Talas	2015/16.	13,4 bB	13,7 abA	2014/15.	13,1 aA	13,3 aA
Ratarica		13,9 aA	14,0 aA		13,4 aA	13,6 aA
NS 40S		12,7 dA	13,0 bA		13,0 aA	13,2 aA
Dika		13,2 bcB	13,5 abA		13,1 aA	13,3 aA
Simonida		12,9 cdA	13,0 bA		13,1 aB	13,4 aA
Prosek		13,2	13,4		13,1	13,3
Talas	2016/17.	14,2 aB	14,9 aA	2015/16.	13,6 aB	14,4 aA
Ratarica		14,7 aA	14,8 aA		13,8 aA	14,2 abA
NS 40S		13,7 bB	14,5 aA		12,8 bA	12,9 cA
Dika		13,7 bA	13,8 bA		12,5 bB	13,0 cA
Simonida		13,7 bB	14,4 aA		12,9 bA	13,2 bcA
Prosek		14,0	14,5		13,1	13,5
Dvogodišnji prosek		13,6	14,0		13,1	13,4
Sredine za lokacije	Zemun Polje	Padinska Skela				
	13,8 A	13,3 B				

Vrednosti predstavljaju prosek četiri ponavljanja. Različita mala slova označavaju značajne razlike između sorti zasebno za kontrolu i folijarni tretman, a velika slova označavaju značajne razlike između kontrole i folijarne primene cinka za svaku sortu, odvojeno za dve lokacije i dve proizvodne sezone (jednofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P < 0.05$); različita velika slova označavaju i značajne razlike između sredina za lokacije (trofaktorska analiza varijanse, Tukey's test, $P < 0.05$).

Na osnovu podataka dobijenih na lokaciji Zemun Polje nije utvrđena statistička značajnost linerane regresije sadržaja proteina na sadržaj cinka u pet ispitivanih sorti pšenice, niti u kontroli (bez folijarne primene cinka, Grafik 17a), niti u tretmanu sa folijarnom primenom cinka (Grafik 17b). To znači da ovde nije konkluzivno pokazana linearna zavisnost sadržaja proteina od sadržaja cinka u semenu, i da je korelacija ova dva parametra niska (apsolutna vrednost Pearson-ovog koeficijent korelacije $< 0,1$). Na lokaciji Padinska Skela, sa druge strane, statistička značajnost modela linearne zavisnosti pomenuta dva parametra jeste jasno pokazana, i u kontroli (Grafik 17c) i u tretmanu sa folijarnom primenom cinka (Grafik 17d). Kada je u Padinskoj Skeli cink bio folijarno primenjen (Grafik 17d), svako povećanje koncentracije cinka u zrnu od 1 mg/kg bilo je praćeno povećanjem koncentracije proteina od skoro 0,1% (beta koeficijent linerane regresije, koji se, u intervalu poverenja od 95%, kretao u rasponu od 0,05 do 0,15).



Grafik 17. Linearna regresija koncentracije proteina u zrnu na koncentraciju cinka u zrnu pšenice. Prikazani su podaci za pet sorti ozime hlebne pšenice gajenih na dve lokacije tokom dve proizvodne sezone; a) Zemun Polje, kontrola (bez primene cinka); b) Padinska Skela, kontrola (bez primene cinka); c) Zemun Polje, jednokratna primena cinka na kraju cvetanja; d) Padinska Skela, jednokratna primena cinka na kraju cvetanja; p – P vrednost modela linearne regresije (na $\alpha=0.05$); r – Pearson-ov koeficijent; β – nagib regresione prave; n – broj uzoraka.

6. DISKUSIJA

6.1 Uticaj predsetvenog tretmana semena cinkom na koncentraciju cinka u semenu

Tretiranjem semena cinkom pre setve znatno je povećana koncentracija cinka u semenu svih sorti (Tabela 3). U odnosu na netretirano seme (kontrolu), nivo cinka je povećan, posmatrano za sve sorte od 7,1 do 8,6 puta. Slična povećanja su dobijena u ranijim istraživanjima posle tretmana semena cinkom, na primer za seme pšenice (Atar et al., 2020), ječma (Ajouri et al., 2004) i kukuruza (Harris et al., 2007; Imran et al., 2013). Suprotno ovome, Imran et al. (2012) su proučavajući uticaj predsetvenog tretmana semena spanaća cinkom na klijanje na niskoj temperaturi, dobili znatno veće povećanje koncentracije cinka u semenu spanaća, i to za 30 i 40 puta, ali sa višim koncentracijama cinka u hranljivom rastvoru u kome je potapano seme, i to 6 mM i 10 mM Zn. Harris et al. (2008) su takođe dobili 20 puta veći nivo cinka u semenu pšenice tretmanom semena sa cinkom i istakli da su se seme nauta i pšenice razlikovali prema osetljivosti na primenjene koncentracije cinka. U svim pomenutim istraživanjima primenjene su koncentracije koje nisu imale toksičan efekat na biljke, dok su Reis et al. (2018) proučavajući mogućnost biofortifikacije pšenice cinkom i gvoždem, pokazali da su koncentracije cinka više od 2 mg/L značajno povećale broj ćelija sa anomalijama, dok je tretman sa 8 mg/L imao negativan efekat na klijanje, mitozu i prinos zrna. Samad et al. (2014) su preporučili rastvore za predsetveni tretman semena pšenice sa maksimalnom koncentracijom cinka od 0,1%.

6.2 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte i na suhu masu glavnog izdanka i ukupnu suhu masu svih izdanaka

U velikom broju dosadašnjih istraživanja je pokazano da predsetveni tretman semena vodom i cinkom poboljšava klijanje semena, nicanje u polju i rast ponika. Tako su Rehman et al. (2015) utvrdili da je tretman vodom poboljšao klijanje semena i rast ponika pšenice kada je seme naklijavano na filter papiru, ali je tretman sa cinkom bio efikasniji. Slična zapažanja su bila i kada je seme posejano u pesak, a pokazatelji su mereni dvanaest dana posle setve, pri čemu je utvrđen različit odgovor dve sorte na predsetvene tretmane. Harris et al. (2008) su mereći suhu masu ponika pšenice 15 dana posle setve u poljskom ogledu takođe pokazali da tretiranje semena cinkom pre setve ima jači pozitivan efekat na rast biljaka nego tretman vodom. Predsetveni tretman semena kukuruza cinkom je poboljšao rast kukuruza u zemljištu siromašnom cinkom čija je suva masa, dužina nadzemnog izdanka i korena merena u fazi tri do pet razvijenih listova (Niizah et al. (2020), ali nije proučavan i tretman sa vodom. Tretman semena sa 0,1% cink-sulfatom takođe je poboljšao klijanje i nicanje kukuruza u polju u semiaridnom području Zimbabvea (Foti et al., 2008), ali takođe nije proučavan uticaj tretmana vodom. U prikazanom istraživanju predsetveni tretman semena vodom i cinkom nije ispoljio uticaj na nicanje koje je bilo isto za kontrolu, tretman vodom ili cinkom, što je utvrđeno vizuelno, ali podaci nisu sakupljeni.

Međutim, mali je broj dostupnih ranijih istraživanja u kojima je u poljskim ogledima praćen uticaj predsetvenog tretmana vodom ili cinkom na rast pšenice i drugih useva u kasnijim fenofazama rasta. U prikazanom istraživanju, suva masa glavnog izdanka i ukupna masa svih izdanaka u fazi vlatnja mereni su da bi se proučio uticaj predsetvenog tretmana semena na rast

biljaka u proleće. Predsetveni tretman semena cinkom je na nivou celog ogleda značajno povećao suhu masu glavnog izdanka i ukupnu suhu masu svih izdanaka merenih u fazi vlatanja samo u odnosu na kontrolu (Grafik 1 i Grafik 2), što je za tretman vodom bio slučaj samo za ukupnu suhu masu svih izdanaka (Grafik 2). Međutim, posmatrano po lokacijama za svaku proizvodnu sezonu, tretman semena je značajno uticao na suhu masu pšenice samo u Zemun Polju u drugoj proizvodnoj sezoni (Tabela 5). Povećanje suve mase glavnog izdanka tretmanom cinkom u odnosu na kontrolu je bilo značajno samo u tri slučaja za ceo ogled, pri čemu razlike u odnosu na tretman sa vodom nisu bile značajne (Tabela 6). Ukupna suva masa svih izdanaka povećana je u tretmanu sa cinkom u odnosu na kontrolu za sedam slučajeva, dok je povećanje u odnosu na tretman sa vodom bilo značajno za dva slučaja (Tabela 7). Poboljšan porast biljaka može da se dovede u vezu sa ulogom cinka u fiziološkim procesima u biljkama, kao što su deoba, izduživanje i uvećanje ćelije (Cakmak 2000). Prikazani rezultati su u saglasnosti sa istraživanjem koje su izveli Tamindžić et al. (u štampi), u kome je u poljskom ogledu, šest nedelja posle nicanja, utvrđeno da je isti predsetveni tretman semena cinkom kao u prikazanom istraživanju poboljšao rast biljaka hibrida kukuruza, kod nekih i u odnosu na tretman sa vodom. Nedavno su Hassan et al. (2019) u Pakistanu pokazali da je stopa rasta listova dve sorte pšenice merenih 75–85 dana i 85–95 dana posle setve bila povećana tretmanom semena cinkom pre setve, ali kod obe sorte povećanje nije bilo značajno u oba perioda. Sa druge strane, predsetveni tretman sa vodom nije poboljšao rast kukuruza u ogledu u stakleniku koji su izveli Subedi and Ma (2005). Imajući u vidu rezultate prikazanih istraživanja, detaljnije proučavanje uticaja predsetvenog tretmana semena cinkom, ali i vodom, na rast pšenice u našem proizvodnom području treba da bude predmet budućih istraživanja. Značajan uticaj interakcije između lokacije i sorte na suhu masu biljaka (Tabela 4) je bio očekivan, i ova interakcija je mnogo značajnija za prinos zrna.

6.3 Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na komponente prinosa

Rezultati prikazanog istraživanja su pokazali da predsetveni tretman semena nije značajno uticao na komponente prinosa (Tabela 8, Tabela 10, Grafik 3), što je u saglasnosti sa prethodnim rezultatima koji se odnose na broj zrna po klasu (Rehman et al., 2018), ali su isti istraživači pokazali značajno povećanje mase 1000 zrna tretmanom semena sa cinkom u odnosu na tretman sa vodom. Slično prikazanim rezultatima Reis et al. (2018) su u poljskom ogledu u Portugaliji dobili neznatno povećanje broja zrna po klasu tretmanom semena pšenice pre setve sa različitim koncentracijama cinka, ali ne i mase zrna po klasu, ali u pomenutom istraživanju nije merena masa 1000 zrna. Nicanje u polju je praćeno, ali nisu beleženi podaci jer nije bilo razlika između kontrole i dva predsetvena tretmana semena tokom celog perioda izvođenja ogleda, stoga nije meren ni broj klasova/m². Međutim, u proizvodnji ozime pšenice u područjima sa niskim temperaturama tokom zime dolazi do oštećenja biljaka, na šta osim niskih temperatura znatno utiču i osobine zemljišta. Tako su Kondić et al. (2016) pokazali da u našem proizvodnom području za dve proizvodne sezone prosečno prezimljavanje za tri sorte pšenice, među kojima je bila i NS 40S, bilo 50%, dok su Protić i sar. (2004) u proseku za tri sorte dobili prezimljavanje oko 80%. Ranije su Imran et al. (2013) ukazali na to da predsetveni tretman semena cinkom i manganom ublažava stres niske temperature u zoni korena kukuruza. Stoga je moguće da je u prikazanim istraživanjima u drugoj proizvodnoj sezoni kada je došlo do značajnom povećanja prinosa tretmanom sa cinkom (Tabela 13) pšenica imala bolje prezimljavanje u odnosu na kontrolu i tretman sa vodom, što treba da bude predmet budućih istraživanja.

6.4. Uticaj predsetvenog tretmana semena, lokacije i sorte na prinos zrna pšenice

Koncentracija frakcije cinka u zemljištu koja je dostupna biljkama, na obe lokacije je bila viša od 0,5 mg/kg što je široko prihvaćena vrednost kritična za nedostatak dostupnog cinka (Cakmak et al., 1999; Sims and Johnson, 1991). Na osnovu standarda koji su za karbonatna zemljišta predložili Liu et al. (1982), prema kome su zemljišta sa koncentracijom od 0,5–1,0 mg/kg (ekstrakcija cinka sa DTPA) potencijalano deficitarna u cinku dostupnom biljkama, zemljište u Zemun Polju (0,88 mg/kg DTPA-Zn; Tabela 1) može da se klasifikuje kao takvo. Nasuprot ovome, oko 50% zemljišta u glavnim proizvodnim područjima pšenice u svetu su deficitarna u cinku dostupnom biljkama (Graham and Welch, 1996), što u značajnoj meri utiče na proizvodnju, kao što je, na primer, pokazano u Turskoj (Cakmak et al., 1999; Kalayci et al., 1999). Međutim, u prikazanom istraživanju prinos zrna je bio visok za sve sorte (Tabela 12), tako da cink u zemljištu u Zemun Polju najverovatnije nije uticao na prinos zrna. Zanimljivo je da su Liu et al. (2017b), ukazali da je za visok prinos zrna pšenice bila potrebna koncentracija od 1,98 mg/kg DTPA-Zn u zemljištu i 29,4 mg/kg Zn u nadzemnom delu biljaka, dok su Liu et al. (2017a) istakli da je optimalna koncentracija DTPA-Zn u zemljištu od 4,7 mg/kg potrebna da bi se postigli visoki prinosi kukuruza. Stoga bi praćenje koncentracije cinka u zemljištu koji je dostupan biljkama i koncentracije cinka u biljnom tkivu pšenice na alkalnim i karbonatnim zemljištima u Srbiji trebalo da bude predmet budućih istraživanja.

Tretman semena pred setvu imao je značajan uticaj na prinos zrna posmatrano za ceo ogled (Tabela 11), tako što je tretman sa cinkom značajno povećao prinos u odnosu na kontrolu i tretman sa vodom, dok razlika između kontrole i tretmana sa vodom nije bila značajna (Grafik 5), što ukazuje na dodatni pozitivan efekat cinka u odnosu na hidrataciju semena. Međutim, uticaj tretmana semena se razlikovao po proizvodnim sezonama i bio je značajan samo u drugoj proizvodnoj sezoni za svaku lokaciju (Tabela 12). Ovi rezultati ukazuju da uticaj cinka nije zavisio od koncentracije cinka u zemljištu, koja je dostupna biljkama, prema čemu su se lokacije razlikovale. Jednofaktorska analiza varijanse izvedena zasebno za svaku sortu, lokaciju i proizvodnu sezonu pokazala je da je na obe lokacije, na svakoj od njih u prvoj proizvodnoj sezoni, kod nekih sorti zabeleženo neznatno povećanje prinosa predsetvenim tretmanima semena u odnosu na kontrolu, ali ono nije bilo značajno (Tabela 13). Sa druge strane, u drugoj proizvodnoj sezoni u Zemun Polju kod svih testiranih sorti prinos zrna je značajno povećan tretmanom cinkom u odnosu na tretman vodom i kontrolom, dok je u drugoj proizvodnoj sezoni na lokaciji Padinska Skela njegov uticaj bio manje izražen, što ukazuje da zavisi od faktora okoline. Kod sorti kod kojih su zabeležene razlike između tretmana semena, povećanje prinosa tretmanom cinkom u odnosu na tretman sa vodom bilo je 7–16,4%. Ranija istraživanja o uticaju tretmana semena vodom ili cinkom na prinos pšenice, uglavnom su rađena izvan područja Evrope. Tako je u nedavno izvedenim poljskim ogledima tretman semena pšenice, sa znatno višom koncentracijom cinka (0,5 M ZnSO₄) u odnosu na tretman primenjen u prikazanim istraživanjima, povećao broj sekundarnih produktivnih izdanaka i prinos pšenice u poređenju sa tretmanom vodom za 17% i 21% u dve proizvodne sezone u Pakistanu, pri čemu nije praćeno nicanje u polju (Rehman et al., 2018). Slične rezultate su sa istim tretmanom semena sa cinkom za pirinač u Pakistanu dobili Farooq et al. (2018). Hassan et al. (2019) su takođe pokazali da je tretman semena sa 0,01M Zn povećao broj produktivnih sekundarnih izdanaka/m² i doveo do povećanja prinosa zrna pšenice, ali je ovo povećanje, kako su autori istakli, bilo u vezi sa poboljšanim nicanjem i dobrim sklopom useva. Nedavno su Rashid et al. (2019) sprovedli istraživanje u Kini, Indiji, Pakistanu i Zambiji, u kome je u svakoj od država na više lokacija proučavan uticaj semena pšenice biofortifikovanog cinkom na nicanje i prinos zrna. Koncentracija cinka u biofortifikovanom semenu je varirala od 33–52 mg/kg, ali je nicanje poboljšano i prinos zrna povećan na nekim lokacijama, iako je nivo cinka u semenu bio znatno niži nego u prikazanom istraživanju (Tabela 3). Harris et al. (2008) su, takođe u Pakistanu, pokazali da je u proseku za sedam ogleda prinos zrna pšenice povećan tretmanom sa cinkom za 14%, pri čemu su prinosi bili

niski, od 2,28 do 2,61 t/ha. Suprotno navedenim prethodnim istraživanjima, Kaya et al. (2007) su koristeći komercijalno đubrivo Teprosyn sa cinkom u količini od 600 g/L za tretman semena običnog pasulja pre setve, pokazali da je ovaj tretman značajno povećao visnu biljaka, ali nije imao uticaj na komponente prinosa i prinos zrna u polusušnim uslovima u centralnoj Anadoliji u Turskoj. Međutim, takođe je važno istaći da su pomenuta istraživanja izvedena u agroekološkim uslovima koja se znatno razlikuju u odnosu na one u kojima su izvedena prikazana istraživanja, posebno klimatski elementi. Takođe treba uzeti u obzir da bi viši nivo cinka u semenu možda imao jači uticaj na prinos zrna, imajući u vidu da je tek nedavno pokazano da tretman sa 0,5 M ZnSO₄ nema toksičan uticaj na pšenicu (Rehman et al., 2018).

Predsetveni tretman sa vodom nije značajno povećao prinos zrna u odnosu na kontrolu na nivou celog ogleada u prikazanom istraživanju (Grafik 5), i njegov uticaj je bio manje izražen nego tretman cinkom posmatrano odvojeno za svaku sortu (Tabela 13). Suprotno prikazanim rezultatima, u ranijim istraživanjima pokazan je pozitivan uticaj tretmana semena vodom na rast i prinos useva, ali su ona najčešće izvođena u semi aridnim i aridnim područjima. Tako je tretman semena vodom u Pakistanu povećao nicanje pšenice u različitim režimima navodnjavanja, samim tim i broj produktivnih sekundarnih izdanaka i prinos zrna (Ali et al., 2013), kao i prinos kukuruza za 6% (Harris et al., 2008). Pozitivan uticaj je zabeležen i u uslovima stresa saliniteta, na primer, Rashid et al. (2006) pokazali su da je tretman semena vodom povećao prinos slame i zrna ječma na zaslanjenom zemljištu, i poboljšao rast kukuruza gajenog u posudama sa zaslanjenim zemljištem (Basid et al., 2021) U Bangladešu je prinos zrna nauta povećan na gazdinsvima 35 proizvođača za 22%, zbog poboljšanog nicanja i rasta ponika, što je dalo dobar sklop useva i veći broj biljaka u žetvi, takođe je tretman vodom doveo do bržeg sazrevanja, zahvaljujući čemu su izbegunti stresni uslovi na kraju proizvodne sezone (Musa et al., 2011) i istovremeno je poboljšao nodulaciju. Takođe su i Ghassemi-Golezani et al. (2008) predstevnim tretmanom semena vodom u trajanju od 8, 16 i 24 h dobili značajno veću masu ponika u laboratorijskim istraživanjima, dok je nicanje na polju bilo poboljšano, pa je i prinos zrna bio značajno viši u svim tretmanima sa vodom u odnosu na kontrolu. Sa druge strane, Tamindžić et al. (u štampi) su pokazali da je na području Vojvodine, na zemljištu potencijalno deficitarnom u cinku, uticaj tretmana semena vodom imao pozitivan uticaj na rast i prinos kukuruza, ali je efekat tretmana semena cinkom bio više izražen. Rezultati istraživanja koje su u SAD izveli Schillinger and Giri (2003) su pokazali da uprkos tome što je tretman vodom doveo do neznatnog poboljšanja klijanja i nicanja dve sorte pšenice u laboratorijskim uslovima i u stakleniku, u poljskom ogledu je izostao uticaj tretmana na nicanje i prinos zrna u letnjoj setvi na većoj dubini.

Povećanje prinosa zrna u prikazanom istraživanju ne može da se dovede u direktnu vezu sa merenim komponentama prinosa, jer oba predsetvena tretmana semena, vodom i cinkom jesu povećali broj klasića po klasu, broj zrna po klasu i masa zrna po klasu na nivou celog ogleada (Grafik 3), ali razlike između tretmana semena nisu bile značajne, takođe kada je uticaj tretmana analiziran zasebno sa svaku sortu (Tabela 10). Kao što je već istaknuto u diskusiji za uticaj predsetvenog tretmana na komponente prinosa, u budućim istraživanjima treba proučiti i uticaj na prezimljavanje pšenice, jer je na obe lokacije u drugoj proizvodnoj sezoni, kada je tretman semena značajno povećao prinos zrna (Tabela 13), temperatura vazduha u januaru bila niža nego u prvoj sezoni (Tabela 3). Takođe, treba uzeti u obzir i to da se sorte pšenice razlikuju prema intezitetu bokorenja. Na primer, pokazano je da se broj klasova/m² značajno razlikovao između osam sorti kao i između dve setvene norme za svaku sortu koje se gaje u našem proizvodnom području (Varga i sar., 2000), što takođe treba imati u vidu u budućim istraživanjima.

Kao što je bilo očekivano, u prikazanom istraživanju zabeležena je značajna interakcija između lokacije i sorte za broj zrna po klasu, masu zrna po klasu i masu 1000 zrna (Tabela 8) i za prinos zrna (Tabela 11). Značajna interakcija između lokacije i sorte je očekivana kada je reč o

različitim geografskim područjima i kada su sorte genetički divergentne (Peterson et al., 1992; Ortiz, et al., 2001; Hristov, 2004). Mladenov i Milošević (2011) su na području Vojvodine dobili značajnu interakciju lokacije i sorte, a među proučavanim sortama pšenice bile su i Simonida i NS 40S, koje su imale prinos zrna 7,43 t/ha i 7,61 t/ha, po redu. Vrlo visok prinos zrna sorte NS 40S u prvoj proizvodnoj sezoni na lokaciji Padniska Skela (Tabela 12), u saglasnosti je sa rezultatima sortnih oglada Miroslavljevića i sar. (2019), Hristova i sar. (2014) i Mandića i sar. (2019).

6.5 Uticaj folijarne primene cinka, lokacije i sorte na prinos zrna pšenice

U prikazanom istraživanju jednokratna folijarna primena cinka nije imala negativan uticaj na prinos svih ispitivanih domaćih sorti hlebne ozime pšenice (Tabela 15), i uticaj tretmana nije bio značajan na nivou celog oglada (Tabela 14). Slični rezultati su dobijeni kada je cink primenjen dva puta folijarno u kasnijim fazama rasta, i to neposredno pre klasanja i sedam dana posle cvetanja (Zhang et al., 2012), pri čemu tretman nije značajno uticao na žetveni indeks i masu 1000 zrna, zatim kad je primenjen u fazi klasanja i mlečnoj fazi razvoja zrna (Zou et al., 2012), kao i na početku vlatanja i u fazi cvetanja (Wang et al., 2012). Prikazani rezultati su u saglasnosti i sa istraživanjem koje su izveli Gomez-Corinado et al. (2016), u kome dvokratna folijarna primena cinka u kasnim fazama rasta nije dovela do povećanja prinosa zrna deset linija jare pšenice gajenih u Portugaliji. Suprotno ovome, dvokratna folijarna primena cinka u kasnijim fazama rasta dovela je do povećanja prinosa zrna pšenice na pet lokacija u Pakistanu (Ram et al., 2016), međutim, na dve lokacije zemljište je bilo siromašno u cinku dostupnom biljkama (0,35 i 0,45 mg/kg), dok je na još dve lokacije nivo cinka bio neznatno viši od kritičnog za deficit (0,52 i 0,56 mg/kg), što ukazuje da uticaj ovog tretmana može da zavisi od obezbeđenosti zemljišta cinkom. Međutim, u pomenutom istraživanju vođenom u više država, folijarnom primenom cinka nije značajno povećan prinos zrna npr. u Kini gde je zemljište takođe bilo deficitarno u dostupnom cinku. Sa druge strane, Karim et al. (2012) su pokazali u poljskim ogledima, da je trokratna folijarna primena cinka u obliku 0,05% rastvora $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ na svakih pet dana, u periodu neposredno pre klasanja do cvetanja, povećala prinos pšenice za 15% jedino u uslovima bez navodnjavanja na zemljištu deficitarnom u cinku dostupnom biljkama. U istim istraživanjima, ali u kontrolisanim uslovima, opisani tretmani sa cinkom povećali su prinos pšenice u uslovima stresa suše iako je koncentracija cinka u zemljištu bila 1,50 mg/kg. Zulfiqar et al. (2020) su nedavno pokazali da je folijarna primena 0,5% rastvora $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ neposredno pre klasanja dovela do značajnog povećanja prinosa zrna pšenice u dva različita sistema obrade zemljišta sa 0,67 mg/kg DTPA-Zn, zahvaljujući povećanju broja zrna po klasu i mase 1000 zrna. Povećanje prinosa zrna u prikazanom istraživanju zabeleženo u dva slučaja, za sortu Dika u jednoj godini u Zemun Polju i za sortu Ratarica, takođe u jednoj godini u Padinskoj Skeli (Tabela 14), u saglasnosti su sa navedenim ranijim istraživanjima i ukazuju da uticaj folijarne primene cinka zavisi od uticaja faktora okoline, a može da zavisi i od osobina sorte koje određuju potencijal prinosa.

6.6 Uticaj lokacije, sorte i folijarne primene cinka na koncentraciju cinka u zrnu pšenice

Koncentracija cinka u zrnu u kontroli za svaku od ispitivanih sorti pšenice znatno se razlikovala na dve lokacije u obe proizvodne sezone, pa je bila znatno niža u Zemun Polju (od 13,1 mg/kg do 18,6 mg/kg) nego u Padinskoj Skeli (od 20,6 mg/kg do 31,6 mg/kg) (Tabela 16). Ove razlike se mogu dovesti u vezu sa koncentracijom cinka u zemljištu koja je dostupna biljkama,

jer je bila niža u Zemun Polju nego u Padinskoj Skeli (Tabela 1). Iako se nedostatak cinka ne može direktno ustanoviti na osnovu nivoa cinka u zreloom zrnu pšenice, Rafique et al. (2006) su istakli da koncentracije od 20–24 mg/kg mogu smatrati kritičnim. U jedinom sveobuhvatnom istraživanju koje su u Srbiji do sada sproveli Nikolic et al. (2016), u kome je proučavana veza između cinka i gvožđa u zrnu pšenice gajene širom Srbije sa osobinama zemljišta, nivo cinka u zrnu sorti Simonida i NS 40S je na nekim lokacijama bio još niži, i to 11,3 mg/kg i 10,2 mg/kg, po redu. Takođe su ukazali na jaku zavisnost između đubrenja fosforom na karbonatnom zemljištu sa nižom koncentracijom cinka sa cinkom u zrnu ovih sorti. Koncentracije cinka u zrnu pšenice slične onima u Padinskoj Skeli dobili su Škrbić and Čupić (2005). U Vojvodini je koncentracija zrna uzorkovanih u sedam područja varirala od 21,0–24,2 mg/kg, a u istom broju područja u Centralnoj Srbiji od 24,0–29,3 mg/kg, pri čemu je koncentracija merena u manjem broju kompozitnih uzoraka različitih sorti hlebne pšenice. Dosadašnja malobrojna istraživanja izvedena u Srbiji, zajedno sa rezultatima prikazanih istraživanja ukazuju na velike razlike u koncentraciji cinka u zrnu pšenice koja se kod nas gaji, kao i da je ipak niska sa stanovišta nutritivne vrednosti, imajući u vidu da su proizvodi od zrna pšenice u velikoj meri zastupljeni u ishrani stanovnika (111 kg po glavi stanovnika na godišnjem nivou, FAOSTAT 2018).

Brojna dosadašnja istraživanja su pokazala da je folijarna primena cinka efikasnija za biofortifikaciju cinkom nego primena cinkovih đubriva u zemljište (Chatta et al., 2017; Wang et al., 2012; Zou et al., 2012; Erdal et al., 2002). Na primer, Wang et al. (2012) su pokazali da je nivo cinka u zrnu pšenice u dve proizvodne sezone, primenom 50 kg/ha $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ u zemljište, povećan sa 18,7 i 23,1 mg/kg na 19,5 mg/kg, odnosno 29,1 mg/kg, dok je uz dvokratnu folijarnu primenu 0,5% rastvora $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ na početku vlatanja i u fazi cvetanja povećana na 24,4 mg/kg, odnosno 35,6 mg/kg. Sa druge strane, Zilfiqar et al. (2020) su dobili slično povećanje nivoa cinka u zrnu uz primenu cinka u zemljište i folijarno, pri čemu je efekat zavisio od sistema obrade zemljišta i proizvodne sezone. Kada se dodaje biljkama u obliku folijarnog tretmana, cink se lako kreće kroz biljku floemom (Erenoglu et al., 2002), a Pearson and Rengel (1994), su istakli da se rezerve cinka u vegetativnim delovima biljaka brzo iscrpe tokom razvoja zrna, što ukazuje da se cink tada premešta u zrno. Dakle, folijarna primena cinka u kasnim fazama rasta pšenice može da obezbedi znatne rezerve cinka za njegovu akumulaciju u zrno i rezultati prikazanih istraživanja su pokazali sveobuhvatno značajno povećanje koncentracije cinka u zrnu svih domaćih sorti hlebne pšenice jednokratnim folijarnim tretmanom na kraju cvetanja na dve lokacije u dve uzastopne vegetacione sezone (Tabela 16). Biofortifikacija pšenice cinkom može da se izvede uspešno u kombinaciji sa pesticidima koji se primenjuju u proizvodnji (Ram et al., 2016; Wang et al., 2019). Na primer, na pet od ukupno šest lokacija u Indiji dobijeno je slično povećanje nivoa cinka u zrnu pšenice uz folijarnu primenu cinka i u kombinaciji cinka sa pesticidima, dok je na jednoj lokaciji nivo cinka povećan u tretmanu bez pesticida (na 42,2 mg/kg) u odnosu na istovremenu primenu sa pesticidima (na 31,7 mg/kg) (Ram et al., 2016). U prikazanom istraživanju, jednokratna primena na kraju cvetanja je primenjena jer je tada ujedno i najkasniji termin za primenu pesticida u proizvodnoj praksi na našem području. Dodatna folijarna primena posle završetka cvetanja bi neopravdano povećala troškove proizvodnje. Međutim, istraživanja izvedena u više država i na većem broju lokacija sa različitim koncentracijama cinka (DTPA-Zn) su pokazala da se sa dva prskanja sa 0,5% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ može postići znatno veći nivo cinka u zrnu pšenice (Zou et al. 2012; Ram et al. 2016), mada se u pomenutim istraživanjima povećanje ralikovalo između lokacija i po proizvodnim sezonama na jednoj lokaciji. Tako su Zou et al. (2012) u proseku za 23 kombinacije lokacija i godina pokazali povećanje sa 27 mg/kg u kontroli na 48 mg/kg, što je bilo povećanje od 84%, pri čemu je najviša koncentracija cinka u zrnu bila 73 mg/kg. Slične rezultate su dobili Niyigaba et al. (2019) posle tri prskanja cinkom, počevši neposredno pre klasanja pa do početka nalivanja zrna. Takođe su Li et al. (2016) pokazali da trokratna folijarna primena 0,3% vodenog rastvora $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ na početku nalivanja zrna dovodi do velikog porasta koncentracije cinka u zrnu pšenice i brašnu.

Iako je u prikazanom istraživanju folijarnim tretmanom cinkom povećanje nivoa cinka u zrnu za ceo ogled variralo od 15 do 49% (Tabela 16), prosečno povećanje za pet sorti i dve proizvodne sezone za Zemun Polje je bilo 29,1%, a za Padinsku Skelu 24,4% (Grafik 10), što ukazuje da ovaj tretman može da bude efikasan u različitim agroekološkim uslovima. Nešto veće povećanje cinka u zrnu na lokaciji Zemun Polje se može dovesti u vezu sa nižom koncentracijom cinka u kontroli u odnosu na drugu lokaciju (Tabela 16). Prosečno povećanje cinka na dve lokacije je bilo oko 5–6 mg/kg, ali kao što je već istaknuto, i znatno više kod nekih sorti (Tabela 16). Slično povećanje nivoa cinka posle dve folijarne primene 0,5% ZnSO₄·7H₂O neposredno pre klasanja i u mlečnoj fazi razvoja zrna, dobijeno je na nekim lokacijama u Indiji, i to sa 33,2 mg/kg na 40,2 mg/kg i sa 34,6 mg/kg na 42,7 mg/kg, zatim na jednoj lokaciji u Turskoj, sa 35,5 mg/kg na 41,9 mg/kg, kao i u Pakistanu, sa 24,2 mg/kg i 26,2 mg/kg (Ram et al., 2016). Zou et al. (2012) su sa istim folijarnim tretmanima cinkom dobili različita povećanja cinka u zrnu pšenice u sedam država i više lokacija, pri čemu su se povećanja razlikovala i po godinama istraživanja. Na primer, na jednoj lokaciji u Turskoj, u dve proizvodne sezone povećanje cinka u zrnu je bilo sa 11,6 mg/kg na 19,6 mg/kg i sa 14,1 mg/kg na 31,9 mg/kg. Da jednokratna primena cinka može da bude efikasna za biofortifikaciju pšenice cinkom, pokazali su nedavno i Zulfiqar et al. (2020) primenivši isti tretman neposredno pred klasanje, pri čemu su za jednu sortu dobili povećanje cinka slično onome u prikazanim istraživanjima. Cakmak et al. (2010a) su pokazali da se cink primenjen folijarno u kasnim fazama rasta transportuje u endosperm, deo zrna pšenice koji se najviše koristi za ishrani ljudi.

Preporučeni nivo cinka u zrnu pšenice za populaciju čija je ishrana bazirana na žitima je 40–60 mg/kg (Cakmak, 2008). Na lokaciji Padinska Skela folijarnom primenom cinka postignut je nivo koji je blizak ovim vrednostima, dok je u Zemun Polju najviša koncentracija bila 24,9 mg/kg (Tabela 16), što ukazuje da je za biofortifikaciju pšenice kod koje je nivo cinka <20 mg/kg potrebno više folijarnih tretmana da bi se postigao znatno viši nivo cinka u zrnu. Međutim, treba imati u vidu da, iako je u Srbiji ishrana ljudi ipak raznovrsna, na ovaj način može bez dodatnog prskanja u kasnijim fenofazama, da se poveća nivo cinka u zrnu pšenice i time doprinese da se poboljša dijetarni unos cinka.

Tradicionalno oplemenjivanje žita je uglavnom usmereno na povećanje prinosa zrna i tolerantnost na biotske i abiotske stresove, međutim, sve više pažnje se poklanja i genetičkoj biofortifikaciji. Koncentracija cinka ali i gvožđa u zrnu genotipova hlebne pšenice je proučavana sa svetskom novou (Oury et al., 2006; Velu et al., 2014), dok u Srbiji ovom pitanju nije posvećeno dovoljno pažnje. Kada je reč o kvalitetu pšenice, oplemenjivanje je najviše bilo usmereno ka osobinama koje su značajne za pekarsku industriju (Hristov i Mladenov, 2005; Hristov et al., 2010). Do sada je jedino stara sorta pšenice Partizanka niska okarakterisana kao vrlo osetljiva na nedostatak cinka, pa je često korišćena u istraživanjima iz oblasti ishrane biljaka (Erenoglu et al., 1999). Pošto koncentracija cinka u zemljištu, koja je dostupna biljkama, u prikazanom istraživanju nije bila niža od kritičnog za njegov nedostatak, i imajući u vidu da su dobijeni visoki prinosi zrna svih proučavanih sorti (Tabela 15), značajne razlike između sorti u koncentraciji cinka u kontroli u Zemun Polju, koja je za dve proizvodne sezone varirala od 13,1 do 18,6 mg/kg (Tabela 16), mogu samo da ukažu na eventualnu razliku u efikasnosti za akumulaciju cinka u zrnu, i treba da budu predmet budućih istraživanja.

U dosadašnjim pomenutim istraživanjima u kojima je proučavana biofortifikacija pšenice cinkom, uglavnom je ispitivana po jedna sorta na svakoj lokaciji (Wang et al., 2012; Zou et al., 2012; Li et al., 2016). Međutim, Chatta et al. (2017) su pokazali različit porast nivoa cinka u zrnu tri sorti pšenice uz folijarni tretman cinkom, kao i Gomez-Coronado et al. (2016) kod deset linija pšenice u dve sezone, što je u saglasnosti sa rezultatima prikazanih istraživanja (Tabela 16). Sa druge strane, Zhang et al. (2010) su folijarnom primenom cinka u kombinaciji sa gvožđem u kasnim

fenofazama dobili ujednačeno povećanje nivoa cinka u zrnu tri sorte pšenice, ali je prskanje izvedeno tri puta, u kratkim vremenskim razmacima, na početku klasanja, deset dana posle cvetanja i u mlečnoj fazi nalivanja zrna. Treba imati u vidu da su Erenoglu et al. (2002) pokazali da razlike između sorti hlebne i tvrde pšenice u cink efikasnosti ne utiču na usvajanje i translokaciju ili distribuciju u biljci cinka primenjenog folijarno, što znači da eventualne razlike u cink efikasnosti između proučavanih sorti u prikazanom istraživanju najverovatnije nisu uticale na akumulaciju folijarno primenjenog cinka u zrno.

Ranija istraživanja su pokazala da je prinos zrna raznih geotipova pšenice, koji se međusobno razlikuju prema potencijalu prinosa, često obrnuto povezan sa koncentracijom cinka u zrnu (Garvin et al, 2006; McDonald et al., 2008; Zhao et al., 2009). U prikazanom istraživanju ovaj efekat nije zabeležen, uprkos velikom variranju prinosa na nivou celom ogledu (Grafik 16), što je u saglasnosti sa prethodnim rezultatima koje su dobili Zou et al. (2012), Khokhar et al. (2018), Chen et al. (2017) i Chatta et al. (2017). Za pet testiranih sorti hlebne pšenice gajenih na dve lokacije u dve proizvodne sezone, sa ili bez folijarne primene cinka, pokazano je da istovremeno sa povećanjem prinosa od 1 t/ha raste i koncentracija cinka u zrnu za procenjenih 2,43 mg/kg. Ovi rezultati ukazuju da visoki prinosi zrna u intenzivnoj proizvodnji pšenice najverovatnije ne ograničavaju potencijal za biofortifikaciju zrna kada se cink primeni folijarno na kraju cvetanja.

6.7 Uticaj lokacije, sorte i folijarne primene cinka na koncentraciju proteina u zrnu pšenice

Koncentracija proteina u zrnu posmatrano za ceo ogled varirala je od 12,5 do 14,9% (Tabela 14) i uticaj sorte je bio značajan (Grafik 13), što je u saglasnosti sa ranijim istraživanjima koja se odnose na domaće sorte pšenice u našem području (Đurić i Kobiljski, 2004; Miroslavljević i sar., 2019; Hristov i sar., 2014). Istraživanja iz oblasti oplemenjivanja su pokazala da je koncentracija proteina u zrnu pšenice u većoj meri povezana sa uticajem spoljašnje sredine, kao što su padavine, temperatura i agrotehničke mere nego sa genetičkom kontrolom (Crosbie and Fisher 1987; Simmonds, 1989; Dupont and Altenbach, 2003; Malik et al., 2013; Barraclough et al., 2010), dok su, suprotno ovome Hazen et al. (1997) i Zhang et al. (2004) pokazali da je uticaj genotipa veći od spoljašnje sredine ili interakcije između genotipa i spoljašnje sredine. U prikazanom istraživanju uticaj lokacije na nivo proteina u zrnu je bio značajan, ali nije utvrđena interakcija između sorte i lokacije (Tabela 14).

Folijarna primena cinka je značajno povećala nivo proteina u zrnu na nivou celog ogleda, sa 13,4 na 13,7% (Grafik 12). Sa druge strane, Gomez-Corinado et al. (2016) su pokazali da dvostruka folijarna primena cinka nije dovela do povećanja koncentracije proteina u zrnu pšenice, a slične rezultate su dobili Stepien et al. (2016) uz folijarnu primenu 1% ZnSO₄·7H₂O u fazi vlatanja ozime pšenice u Poljskoj, takođe i Ramzan et al. (2020) uz trosktruku folijarnu primenu cinka u Pakistanu. Međutim, posmatrano za svaku proizvodnu sezonu na obe lokacije, povećanje nije bilo značajno za sve sorte (Tabela 17), što je u saglasnosti sa navedenim istraživanjima. Folijarna primena cinka u kasnim fenofazama može da poveća nivo proteina u zrnu drugih žita, kao što su pirinač (Hussain et al., 2018) i ječam Yagmure et al. (2017).

U dosadašnjim istraživanjima sa divljim pšenicama i sortama zastupljenim u proizvodnji pokazana je bliska veza između koncentracije proteina u zrnu i mikroelemenata, posebno za cink i gvožđe (Peterson et al., 1986; Cakmak et al., 2004, Ozturk et. al., 2006; Kutman et al., 2010; Ghasemi et al., 2013). Povećanje nivoa proteina bi takođe moglo da doprinese biofortifikaciji sa

mikroelementima (Distelfeld et al., 2007; Morgounov et al., 2007; Kutman et al., 2010). Tako su Erenoglu et al. (2011) i Kutman et al. (2011b) proučavajući raspodelu cinka kroz celu biljku pokazali da su kod pšenice nedovoljno obezbeđene azotom usvajanje cinka korenom, translokacija iz korena u nadzemni deo, kao i remobilizacija cinka ograničeni, što je smanjilo akumulaciju cinka u zrno. Studije u kojima su proučavani specijacija i lokalizacija cinka u zrnu pšenice ukazuju da je cink u interakciji sa proteinima, što znači da proteini u zrnu grade deo za fiziološki uliv cinka (Ozturk et al., 2006; Persson et al., 2016; Cakmak et al., 2010b). Na primer, Ozturk et al. (2009) su ustanovili da je kod genotipova spelte sa visokom koncentracijom proteina u zrnu (24–26%) koncentracija cinka bila 51–66 mg/kg, znatno viša od 26–37% mg/kg koliko je izmereno u zrnu genotipova sa nižom koncentracijom proteina (10–13%). Rezultati dobijenih u prikazanom istraživanju potvrdili su vezu između cinka i proteina u zrnu, jer je za pet ispitivanih sorti utvrđena značajna korelacija između cinka i proteina u zrnu na lokaciji Padinska Skela u kontroli i u folijarnom tretmanu cinkom (Grafik 17 b,d). Međutim, na lokaciji Zemun Polje, na kojoj na kojoj je nivo cinka u zrnu bio znatno niži nego na drugoj lokaciji (Tabela 16), nije utvrđena značajna korelacija između cinka i proteina u zrnu i u kontroli i kada je primenjen cink (Grafik 17a,c), što ukazuje da je njihova interakcija manje izražena kada je nivo cinka nizak. Slična veza je utvrđena u istraživanju koje su Gomez-Corinado et al. (2016) izveli u Portugaliji na jednoj lokaciji, čak i proizvodnoj sezoni kada kada je nivo cinka u zrnu bio nizak, ali je istovremeno i nivo proteina bio nizak.

7. ZAKLJUČCI

Imajući u vidu da su istraživanja u svetu sve više usmerena ka proučavanju jednostavnih metoda čijom primenom uz mala ulaganja može da poveća prinos useva, najviše u područjima sa aridnom i poluaridnom klimom, kao i da u Srbiji nisu izvođeni poljski ogledi u kojima su proučavani predsetveni tretmani vodom i cinkom, ispitan je njihov uticaj na prinos pšenice. Glavni motiv za proučavanje biofortifikacije domaćih sorti pšenice cinkom folijarnom primenom cinka jeste bila činjenica da literaturni podaci ukazuju da je nivo cinka u zrnu pšenice u Srbiji i nizak. Na osnovu ciljeva istraživanja, dobijenih rezultata i diskusije izvedeni su sledeći zaključci:

- Istraživanje izvedeno na dve lokacije tokom dve proizvodne sezone pokazalo je da je predsetveni tretman semena cinkom značajno povećao prinos zrna sorti ozime hlebne pšenice u odnosu na kontrolu i tretman sa vodom na nivou celog ogleda, i to za 8% i 6%, po redu, što ukazuje na malu efikasnost tretmana semena vodom u odnosu na tretman cinkom, odnosno dodatni efekat cinka u odnosu na hidrataciju semena koju pruža tretman vodom. Međutim, uticaj tretmana semena cinkom na prinos zrna nije bio jednako izražen u dve proizvodne sezone na obe ogledne lokacije i nije zavisio od koncentracije cinka u zemljištu koja je dostupna biljkama, po čemu su se lokacije razlikovale;
- Sa druge strane, predsetveni tretman semena nije značajno uticao na merene komponente prinosa, što je potvrđeno i dodatnom jednofaktorskom analizom varijanse izvedene zasebno za svaku sortu, za oba lokaliteta i obe proizvodne sezone. Stoga se povećanje prinosa ne može sa sigurnošću dovesti u vezu sa pokazateljima produktivnosti koji se odnose na klas i masu 1000 zrna, kao ni u direktnu vezu sa poboljšanim rastom pšenice koji je utvrđen merenjem suve mase izdanaka u fazi vlatanja, jer je uticaj tretmana smenena bio značajan samo na jednoj lokaciji u jednoj proizvodnoj sezoni. Budući da na prezimljavanje ozime pšenica u našem području u velikoj meri utiču niske temperature i osobine zemljišta, predmet proučavanja budućih istraživanjima treba da bude uticaj tretmana cinkom, ali i drugih mikroelemenata na prezimljavanje, kao i druge pokazatelja produktivnosti tokom višegodišnjeg perioda, kako bi se dobio jasniji uvid u efikasnost ove mere u našim agroekološkim uslovima. Rezultati su takođe potvrdili ranije pokazanu značajnost uticaja sorte, lokacije i njihove interakcije na prinos zrna i komponente prinosa;
- Na osnovu rezultata koji se odnose na uticaj folijarne primene cinka na kraju cvetanja može se izvesti zaključak da se ovim tretmanom može značajno povećati koncentracija cinka u zrnu domaćih visoko prinostnih sorti pšenice. Budući da je ranije pokazano da biofortifikacija cinkom može uspešno da se sprovede u kombinaciji sa pesticidima, folijarna primena cinka na kraju cvetanja ne bi dovela do povećanja troškove proizvodnje. Rezultati su takođe potvrdili da nivo cinka u zrnu zavisi od cinka u zemljištu dostupnog biljkama, i ukazali na moguće razlike između sorti u akumulaciji cinka u zrnu, što treba da bude predmet budućih istraživanja. Istovremeno je pokazano da primena cinka može značajno da poveća koncentraciju proteina u zrnu i potvrđena je korelacija između novoa cinka i proteina u zrnu. Pozitivna korelacija između prinosa zrna i koncentracije cinka u zrnu ukazuje da visoki prinosi zrna koji se postižu u intenzivnoj proizvodnji pšenice ne umanjuju potencijal za biofortifikaciju cinkom folijarnom primenom cinka. Imajući u vidu da skorašnja istraživanja ukazuju na nizak status cinka kod odraslih ljudi u Srbiji, biofortifikacija zrna pšenice folijarnom primenom cinka u kasnijim fenofazama do kraja cvetanja može da bude preporučena za povećanje dijetarnog unosa cinka.

8. LITERATURA

- Abunyewa, A.A., Mercie-Quarshie, H. (2004): Response to maize to magnesium and zinc application in the semi arid zone of West Africa. *Asian Journal of Plant Science* 3: 1–5.
- Ajouri, A., Asgedom, H., Becker, M. (2004): Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167: 630–636.
- Ali, H., Iqbal, N., Shahzad, A.N., Sarwar, N., Ahmad, S., Mehmood, A. (2013): Seed priming improves irrigation water use efficiency, yield, and yield components of late-sown wheat under limited water conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 534–544.
- Ali, N., Farooq, M., Hassan, M.A., Arshad, M., Shakeel, S., Muhammad, K., Faran, M. (2018): Micronutrient seed priming improves stand establishment, grain yield and biofortification of bread wheat. *Crop and Pasture Science* 69: 479-487.
- Allen, L., de Benoist, B., Dary, O. (2006): Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva: World Health Organization and Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Alloway, B.J. (2008): Zinc in soils and crop nutrition. Second edition, IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France,
- Alloway, B.J. (2009): Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health* 31: 537–548.
- Asgedom, H., Becker., M. (2001): Effects of seed priming with nutrient solutions on germination, seedling growth and weed competitiveness of cereals in Eritrea, *Proceedings of Deutscher Tropentag, University of Bonn & ATSAF, Margraf Pub. Press, Weickersheim.*, pp. 282.
- Asher, C.J. (1987): Crop nutrition during the establishment phase: role of seed reserves. In I.M. Wood, W.H. Hazard and F. From (eds.) *Crop establishment Problems in Queensland: Recognition, Research and Resolution*. Aust. Inst. Agric. Sci. Occasional Publication No. 20.
- Atar, B., Uygur, E., Sukuşu, E. (2020): Effects of priming with copper, zinc and phosphorus on seed and seedling composition in wheat and barley. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences* 7: 104–111.
- Bagci, S.A., Ekiz H., Yilmaz A., Cakmak I. (2007): Effect of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193: 198-206.
- Basit, A., Hussain, S., Abid, M., Zafar-ul-Hye, M., Ahmed, N. (2021): Zinc and potassium priming of maize (*Zea mays* L.) seeds for salt-affected soils. *Journal of Plant Nutrition* 44: 130-141

Basra, S.M.A., Zia, M.N., Mehmood, T., Afzal, I., Khaliq, A. (2002): Comparison of different invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Pakistanian Journal of Arid Agriculture* 5: 11-16.

Basra, S.M.A., Farooq, M., Tabassam, R., Ahmad, N. (2005): Physiological and biochemical aspects of seeds vigor enhancement treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology* 33: 623–628.

Barracough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., Hawkesford, M.J. (2010): Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy* 33: 1-11.

Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W.M., Nonogaki, H. (2013): *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy*; 3rd ed., Springer, New York, USA.

Black, R.E., Victora, C.G., Walker, S.P., Bhutta, Z.A., Christian, P., de Onis, M., Ezzati, M., Grantham-McGregor, S., Katz, J., Martorell, R., Uauy, R. (2013): Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *Lancet* 382: 427-451.

Black, R.E., Allen, L.H., Bhutta, Z.A., et al. (2008): Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 371: 243-260.

Bojović, B., Kanjevac, M., Jakovljević, D. (2021): Efekat prajmiranja semena pšenice (*Triticum aestivum* L.) na sadržaj fotosintetskih pigmenata i ukupnih solubilnih proteina. *Zbornik radova XXVI Savetovanja o biotehnologiji*, Čačak, 12–13. mart, str. 401–406.

Borrill, P., Connorton, J.M., Balk, J., Miller, A.J., Sanders, D., Uauy, C. (2014): Biofortification of wheat grain with iron and zinc: integrating novel genomic resources and knowledge from model crops. From soil to seed: micronutrient movement into and within the plant. *Frontiers in Plant Science* 5: 98–105.

Bouis, H. (2020): Food biofortification: reaping the benefits of science to overcome hidden hunger. A paper in the Series on the Need for Agricultural Innovation to Sustainably Feed the World by 2050. No: 69.

Bouis, H.E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J.V., Pfeiffer, W.H. (2011): Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin* 32 (Supplement 1): 31S-40S.

Bouis, H., Welch, R. (2010): Biofortification—a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop Science* 50 20-32.

Bouis, H.E. (2003): Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? *Proceedings of the Nutrition Society* 62: 403–411.

- Bouis, H.E., Chassy, B.M., Ochanda, O.J. (2003): Genetically modified food crops and their contribution to human nutrition and food quality. *Trends in Food Science & Technology* 14: 191–209.
- Bouis, H.E., Saltzman, A. (2017): Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security* 12: 49–58.
- Broadley, M., Brown, P., Rengel, Z., Zhao, F-J. (2012): Function of nutrients: micronutrients. In: P. Marschner (ed.). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London, pp. 191–248.
- Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., Lux, A. (2007): Zinc in plants. *New Phytologist* 173: 677–702.
- Bradford, K.J. (1986): Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Horticultural Science* 21: 1105–1112.
- Brown, P.H., Cakmak, I., Zhang, Q. (1993): Form and function of zinc in plants. In: *Zinc in soil and plants* (ed. A.D. Robson), Springer, Dordrecht, pp.93–106.
- Cabot, C., Martos, S., Llugany, M., Gallego, B., Tolrà, R., Poschenrieder, C. (2019): A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. *Frontiers in Plant Science* 10: 1171.
- Cakmak, I. (1996): Dry matter production and distribution of zinc in bread durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Plant and Soil* 180: 173–181.
- Cakmak, I. (2000): Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist* 146: 185–205.
- Cakmak, I. (2002): Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil* 247: 3–24
- Cakmak, I., Marschner, H. (1988): Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. *Journal of Plant Physiology* 132: 356–361
- Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H.J., Ozkan, H. (2004): *Triticum dicoccoides*: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition* 50: 1047–1054.
- Cakmak, I., Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Erenoglu, B., Braun H.J (1996): Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant and Soil* 180, 165–172.
- Cakmak, I., Kalayci, M., Ekiz, H., Braund, H.J., Kilince, Y., Yilmaz, A. (1999): Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO-science for stability project. *Field Crops Research* 60: 175–188.
- Cakmak, I. (2008): Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302: 1–17.

- Cakmak, I. (2009): Enrichment of fertilizers with zinc: an excellent investment for humanity and crop production in India. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 23: 281–289.
- Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A.A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., Horst, W.J. (2010a): Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agricultural & Food Chemistry* 58: 9092–9102.
- Cakmak, I., Pfeiffer, W.H., McClafferty, B. (2010b): Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry* 87: 10–20.
- Cakmak, I., Marschner, H., Bangerth, F. (1989): Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany* 40: 405–412.
- Cakmak, I., Ozkan, H., Braun, H. J., Welch, R. M., and Romheld, V. (2000): Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive and modern wheats. *Food and Nutrition Bulletin* 21: 401-403.
- Cakmak, I., Kutman, U.B. (2018): Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science* 69: 172-180.
- Cakmak, I., Marzorati, M., Van den Abbeele, P., Hora, K., Holwerda, H. T., Yazici, M. A., et al. (2020): Fate and bioaccessibility of iodine in food prepared from agronomically biofortified wheat and rice and impact of cofertilization with zinc and selenium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 68: 1525–1535
- Candan N., Cakmak I., Ozturk L (2018): Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Nutrition and Soil Science* 181: 388-395.
- Cavdar, A.O., Arcasoy, A. (1972): Hematologic and biochemical studies of Turkish children with pica. A presumptive explanation for the syndrome of geophagia, iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly and hypogonadism. *Clinical Pediatrics* 11: 215–223.
- Cavdar, A.O., Babacan, E., Arcasoy, A., Ertem, U. (1980): Effect of nutrition on serum zinc concentration during pregnancy in Turkish women. *The American Journal of Clinical Nutrition* 33: 542–544.
- Cavdar, A.O., Babacan, E., Asik, S., et al. (1983): Zinc levels of serum, plasma, erythrocytes and hair in Turkish women with anencephalic babies. *Progress in Clinical and Biological Research* 129: 99–106.
- Chandler, W.H. (1937): Zinc as a nutrient in plants. *Botanical Gazete* 98: 625-646.
- Chattha, M.U., Hassan, M.U., Khan, I., Chattha, M.B., Mahmood, A., Chattha, M.U., Nawaz, M., Subhani, M.N., Kharal, M., Khan, S. (2017): Biofortification of wheat cultivars to combat zinc deficiency. *Frontiers in Plant Science* 8: 281.

- Chen, K., Arora, R. (2013): Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 94: 33–45.
- Chen, K., Fessehaie, A., Arora, R. (2012): Dehydrin metabolism is altered during seed osmopriming and subsequent germination under chilling and desiccation in *Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale: possible role in stress tolerance. *Plant Science*, 183, 27-36.
- Chen, X.P., Zhang, Y.Q., Tong, Y.P., Xue, Y.F., Liu, D.Y., Zhang, W., Deng, Y., Meng, Q.F., Yue, S.C., Yan, P., Cui, Z.L., Shi, X.J., Guo, S.W., Sun, Y.X., Ye, Y.L., Wang, Z.H., Jia, L.L., Ma, W.Q., He, M.R., Zhang, X.Y., Kou, C.L., Li, Y.T., Tan, D.S., Cakmak, I., Zhang, F.S., Zou, C.Q. (2017): Harvesting more grain zinc of wheat for human health. *Scientific Reports* 7: 7016.
- Combs, G.F. Jr., Welch, R.M., Duxbury, J.M., Uphoff, N.T., Nesheim, M.C. (1996): Food-Based Approaches to Preventing Micronutrient Malnutrition: an International Research Agenda, Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development, Cornell University, Ithaca, NY pp. 1–68.
- Crawford, N.M. (1995): Nitrate: Nutrient and signal for plant growth. *The Plant Cell* 7: 859–868.
- Crosbie, G.B., Fisher, H. (1987): Variation in wheat protein content –the effect of environment. *Journal of Agriculture of Western Australia* 28: 124–127.
- Damalas, C.A., Koutroubas, S.D., Fotiadis, S., Damalas, A., Koutroubas, D. (2019): Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. *Agriculture* 9: 201.
- Davis, D.R., Epp, M.D., Riordan, H.D. (2004): Changes in USDA food composition data for 43 garden crops, 1950 to 1999. *Journal of the American College of Nutrition* 23: 669–682.
- Davis, D.R. (2009): Declining fruit and vegetable nutrient composition – What is the evidence? *Horticulture Science* 44: 15–19.
- Distelfeld, A., Cakmak, I., Peleg, Z., Ozturk, L., Yazici, A.M., Budak, H., Saranga, Y., Fahima, T. (2007): Multiple QTL-effects of wheat *Gpc-B1* locus on grain protein and micronutrient concentrations. *Physiologia Plantarum* 129: 635-643.
- Dupont, F.M., Altenbach, S.B. (2003): Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science* 38:133–46.
- Đurišić-Mladenović, N., Predojević, Z., Škrbić, B. (2016): Konvencionalna i napredna tečna biogoriva. *Hemijska Industrija* 70: 225–241.
- Đurić, V., Kobiljski, B. (2004): Uticaj godine na kvalitet ozime pšenice u Republici Srbiji. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo* 42: 371-382.
- Malik, A.H., Kuktaite, R., Johansson, E. (2013): Combined effect of genetic and environmental factors on the accumulation of proteins in the wheat grain and their relationship to bread-making quality. *Journal of Cereal Science* 57: 170–174.

Ekholm, P., Reinivuo, H., Mattila, P., Pakkala, H., Koponen, J., et al. (2007): Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *Journal of Food Composition and Analysis* 20: 487–495

Ekiz, H., Bagci, S.A, Kiral, A.S, Eker, S., Gültekin,I., Alkan, A., Cakmak I. (1998): Effect of zink fertilization and irrigation of grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 21: 2245-2256.

Erdal, I., Yilmaz, A., Taban, S., Eker, S., Torun, B., Cakmak, I. (2002): Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 25: 113-127.

Erenoglu, E.B., Kutman, U.B., Ceylan, Y., Yildiz, B., Cakmak, I. (2011): Improved nitrogen nutrition enhances root uptake, root-to-shoot translocation and remobilization of zinc (^{65}Zn) in wheat. *New Phytologist* 189: 438–448.

Erenoglu, B., Nikolic, M., Romheld, V., Cakmak, I. (2002): Uptake and transport of foliar applied zinc (^{65}Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. *Plant and Soil* 241: 251-257.

Erenoglu, B., Cakmak, I., Romheld, V., Derici, R., Rengel, Z. (1999): Uptake of zinc by rye, bread wheat and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. *Plant and Soil* 209: 245–252.

Esper Neto, M, Britt, D.W., Lara, L.M., Cartwright, A., dos Santos, R.F., Inoue, T.T., Batista, M.A. (2020): Initial development of corn seedlings after seed priming with nanoscale synthetic zinc oxide. *Agronomy-Basel* 10: 307.

Eyupoglu, F., Kurucu, N., Sanisa, U. (1994): Status of plant available micronutrients in Turkish soils (in Turkish). Annual report, report no. R-118. Soil and Fertilizer Research Institute, Ankara, pp. 25–32.

Fageria, N.K, Barbosa, Filho M.P, Moreira, A., Gulmaraes, C.M (2009): Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1044-1064.

Fageria, N.K (2002): Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Pesquisa Agropecuaria Brasileria* 37: 1765-1772.

Fan, M.S., Zhao, F.J., Fairweather-Tait, S.J., Poulton, P.R., Sunham, S.J., McGrath, S.P. (2008): Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology* 22: 315-324.

FAOSTAT: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

Fardet, A., Rock, E., Remesy, C. (2008): Is the in vitro antioxidant potential of whole–grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science* 48: 258–276.

- Farooq, M., Basra, S.M.A., Khalid, A., Tabassum, R., Mehmood, T. (2006): Nutrient homeostasis, reserves metabolism and seedling vigor as affected by seed priming in coarse rice. *Canadian Journal of Botany* 84: 1196–1202.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Tabassum, R., Ahmad, N. (2005): Physiological and biochemical aspects of seed vigor enhancement treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technogy* 33: 623–628.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., Khaliq, A., Kobayashi, N. (2009): Rice seed invigoration. In: E. Lichtfouse (ed.). *Sustainable Agriculture Reviews*, pp. 137–175, Springer, Netherlands.
- Farooq, M.A., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. (2009b): Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185–212.
- Farooq, M., Wahid, A., Siddique, K.H.M. (2012): Micronutrient application through seed treatments – a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 125–142.
- Fernández, V., Eichert, T. (2009): Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves, current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Science* 28: 36-68.
- Finkelstein, J.L., Mehta, S., Udipi, S.A., Ghugre, P.S., Luna, S.V., Wenger, M.J., Murray-Kolb, L.E., Przybyszewski, E.M., Haas, J.D. (2015): A randomized trial of iron-biofortified pearl millet in schoolchildren in India. *Journal of Nutrition* 145: 1576–1581.
- Foti, R., Abureni, K., Tigere, A., Gotosa, J., Gere, J. (2008): The efficacy of different seed priming osmotica on the establishment of maize (*Zea mays* L.) caryopses. *Journal of Arid Environment* 72: 1127–1130.
- Forti, C., Shankar, A., Singh, A., Balestrazzi, A., Prasad, V., Macovei, A. (2020): Hydropriming and biopriming improve *Medicago truncatula* seed germination and upregulate DNA repair and antioxidant genes. *Genes* 11: 242.
- Garcia-Banuelos, M.L., Sida-Arreola, J.P. and Sanches, E. (2014): Biofortification – promising approach to increasing the content of iron and zinc in staple food crops. *Journal of Elementology* 19: 865-888.
- Garvin, D.F., Welch, R.M., Finley, J.W, (2006): Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 2213-2220.
- Ghassemi-Golezani, K., Sheikzadeh-Mosadegh, P., Valizadeh, M. (2008): Effects of hydropriming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Research Journal of Seed Science* 1: 34-40.
- Ghassemi-Golezani K., Khomari S., Valizadeh M., Alyari H. (2008): Effect of seed vigour and the duration of cold acclimation on freezing tolerance of winter oilseed rape. *Seed Science and Tehnology* 36: 767-775.

Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Hadadzadeh, H., Afyuni, M. (2013): Synthesis, characterization, and theoretical and experimental investigations of zinc(II)-amino acid complexes as eco-friendly plant growth promoters and highly bioavailable sources of zinc. *Journal of Plant Growth Regulation* 32: 315-323.

Gibson, R.S. (2006): Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. *Proceedings of the Nutrition Society* 65: 51–60.

Gibson, R. S. (2007): The role of diet and host-related factors in nutrient bioavailability and thus in nutrient-based dietary requirement estimates. *Food and Nutrition Bulletin* 28, 77–100.

Gibson, R., Heath, A.L. (2011): Population groups at risk of zinc deficiency in Australia and New Zealand. *Nutrition and Dietetics* 68 : 97-108.

Gibson RS (2012): Zinc deficiency and human health: Etiology, health consequences, and future solutions. *Plant and Soil* 361: 291-299.

Girolamo, G. D., Barbanti, L. (2012): Treatments conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian Journal of Agronomy* 7: 178-188.

Gnansounou, E (2010): Production and use of lignocellulosic bioethanol in Europe: current situation and perspectives. *Bioresour Technol* 101: 4842–4850.

Gomiero, T. (2016): Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustainability* 8: 281.

Gomez-Coronado, F., Poblaciones, M.J., Almeida, A.S., Cakmak I. (2016): Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foiar Zn application. *Plant and Soil* 401: 331–346.

Graham, R.D., Ascher, J.S., Hynes, J.S. (1992): Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils low in zinc status. *Plant and Soil* 146: 241–250.

Graham, R.D, Welch, R.M. (1996): Breeding for staple-food crops with high micronutrient density: Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients, No.3. International Food Policy Institute, Washington DC.

Graham. R.D., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C., Monasterio, I. (1999): Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research* 60: 57-80.

Graham, R.D. (2001): Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy* 70: 77–142.

Graham, R.D., Ascher, J.S., Hynes, S.C. (1992): Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil* 146: 241–250.

- Graham, R.D., Welch, R.M., Saunders, D.A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H.E., Bonierbale, M. (2007): Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy* 92: 1–74.
- Grotz N, Guerinot ML. (2006): Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Biochimica et Biophysica Acta* 1763: 595-608.
- Gurinović, M., Kadvaš, A., Vukotić, M., Nedeljković, S. (2011): Kvalitet ishrane dece školskog uzrasta u Jusad studiji. U: Jugoslovenska studija prekursora ateroskleroze kod školske dece – 20 godina praćenja (ur. S. Nedeljković). Medicinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, str. 343–368.
- Haas, J.D., Beard, J.L., Murray-Kolb, L.E., Mundo, A.M., Felix, A., Gregorio, G.B. (2005): Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic Filipino women. *Journal of Nutrition* 135: 2823–2830.
- Haas, J.D., Luna, S.V., Lung'aho, M.G., Wenger, M.J., Murray-Kolb, L.E., Beebe, S., Gahutu, J.B., Egli, I.M. (2016): Consuming iron biofortified beans increases iron status in Rwandan women after 128 days in a randomized controlled feeding trial. *Journal of Nutrition* 146: 1586-92.
- Hassan, N., Irshad, S., Saddiq, M., Bashid, S. (2019): Potential of zinc seed treatment in improving stand establishment, phenology, yield and grain biofortification of wheat. *Journal of Plant Nutrition* 42: 1676-1692.
- Hacisalihoglu, G., Kochian, V.L. (2003): How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. *New Phytologist* 159: 341-350.
- Hafeez, B., Khanif, Y.M., Saleem, M. (2013): Role of zinc in plant nutrition - a review. *American Journal of Experimental Agriculture* 3: 374–391.
- Haider, M.U., Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A. (2020): Optimizing zinc seed priming for improving the growth, yield and grain biofortification of mungbean (*Vigna radiata* (L.) wilczek). *Journal of Plant Nutrition* 43: 1438-1446.
- Hansch R, Mendel RR (2009): Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12: 259–266.
- Harris, D. (1996): The effects of manure, genotype, seed priming, depth and date of sowing on the emergence and early growth of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in semi-arid Botswana. *Soil and Tillage Research* 40: 73-88.
- Harris, D., Joshi, A., Khan, P.A., Gothkar, P., Sodhi, P.S. (1999): On-farm seed priming in semi-arid agriculture: Development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture* 35: 15–29.
- Harris, D., Pathan, A.K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa, W., Nyamudeza, P. (2001): On farm seed priming using participatory methods to review and refine a key technology. *Agriculture Systems* 69: 151–164.

- Harris D., Shah H. (2007): 'On-farm' seed priming with zinc sulphate solution—A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Research* 102: 119-127.
- Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., Yuans, M. (2008): 'On-farm' seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. *Plant and Soil* 306: 3–10.
- Helfenstein, J., Pawlowski, M.L., Hill, C.B., Stewart, J., Lagos-Kutz, D., Bowen, C.R., et al. (2015): Zinc deficiency alters soybean susceptibility to pathogens and pests. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 178: 896–903.
- Heydecker, W. (1973): Germination of an idea: the priming of seeds. University of Nottingham School of Agriculture Report, pp. 50–67.
- Hotz, C., Brown, K.H. (2004): Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin* 25: 94–204.
- Holloway, R.E., Graham, R.D., McBeath, T.M., Brace, D.M. (2010): The use of a zinc-efficient wheat cultivar as an adaptation to calcareous subsoil: a glasshouse study. *Plant and Soil* 336: 15–24.
- Hristov, N. (2004): Uticaj genotipa i spoljne sredine na stabilnost prinosa i tehnološki kvalitet pšenice (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
- Hristov, N., Mladenov, N., Jocković, B. (2014): NS Pudarka - nova sorta ozime pšenice. *Selekcija i semenarstvo XX*: 45–54.
- Hristov, N., Mladenov, N., Djuric, V., Kondic-spika, A., Marjanovic-Jeromela, A. (2010): Improvement of wheat quality in cultivars released in Serbia. *Cereal Research Communications* 38: 111–121.
- Hristov, N., Mladenov, N. (2005): Pokazatelji tehnološkog kvaliteta pšenice u vremenu i prostoru. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo* 41: 221-234.
- Hussain, S., Sahar, K., Naeem, A., Zafar-ul-Hye, Aon, M. (2018): Combined zinc and nitrogen applications at panicle initiation for zinc biofortification in rice. *Periodicum Biologorum* 120: 105–110.
- Imran, M., Kolla, M., Volker, R., Günter, N. (2015): Impact of nutrient seed priming on germination, seedling development, nutritional status and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition* 38: 1803–1821.
- Imran M., Römheld V., Neumann G. (2017): Accumulation and distribution of Zn and Mn in soybean seeds after nutrient seed priming and its contribution to plant growth under Zn- and Mn-deficient conditions. *Journal of Plant Nutrition* 40: 695-708.

- Imran, M., Garbe-Schönberg, D., Neumann, G., Boelt, B., Mühling, K.H. (2017): Zinc distribution and localization in primed maize seeds and its translocation during early seedling development. *Environmental and Experimental Botany* 143: 91-98.
- Jagodić, J., Rovčanin, B., Borković-Mitić, S., Vujotić, L., Avdin, V., Manojlović, D., Stojavljević, A. (2021): Possible zinc deficiency in the Serbian population: examination of body fluids, whole blood and solid tissues. *Environmental Science and Pollution Research* 24: 1–8
- Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M., Duxbury, J.M (2005): A comparison of effect of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. *Experimental agriculture* 41: 427-448.
- Joy, E.J.M., Stein, A.J., Young, S.D., Ander, E.L., Watts, M.J., Broadley, M.R. (2015): Zinc-enriched fertilisers as potential public health intervention in Africa. *Plant and Soil* 389: 1-24.
- Kalayci, M., Torun, B., Eker, S., Aydin, M., Ozturk, L., Cakmak, I. (1999): Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crops Research* 63: 87-98.
- Karim, Md.R., Zhang, Y.Q., Zhao, R.R., Chen, X.P., Zhang, F. S., Zou, C.Q. (2012): Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175: 142–151.
- Karim, M.R, Sani, M.N.H., Uddain, J, Azad M.O.K., Kabir, M.S, Rahman, MS., Choi, K.Y., Naznin, M.T. (2020): Stimulatory effect of seed priming as pretreatment factors on germination and yield performance of yard long bean (*Vigna unguiculata*). *Horticulturae* 6: 104.
- Karim, R.H., Rahman M.A. (2015): Drought risk management for increased cereal production in Asian least developed countries. *Weather and Climate Extremes* 7: 24-35.
- Kaur, S., Gupta, A.K., Kaur, N. (2002): Effect of osmo-and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Plant Growth Regulation* 37: 17–22.
- Kaya, M., Atak, M., Khawar, K.M., C. Y. Ciftci, Özcan, S. (2007): Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Agriculture and Biology* 7: 875–878.
- Khan, M., Fuller, M., Baloch, F. (2008): Effect of soil applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. *Cereal Research Communications* 36: 571-582.
- Khokhar, J.S., Sareen, S., Tyagi, B.S., Singh, G., Wilson, L., King, I.P., Young, S.D., Broadley, M.R. (2018): Variation in grain Zn concentration, and the grain ionome, in field-grown Indian wheat. *PLoS One* 13:e0192026.

- Khoshgoftarmanesh, A.H., Schulin, R., Chaney, R.L., Daneshbakhsh, B., Afyuni, M. (2010): Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 83–107.
- Knez, M., Nikolic, M., Zekovic, M., Stangoulis, J., Gurinovic, M., Glibetic, M. (2017): The influence of food consumption and socio-economic factors on the relationship between zinc and iron intake and status in a healthy population. *Public Health Nutrition* 20: 2486-2498.
- Kondić, D., Bajić, M., Knežević, D., Hajder, Đ. (2016): Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) overwintering under different sowing densities. *Agro-knowledge Journal* 17: 307-317.
- Krebs, N.F., Miller, L.V., Hambridge, K.M. (2014): Zinc deficiency in infants and children: a review of its complex and synergistic interactions. *Paediatrics and International Child Health* 34: 279-288.
- Kumar, D., Patel, K.P., Ramani, V.P., Shukla, A.K., Meena, R.S. (2020): Management of micronutrients in soil for the nutritional security. In: Meena R. (eds) *Nutrient dynamics for sustainable crop production*. Springer, Singapore, pp. 103–134.
- Kutman, U. B., Yildiz, B., Cakmak, I. (2011a): Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in the whole grain and the endosperm fraction of wheat. *Journal of Cereal Science* 53:118–125.
- Kutman, U.B., Yildiz, B., Cakmak, I. (2011b): Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. *Plant and Soil* 342: 149–164.
- Kutman, U.B., Yildiz, B., Ozturk, L., Cakmak, I. (2010): Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. *Cereal Chemistry* 87: 1–9.
- Lantz, M., Prade, T., Ahlgren, S., Björnsson, L. (2018): Biogas and ethanol from wheat grain or straw: Is there a trade-off between climate impact, avoidance of iLUC and production cost?, *Energies* 11: 2633.
- Laity, J.H., Lee, B.M., Wright, P.E. (2001): Zinc finger proteins: new insights into structural and functional diversity. *Current Opinion in Structural Biology* 11: 39–46.
- Leubner-Metzger, G., Finch-Savage, W.E (2006): Seed dormancy and control of germination. *New Phytologist* 171: 501-523.
- Li, X.L., Cao, Y.X., Tian, X.H., Yang, F., Lu, X.C., Liu, B.R. (2011): Effect of Zn application methods on distribution of Zn, phytate and protein in wheat pearling fractions. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)* 39: 81–89. (in Chinese).
- Li, M., Wang, S., Tian, X., Li, S., Chen, Y., Jia, Z., Liu, K., Zhao, A. (2016): Zinc and iron concentrations in grain milling fractions through combined foliar applications of Zn and macronutrients. *Field Crops Research* 187: 135-141.

- Lin, C.W., Chang, H.B., Huang, H.J. (2005): Zinc induces mitogen-activated protein kinase activation mediated by reactive oxygen species in rice roots. *Plant Physiology and Biochemistry* 43: 963–968.
- Lindsay, W.L. (1972): Zinc in soil and plant nutrition. *Advances in Agronomy* 24: 147-186.
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A. (1978): Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421–428.
- Liu, H.X., Zhang, H.M., Wang, D.X. (2004): Study on yield increasing effect on summer maize nitrogen, zinc complex. *Journal of Jilin Agriculture University* 26: 538-541.
- Liu, H.E., Wang, Q.Y., Rengel, Z., Zhao, P. (2015): Zinc fertilization alters flour protein composition of winter wheat genotypes varying in gluten content. *Plant Soil and Environment* 61: 195–200.
- Liu, Z. (1996): Trace elements in the soil of China. Jiangsu Science and Technology Press, Nanjing, p.227.
- Liu, Z., Zhu, Q.Q., Tang, L.H., Xu, J.X., Yin, C.L. (1982): Geographical distribution of trace elements deficient soils in China. *Acta Pedologica Sinica* 19: 209–223.
- Liu, H., Gan, W., Rengel, Z., Zhao, P. (2016): Effects of zinc fertilizer rate and application method on photosynthetic characteristics and grain yield of summer maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 16: 550-562.
- Liu, D., Zhang, W., Yan, P., Chen, X., Zhang, F., Zou, C. (2017a): Soil application of zinc fertilizer could achieve high yield and high grain zinc concentration in maize. *Plant and Soil* 411: 47–55.
- Liu, D.Y., Zhang, W., Pang, L.L., Zhang, Y.Q., et al. (2017b): Effects of zinc application rate and zinc distribution relative to root distribution on grain yield and grain Zn concentration in wheat. *Plant and Soil* 411: 167–178.
- Longnecker, N.E., Robson, A.D. (1993): Distribution and transport of zinc in plants. In: A.D. Robson (ed.) *Zinc in Soils and Plants*. Springer, Dordrecht, pp.79-91.
- Longnecker, N., Crosbie, J., Davies, F., Robson, A. (1996): Low seed manganese concentration and decreased emergence of *Lupinus angustifolius*. *Crop Science* 36: 355–361.
- Lott, N.J., Spitzer, E. (1980): X-ray Analysis Studies of Elements stored in protein body globoid crystals of Triticum grains. *American Society of Plant Biologists* 66: 494-499.
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., Guo, T. (2017): Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science* 8: 860.
- Mandić, D., Pržulj, N., Đurašinović, V., Jovović, Z. (2019): Julija–nova sorta ozime pšenice. *Selekcija i semenarstvo XXVI*: 15–20.

- Mao, H., Wang, J., Wang, Z., Zan, Y., Lyons, G., Zou, C. (2014): Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 14: 459-470.
- Marschner, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. Second edition, Academic Press, London.
- Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., Ramalingam, J. (2020): Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International journal of molecular sciences* 21: 8258.
- Martínez-Ballesta, M.C., Dominguez-Perles, R., Moreno, D.A., Muries, B., AlcarazLópez, C., Bastías, E., García-Viguera, C., Carvajal, M. (2010): Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. – *Agronomy for Sustainable Development* 30: 295-309.
- Matias, J.R., Torres, S.B., Leal, C.C.P., Leite, M.S., Carvalho, S.M.C. (2018): Hydropriming as inducer of salinity tolerance in sunflower seeds. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22: 225-260.
- Maze, P. (1914): Influences respective des elements de la solution minérale sur le developement du maïs. *Annales de l'Institut Pasteur*. 28: 21–68.
- Mazzolini, A.P., Pallaghy, C.K., Legge, G.J.F. (1985): Quantitative microanalysis of Mn, Zn and other elements in mature wheat seed. *New Phytologist* 100: 483-509.
- McDonald, G.K., Genc, Y., Graham, R.D. (2008): A simple method to evaluate genetic variation in Zn grain concentration by correcting for differences in grain yield. *Plant and Soil* 306: 49–55.
- Miraj, G., Shah, H. U., Arif, M. (2013): Priming maize (*Zea mays*) seed with phosphate solutions improves seedling growth and yield. *Journal of Animal and Plant Science* 23: 893-899.
- Mirosavljević, M., Denčić, S., Momčilović, V., Mikić, S., Trkulja, D., Vučković, M. (2019): NS Igra – nova sorta ozime pšenice. *Selekcija i semenarstvo XXV*: 33–40.
- Mirosavljević, M., Momčilović, V., Denčić, S., Mikić, S., Trkulja, D., Pržulj, N. (2018): Grain number and grain weight as determinants of triticale, wheat, two-rowed and sixrowed barley yield in the Pannonian environment. *Spanish Journal of Agricultural Research* 16: 0903.
- Mladenov, V., Milošević, M. (2011): Uticaj sorte i lokaliteta na kvalitet semena ozime pšenice. *Semenarstvo i selekcija XVII*: 83–95.
- Morgounov, A., Gomez-Becerra, H.F., Abugalieva, A., Dzhunusova, M., Yessimbekova, M., Muminjanov, H., Zelenskiy, Y., Ozturk, L., Cakmak, I. (2007): Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica* 155:193-203.
- Moshfeghi N., Heidari M., Asghari H.R., Baradaran F.A.M., Abbott L.K., Chen Y. (2019): Effect of zinc foliar application and mycorrhizal inoculation on morpho-physiological traits and yield parameters of two barley cultivars. *Italian Journal of Agronomy* 14: 67-77.

- Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., Foley, J.A. (2012): Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* 490: 254–257.
- Musa, A.M., Harris, D., Johansen, C., Kumar, J. (2001): Short duration chickpea to replace fallow after aman rice: the role of on-farm seed priming in the High Barind Tract of Bangladesh. *Experimental Agriculture* 37: 509–521.
- Naeem H.A., Paulon D., Irmak S., MacRitchie F. (2012): Developmental and environmental effects on the assembly of glutenin polymers and impact on grain quality of wheat. *Journal of Cereal Science* 56: 51–57.
- Nciizah, A., Rapetsoa, M.C., Wakindiki, I., Zerizghy, M.G. (2020): Micronutrient seed priming improves maize (*Zea mays*) early seedling growth in a micronutrient deficient soil. *Heliyon* 6: e04766.
- Nikolic, M., Nikolic, N., Kostic, L., Pavlovic, J., Bosnic P., Stevic, N., Savic, J., Hristov, N. (2016): The assessment of soil availability and wheat grain status of zinc and iron in Serbia: Implications for human nutrition. *Science of the Total Environment* 553: 141–148.
- Niyigaba, E., Twizerimana, A., Mugenzi, I., Ngnadong, W.A., Ye, Y.P., Wu, B M., Hai, J.B. (2019): Winter wheat grain quality, zinc and iron concentration affected by a combined foliar spray of zinc and iron fertilizers. *Agronomy* 9: 250.
- Nonogaki, H., Bassel, G.W., Bewley, J.D. (2010): Germination – Still a mystery. *Plant Science*. 179: 574–581.
- Noulas, C., Karyotis, T. (2015): Zinc in soil, water and food crops. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology* 49: 252-260.
- Ortiz, R., Wagoire, W.W., Hill, J., Chandra, S. (2001): Heritability of and correlations among genotype by environment stability statistics for grain yield in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 103: 469-474.
- Oury, F.X., Leenhardt, F., Révész, C., Chanliaud, E., Duperrier, B., Balfouriera, F., Charmet G., (2006): Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentration in bread wheat. *European Journal of Agronomy* 25: 177–185.
- Ozturk, L., Yazici, M.A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.J., Sayers, Z., Cakmak, I. (2006): Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum* 128: 144-152.
- Ozturk L., Altintas G., Erdem H., Gokmen O. O., Yazici A., Cakmak I. (2009): Localization of iron, zinc, and protein in seeds of spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) genotypes with low and high protein concentration. In *Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, Department of Plant Sciences, Davis, CA*.

Ozturk, L., Yazici, A.M, Cemal, Y., Torun A., Cekic C., Bagci A., Ozkan H., Braun, J-H., Sayers Z., Cakmak I. (2006): Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum* 128: 144-152.

Palmer CM, Guerinot ML (2009) Facing the challenges of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Nature Chemical Biology* 5: 333–340.

Pandey, N., Pathak, G.C., Sharma, C.P. (2006): Zinc is critically required for pollen function and fertilisation in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 20: 89–96.

Passoth, V., Sandgren, M. (2019): Biofuel production from straw hydrolysates: current achievements and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology* 103: 5105–5116.

Pearson, J.N., Rengel, Z. (1994): Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of Experimental Botany* 45: 1829–1835.

Peck A.W., McDonald G.K., Graham R.D. (2008): Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 47: 266–274.

Peterson, C.J., Johnson, V.A., Mattern, P.J. (1986): Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat-flour, bran, and grain. *Cereal Chemistry* 63:183-186.

Peterson, C.J., Gray-Bosch, R.A., Baenziger, P.S., Grombacher, A.W. (1992): Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Science* 32: 98-103.

Persson, D.P., Hansen, T.H., Laursen, K.H., Schjoerring, J.K., Husted, S. (2009): Simultaneous iron, sulfur and phosphorus speciation analysis of barley grain tissues using SEC-ICP-MS and IPICP-MS. *Metallomics* 1: 418–426.

Persson, D.P., de Bang, T.C., Pedas, P.R., Kutman, U.B., Cakmak, I., Andersen, B. Finnie, C., Schjoerring, J.K., Husted, S.. (2016): Molecular speciation and tissue compartmentation of zinc in durum wheat grains with contrasting nutritional status. *New Phytologist* 211: 1255–1265.

Pill, W.G. (1995): Low water potential and presowing germination treatments to improve seed quality. In: A.S. Basra (ed.) *Seed quality. Basic mechanisms and agricultural implications*: Food Products Press, London, UK, pp. 319-360,

Potarzycki, J. (2010): The impact of fertilization systems on zinc management by grain maize. *Fertilizers and Fertilization* 39: 78–89.

Powell, A.A., Matthews, S. (1978): The damaging effect of water on dry pea embryos during imbibition. *Journal of Experimental Botany* 29: 1215–1229.

Prasad, AS. (1984): Discovery and importance of zinc in human nutrition. *Federation proceedings* 43: 2829-34.

Prasad, A.S. (2013): Discovery of human zinc deficiency: its impact on human health and disease. *Advances in Nutrition* 4: 176-190.

- Prasad, R., Shivay, Y. S., Kumar, D. (2013): Zinc fertilization of cereals for increased production and alleviation of zinc malnutrition in India. *Agricultural Research* 2: 111–118.
- Prom-u-thai, C., Rerkasem, B., Yazici, A., Cakmak, I. (2012): Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175: 482-488.
- Prom-U-Thai, C., Rashid, A., Ram, H., Zou, C., Guilherme, L.R.G., Corguinha, A.P.B., Guo, S., Kaur, C., Naeem, A., Yamuangmorn, S., Ashraf, M.Y., Sohu, V.S., Zhang, Y., Martins, F.A.D., Jumrus, S., Tutus, Y., Yazici, M.A., Cakmak, I. (2020): Simultaneous biofortification of rice with zinc, iodine, iron and selenium through foliar treatment of a micronutrient cocktail in five countries. *Frontiers in Plant Science* 11: 589835.
- Protić, R., Todorović, G., Protić, N. (2009): Correlations of yield and grain yield components of winter wheat varieties. *Journal of Agricultural Sciences* 54: 213-221.
- Protić, R., Rajković, S., Starović, M., Poštić, D., Živković, S. (2004): Uticaj načina zaštite semena ozime pšenice protiv *Tilletia tritici* na komponente prinosa. *Zaštita bilja* 55: 65-74.
- Rafique, E., Rashid, A., Ryan, J., Bhatti, A.U. (2006): Zn deficiency in rainfed wheat in Pakistan: magnitude, spatial variability, management and plant analysis diagnostic norms. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 37: 181–197.
- Ram, H., Rashid, A., Zhang, W., Duarte, A.P., Phattarakul, N., Simunji, S., Kalayci, M., Freitas, R., Rerkasem, B., Bal, R.S., Mahmood, K., Savasli, E., Lungu, O., Wang, Z.H., de Barros, V., Malik, S.S., Arisoy, R.Z., Guo, J.X., Sohu, V.S., Zou, C.Q., Cakmak, I. (2016): Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries. *Plant and Soil* 403: 389-401.
- Ramzan, Y., Hafeez, M.B., Khan, S., Nadeem, M., Rahman, S., Batool, S., Ahmad, J. (2020): Biofortification with Zinc and Iron Improves the Grain Quality and Yield of Wheat Crop. *International Journal of Plant Production* 14: 501–510.
- Rashid, A., Hollington, P.A., Harris, D., Khan, P. (2006): Onfarm seed priming for barley on normal, saline and saline-sodic soils in North West Frontier Province, Pakistan. *European Journal of Agronomy* 24: 276-281.
- Rashid, A., Ram, H., Zou, C-Q., Rerkasem, B., Duarte, A., Simunji, S., Yazici, A., Guo, S., Rizwan, M., Bal, R., Wang, Z., Malik, S., Phattarakul, N., Freitas, R., Lungu, O., Barros, V., Cakmak, I. (2019): Effect of zinc-biofortified seeds on grain yield of wheat, rice, and common bean grown in six countries. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 000: 1-14.
- Rehman, A., Farooq, M., Ahmad, R., Basra, S.M.A. (2015): Seed priming with zinc improves the germination and early seedling growth of wheat. *Seed Science and Technology* 43: 262-268.
- Rehman, A., Farooq, M. (2016): Zinc seed coating improves the growth, grain yield and grain biofortification of bread wheat. *Acta Physiologiae Plantarum* 3: 238.
- Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Nawaz, A., Shahzad, B. (2018): Seed priming of Zn with endophytic bacteria improves the productivity and grain biofortification of bread wheat. *European Journal of Agronomy* 94: 98–107.

- Rehman, A., Farooq, M., Ullah, A., Nadeem, F., Im, S.Y., Park, S.K., Lee, D.J. (2020): Agronomic biofortification of zinc in Pakistan: status, benefits, and constraints. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4: 591722.
- Rehman, H., Basra, S.M.A., Farooq, M. (2011): Field appraisal of seed priming to improve the growth, yield, and quality of direct seeded rice. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35: 357–365.
- Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Nawaz, A., Shahzad, B. (2018): Seed priming of Zn with endophytic bacteria improves the productivity and grain biofortification of bread wheat. *European Journal of Agronomy* 94: 98–107.
- Reis, S., Pavia, I., Carvalho, A., Mouthino-Pereira, J., Correia, C., Lima-Brito, J. (2018): Seed priming with iron and zinc in bread wheat: effects in germination, mitosis and grain yield. *Protoplasma* 255: 1179–1194.
- Rashid, A., Ram, H., Zou, C., Rerkasem, B., Duarte, A. P., Simunji, S., Yazici, A., Guo, S., Rizwan, M., Bal, R. S., Wang, Z., Malik, S.S., Phattarakul, N., Soares De Freitas, R., Lungu, O., Barros, V.L.N.P., Cakmak, I. (2019): Effect of zinc-biofortified seeds on grain yield of wheat, rice, and common bean grown in six countries. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 182: 791–804.
- Rengel, Z., Batten, G.D., Crowley, D.E. (1999): Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research* 60: 27–40.
- Rengel, Z. (2001): Genotypic differences in micronutrient use efficiency in crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 1163-1186.
- Rengel, Z. (2015): Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15: 397-409.
- Rengel Z., Graham R.D. (1995) Importance of seed zinc content for wheat growth on zinc-deficient soil. *Plant and Soil* 173: 259–266.
- Rengel, Z., Batten, G. D., Crowley, D. E. (1999): Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research* 60: 27–40.
- Rico, M.I., Alvarez, J.M., Mingot, J.I. (1996): Efficiency of zinc ethylenediaminetetraacetate and zinc lignosulfonate soluble and coated fertilizers for maize in calcareous soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 3219–3223
- Roberts, C., Steer, T., Maplethorpe, N., Cox, L., Meadows, S., Nicholson, S., Page, P., Swan, G. (2018): National diet and nutrition survey: Results from Years 7 and 8 (Combined) of the Rolling Programme (2014/2015–2015/2016). Food Standards Agency: London, UK.
- Ryan, J., Rashid, A., Torrent, J., Yau, S.K., Ibricci, H., Sommer, R., Erenoglu. B. (2013): Micronutrient constraints to crop production in the middle East-west Asia region: significance, research and management. *Advances in Agronomy* 122: 1–84.

Suganya, A., Saravanan, A., Baskar, M., Pandiyarajan, P., Kavimani, R. (2021): Agronomic biofortification of maize (*Zea mays* L.) with zinc by using of graded levels of zinc in combination with zinc solubilizing bacteria and Arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Nutrition* 44: 988-994.

Schillinger, W., Giri, G. (2003): Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. *Crop Science* 43: 2135–2140.

Shewry, P.R. (2009): Wheat. *Journal of Experimental Botany* 60: 1537–1553.

Shivay, Y.S., Kumar, D., Prasad, R. (2008): Effect of zinc-enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice–wheat cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81: 229– 243

Signorell, C., Zimmermann, M.B., Cakmak, I., Wegmuller, R. W. (2019): Zinc absorption from agronomically biofortified wheat is similar to post-harvest fortified wheat and is a substantial source of bioavailable zinc in humans. *Journal Nutrition* 149: 840-846.

Sillanpää M. (1982): Micro nutrients and the nutrient status of soils. A global study. *FAO Soils Bulletin*, No.48, FAO, Rome.

Sillanpää, M. (1990): Micronutrient assessment at country level: An international study. *Soils Bulletin* No. 63, FAO, Rome.

Sims, J.T., Johnson, G.V. (1991): Micronutrient soil test in Micronutrients in Agriculture. In: Mordvedt, J.J. et al. (eds), *The Soil Science Society of America Book Series n°4*, 2nd edn. Madison, WI. USA, pp. 427–476.

Singh, M.V. (2007). Efficiency of seed treatment for ameliorating zinc deficiency in crops. In *Zinc Crops 2007, Improving Crop Production and Human Health*, 24–26 May, 2007, Istanbul, Turkey.

Sousa, S.F., Lopes, A.B., Fernandes, P.A., Ramos, M.J. (2009): The zinc proteome: a tale of stability and functionality. *Dalton Transactions* 38: 7946-7956.

Starks, T.L., Johnson, P.E. (1985): Techniques for intrinsically labeling wheat with ⁶⁵Zn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 33: 691–698.

Stein, A.J. (2010): Global impacts of human mineral malnutrition. *Plant and Soil* 335: 133–154.

Stepien, A., Wojtkowiak, K. (2016): Effect of foliar application of Cu, Zn, and Mn on yield and quality indicators of winter wheat grain. *Chilean Journal of Agricultural Research* 76: 220-227.

Subedi, D.M., Ma, B.L. (2005): Seed priming does not improve corn yield in a humid temperate environment. *Agronomy Journal* 97: 211-218.

Škrbić, B., Čupić, S. (2005): Toxic and essential elements in soft wheat grain cultivated in Serbia. *European Food Research and Technology* 221: 361-366.

Tamindžić, G., Ignjatov, M., Milošević, D., Nikolić, Z., Kostić Kravljanac, Lj., Jovičić, D., Dolijanović, Ž., Savić, J. (2021): Seed priming with zinc improves field performance of maize hybrids grown on calcareous chernozem. *Italian Journal of Agronomy* (u štampi).

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. (2002): Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671–677.

Todorović, M., Čabarkapa, V., Đerić, M., Suđi, J., Ilinčić, B., Trifu, A., Davidović, S. (2019): zinc status in adults in northern Serbia. *Food and Feed Research* 46: 99-110.

UNICEF (2019): National Nutrition Survey 2018. Key Findings Report. In: Nutrition wing Ministry of health services, regulation and coordination, Government of Pakistan, ed. Pakistan.

Ullah, A., Farooq, M., Hussain, M., Ahmad, R., Wakeel, A. (2019): Zinc seed priming improves stand establishment, tissue zinc concentration and early seedling growth of chickpea. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 29: 1046-1053.

Varga, B., Svečnjak, Z., Pospíšil, A., Vinter, J. (2000): Promjene nekih agronomskih svojstava sorata ozime pšenice u ovisnosti o razini agrotehnike. *Agriculturae conspectus scientificus* 65: 37-44.

Velu G., Ortiz-Monasterio I., Cakmak I., Hao Y., Singh R.P (2014): Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *Journal of Cereal Science* 59: 364-372.

Wang, R.M., Yang, X.E., Yang, Y.A. (1998): The growth and development of rice genotypes tolerant to low Zn and some physiological characteristics. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers* 4: 284-293.

Wang, J. W., Mao, H., Zhao, H. B., et al. (2012): Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research* 135: 89–96.

Wang, S., Zhang, X., Liu, K., Fei, P., Chen, J., Li, X., Ning, P., Chen, Y., Shi, J., Tian, X. (2019): Improving zinc concentration and bioavailability of wheat grain through combined foliar applications of zinc and pesticides. *Agronomy Journal* 111: 1478–1487.

Wang, Z.M., Liu, Q., Pan, F., Yuan, L.X., Yin, X.B. (2015): Effects of increasing rates of zinc fertilization on phytic acid and phytic acid/zinc molar ratio in zinc bio-fortified wheat. *Field Crops Research* 184: 58–64.

Wang, S., Li, M., Liu, K., Tian, X., Li, S., Chen, Y., Jia, Z. (2017): Effects of Zn, macronutrients, and their interactions through foliar applications on winter wheat grain nutritional quality. *PLoS One* 12: e0181276.

Wardlaw, I.F., Moncur, L. (1995): The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 391-397.

- Waters, B.M., Sankaran. R.P. (2011): Moving micronutrients from the soil to the seeds: Genes and physiological processes from a biofortification perspective. *Plant Science* 18: 562–74.
- Watts, C., Aslam, M., Gunaratna, N., Shankar, A., De Groote, H., Sharp, P. (2020): Agronomic biofortification of maize with zinc fertilizers increases zinc uptake from maize flour by human intestinal Caco-2 Cells. *Current Developments in Nutrition* 4, Supplement 2: 1853.
- Welch RM (1986): Effects of nutrient deficiencies on seed production and quality. *Adv. Plant Nutrition* 2: 205-247.
- Welch, R.M. (1999): Importance of seed mineral nutrient reserves in crop growth and development. In Rengel, Z. (ed.) *Mineral nutrition of crops. Fundamental mechanisms and implications*. Food Products Press, New York, USA, pp. 205–226.
- Welch, R.M. (1993): Zinc concentrations and forms in plants for humans and animals. In: Robson AD (ed.) *Zinc in soil and plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 183-195.
- Welch, R.M., Combs, G.F., Jr., Duxbury, J.M. (1997): Toward a “greener” revolution. *Issues in Science Technology* 14: 50–58.
- Welch, R.M., Webb, M.J., Loneragan, J.F. (1982): Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity. In *Proceedings of the Ninth Plant Nutrition Colloquium, Warwick, England* (A. Scaife, ed.), pp. 710–715.
- Welch, R.M., Graham, R.D. (2004): Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany* 55: 353–364.
- White, P.J., Broadley, M.R. (2005): Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80: 660–667.
- White, P.J., Broadley, M.R. (2009): Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182: 49–84.
- World Health Organization (WHO) .The World Health Report 2002 Geneva: WHO, 2002.
- World Health Organization (WHO): <https://www.who.int/>
- Yagmur, M., Arpali, D., Gülser, F. (2017). Effects of zinc and urea as foliar application on nutritional properties and grain yield in barley (*Hordeum vulgare* L. conv. *distichon*) under semi arid condition. *Fresenius Environmental Bulletin* 26: 6085-6092.
- Yang, X.E., Chen, W.R., Feng Y. (2007): Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil–plant system: China as a case study. *Environmental Geochemistry and Health* 29: 413-428.

- Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S.A., Cakmak, I. (1997): Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition* 20: 461-471.
- Zhang, Y., Shi, R., Rezaul, K. M., Zhang, F., Zou, C. (2010): Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 58: 12268–12274.
- Zhang, Y.Q., Sun, Y.X., Ye, Y.L., Karim, M.R., Xue, Y.F., Yan, P., Meng, Q.F., Cui Z.L. , Cakmak, I., Zhang, F.S., Zou, C.Q. (2012): Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China. *Field Crops Research* 125: 1–7.
- Zhao, A.Q., Lu, X.C., Chen, Z.H., Tian, X.H., Yang, X.W. (2011): Zinc fertilization methods on zinc absorption and translocation in wheat. *Journal of Agricultural Science* 3: 28-35.
- Zhao, F.J, Su, Y.H., Dunham, S.J., Rakszegi, M., Bedo, Z., McGrath, S.P., Shewry, P.R. (2009): Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science* 49: 290–295.
- Zhao F.J., Hawkesford M.J., McGrath S.P. (1999): Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science* 30: 1–17.
- Zhao, F.J., Su, Y.H., Dunham, S.J., Rakszegi, M., Bedo, Z., McGrath, S.P., Shewry, P.R. (2009): Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science* 49: 290–295.
- Zhao P., Yang F., Sui F.Q., Wang Q.Y. (2013): The effects of zinc and nitrogen on wheat nitrogen using, yield and grain protein content. *Journal of China Agricultural University* 18: 28–33.
- Zhao, F.J., McGrath, S.P. (2009): Biofortification and phytoremediation. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 373-380.
- Zulfiqar, U., Hussain, S., Ishfaq, M., Matloob, A., Ali, N., Ahmad, M., Alyemeni, M.N., Ahmad, P. (2020): Zinc-induced effects on productivity, zinc use efficiency, and grain biofortification of bread wheat under different tillage permutations. *Agronomy* 10: 1566.
- Zou, C.Q., Zhang, Y.Q., Rashid, A., Ram, H., Savasli, E., Arisoy, R.Z. (2012): Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. *Plant and Soil* 361: 119–130.

BIOGRAFIJA AUTORA

Dragana Ivanović je rođena 15.06.1984. godine u Gornjem Milanovcu. Osnovnu školu i gimnaziju pohađala je u Ljigu. Diplomirala je 2011. godine na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, smer Ratarstvo i povrtarstvo, sa prosečnom ocenom 8,86. Doktorske studije, studijski program – Poljoprivredne nauke, modul: Ratarstvo i povrtarstvo upisala je 2012. godine na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Započela je volonterski rad u Institutu PKB agroekonomik 2016. godine, na odeljenju selekcije strnih žita, povremeno učestvujući na poslovima selekcije kukuruza, a 2018. godine je zasnovala radni odnos kao član Grupe za selekciju kukuruza, gde je radila tokom sedam meseci. Od 2016. godine radi kao kontrolor/spoljni saradnik u kontrolnoj organizaciji za organsku proizvodnju Ecovivendi, gde radi i danas. Izabrana je u zvanje istraživač pripravnik za naučnu oblast Biotehničke nauke, grana Poljoprivreda, naučna disciplina Ratarstvo i povrtarstvo i uža naučna disciplina Žita, 09.2016. godine. Koautor je šest naučnih radova i saopštenja na naučnim skupovima, od kojih su dva objavljena u časopisu međunarodnog značaja.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Драгана Д. Ивановић
Број индекса: РА 12/16

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

„Утицај предсетвеног третмана семена водом и цинком на принос пшенице и биофортификација зрна фолијарном применом цинка“.

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Драгана Д. Ивановић

Број индекса: РА 12/16

Студијски програм: Пољопривредне науке

Наслов рада: „Утицај предсетведеног третмана семена водом и цинком на принос пшенице и биофортификација зрна фолијарном применом цинка“.

Ментор: проф. др Јасна Савић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом: “Утицај предсетвеног третмана семена водом и цинком на принос пшенице и биофортификација зрна фолијарном применом цинка”,

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. Ауторство. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прерада. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.