

Utjecaj gnojidbe fosforom na količinu mikroelemenata u salati

Kužir, Mija

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:706051>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-17**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



UTJECAJ GNOJIDBE FOSFOROM NA KOLIČINU MIKROELEMENTATA U SALATI

DIPLOMSKI RAD

Mija Kužir

Zagreb, srpanj, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Hortikultura - Povrćarstvo

UTJECAJ GNOJIDBE FOSFOROM NA KOLIČINU MIKROELEMENTATA U SALATI

DIPLOMSKI RAD

Mija Kužir

Mentor:

doc. dr. sc. Marko Petek

Zagreb, srpanj, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZJAVA STUDENTICE O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Mija Kužir**, JMBAG 0178102447, rođena 15.01.1996. u Varaždinu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ GNOJIDBE FOSFOROM NA KOLIČINU MIKROELEMENATA U SALATI

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studentice



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Mije Kužir**, JMBAG 0178102447, naslova

UTJECAJ GNOJIDBE FOSFOROM NA KOLIČINU MIKROELEMENATA U SALATI

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. doc. dr. sc. Marko Petek mentor

2. doc. dr. sc. Tomislav Karažija član

3. doc. dr. sc. Sanja Radman član

Zahvala

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Marku Peteku na stručnom vodstvu i strpljenju pri izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem svojim roditeljima na svojoj podršci koju su mi pružili tijekom studiranja.

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 1.1. Cilj istraživanja | 2 |
| 2. Pregled literature | 3 |
| 2.1. Salata | 3 |
| 2.1.1. Tipovi salate | 3 |
| 2.1.2. Uzgoj salate | 4 |
| 2.1.3. Bolesti salate | 5 |
| 2.2. Gnojidba | 5 |
| 2.3. Mikroelementi | 6 |
| 2.3.1. Željezo | 6 |
| 2.3.2. Cink | 7 |
| 2.3.3. Mangan | 8 |
| 2.3.4. Bakar | 9 |
| 2.4. Količina mikroelemenata u salati | 10 |
| 3. Materijali i metode | 13 |
| 3.1. Postavljanje i provedba pokusa | 13 |
| 3.2. Kemijska analiza | 13 |
| 3.3. Obrada podataka | 14 |
| 4. Rezultati i rasprava | 15 |
| 4.1. Suha tvar | 15 |
| 4.2. Željezo | 15 |
| 4.3. Cink | 17 |
| 4.4. Mangan | 19 |
| 4.5. Bakar | 20 |
| 5. Zaključci | 22 |
| 6. Literatura: | 23 |
| 7. Životopis | 26 |

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Mije Kužir**, naslova

UTJECAJ GNOJIDBE FOSFOROM NA KOLIČINU MIKROELEMENTATA U SALATI

Salata (*Lactuca sativa* L.) je jednogodišnja biljka iz porodice Asteraceae koja se uzgaja kao lisnato povrće. Uzgaja se diljem svijeta uglavnom na tlu. Za razvoj su salati kroz vegetaciju potrebni esencijalni makro- i mikroelementi koje većinom usvaja kroz korjenov sustav. Mikroelementi su zastupljeni u salati u manjim količinama od makroelemenata, ali su ključni za njezin razvoj jer doprinose brojnim fiziološkim procesima. Mnogo čimbenika utječe na količinu mikroelemenata, a jedan od najznačajnijih je gnojdba. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi utjecaj gnojdbje različitim oblicima fosfora na količinu mikroelemenata u salati. Gnojdbeni pokus je proveden u Velikoj Kosnici u Zagrebačkoj županiji na salati sorte 'Aquarel', a postavljen je po metodi latinskog kvadrata s tri tretmana gnojdbje: T1 (kontrola, bez gnojdbje), T2 (500 kg/ha YaraMila Complex; fosfor u obliku polifosfata) i T3 (370 kg/ha Petrokemija NPK 15-15-15; fosfor u obliku ortofosfata). Prosječni uzorci listova salate usitnjeni su i osušeni na temperaturi od 105°C, te homogenizirani. Uzorci su razgrađeni dušičnom (HNO₃) i perklornom kiselinom (HClO₄) u mikrovalnoj peći. Željezo, cink, mangan i bakar određeni su atomskom apsorpcijskom spektrometrijom AAS. Suha tvar određena je gravimetrijski sušenjem do konstantne mase. Najveća količina suhe tvari (ST) je utvrđena je u T3 tretmanu (8,85 %). Količina mikroelemenata u suhoj tvari lista salate (mg/kg suhe tvari) iznosila je Fe 1280-2373, Zn 36,0-48,5, Mn 54,1-87,6 i Cu 9,4-10,7, dok je u svježoj tvari (mg/100 g svježe tvari) iznosila Fe 10,5-20,6, Zn 0,30-0,41, Mn 0,45-0,76 i Cu 0,078-0,091. Najviše vrijednosti mikroelemenata utvrđene su u tretmanu bez gnojdbje (T1) jer je kalij, primijenjen u gnojdbjenim tretmanima, vjerojatno djelovao antagonistički na njihovo usvajanje.

Ključne riječi: *Lactuca sativa* L., mikrohranivo, polifosfat, povrće, željezo

Summary

Of the master's thesis – student **Mija Kužir**, entitled

EFFECT OF PHOSPHORUS FERTILIZATION ON MICROELEMENTS CONTENT IN LETTUCE

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is an annual plant of the Asteraceae family, which is grown as a leafy vegetable. Worldwide lettuce is mostly produced on soil. For its development during vegetation, lettuce requires essential macro- and microelements, which uptake by root system. Microelements are present in lettuce in lower content than macroelements, but are essential for its development, as they contribute many physiological processes in the plant. There are many factors which effect content of microelements and one of the most important ones is fertilization. The goal of this research was to determine the effect of fertilization by different phosphorus forms on microelements content in lettuce. The field fertilization experiment was set up in Velika Kosnica (Zagreb County, Croatia) with lettuce cultivar 'Aquarel' according to the Latin square method with three fertilization treatments: T1 (control, without fertilization), T2 (500 kg/ha YaraMila Complex; phosphorus in polyphosphate form) and T3 (370 kg/ha Petrokemija NPK 15-15-15; phosphorus in orthophosphate form). Average lettuce leaves samples were cut up, dried at 105°C and homogenized. The samples were digested by nitric acid (HNO₃) and perchloric acid (HClO₄) in microwave oven. Iron, zinc, manganese and copper were determined by atomic absorption spectrometry-AAS. Dry matter was determined gravimetrically by drying until constant mass. The highest dry weight (DW) content was determined in T3 treatment (8.85 % DW). Microelements content in dry matter of lettuce leaves (mg/kg dry matter) ranged: Fe 1280-2373, Zn 36.0-48.5, Mn 54.1-87.6 and Cu 9.4-10.7, while in fresh matter (mg/100 g fresh matter) it ranged: Fe 10.5-20.6, Zn 0.30-0.41, Mn 0.45-0.76 and Cu 0.078-0.091. The highest values of microelements were determined in the treatment without fertilization (T1) because potassium, applied in fertilization treatments, probably had an antagonistic effect on their uptake.

Keywords: iron, *Lactuca sativa* L., micronutrient, polyphosphate, vegetable

1. Uvod

Salata je jednogodišnja zeljasta biljka iz porodice Asteraceae, koja se uzgaja kao povrtna kultura. Smatra se da potječe iz Mediteranskog područja, a ima dugu povijest kultivacije jer je najvjerojatnije prvi puta kultivirana na području današnjeg Egipta 4500 godina prije nove ere (g.pr.n.e).

Uzgaja se zbog svježeg lišća koje služi za ljudsku konzumaciju. Lisnata salata sadrži 95 % vode, a 100 g salate sadrži: 12,44 kalorija, 0,86 g proteina, 0,067 g masti, 2,156 g ugljikohidrata, 19,11 mg kalcija, 21,11 mg fosfora, 4,89 mg željeza, 8,67 mg natrija, 167,56 mg kalija, 4,67 mg tiamina, 0,04 mg riboflavina, 0,24 mg niacina i 12 mg askorbinske kiseline (Whitaker, 1974).

U Hrvatskoj je 2019. godine proizvedeno 6 632 tona salate, od čega je 4 266 tona bilo namijenjeno prodaji na tržištu. To je nešto manji iznos u odnosu na prethodnu godinu kada je ukupno proizvedeno 6 904 tona, odnosno 4 892 tona za prodaju na tržištu (DZS, 2020).

Prema FAO (2020) u Hrvatskoj se 2018. godine 290 ha koristilo za proizvodnju salate i radiča, što je 50 ha manje u odnosu na 2017. godinu kada su se salata i radič uzgajali na 340 ha površine. Prosječan prinos salate i radiča u Republici Hrvatskoj 2018. godini iznosio je 20 382,8 kg/ha.

Postoje razni varijeteti salate. U Hrvatskoj se najčešće uzgajaju oba tipa salate glavatice (kristalka i maslenka) (*Lactuca sativa* var. *capitata*), lisnata salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*) i dugolisna salata (*Lactuca sativa* var. *longifolia*). Razlikuju se prema morfološkim obilježjima. Glavica salate glavatice formirana je od vanjskih većih listova koji se preklapaju i tamnozeleno su boje, te od unutrašnjih, sitnijih i svjetlijih listova koji nastavljaju rasti unutar glavice. Lišće lisnate salate može biti ravnog ili više-manje nazubljenog ili urezanog ruba, glatke ili naborane površine, a boje variraju od zelene, žuto-zelene ili smeđe-crvene boje. Rozeta dugolisne salate je uspravna, a lišće joj je glatko s jako izraženim srednjim rebrom. Vrhovi se listova malo preklapaju i tvore rahlu izduženu glavicu.

Salata se može proizvoditi na tlu na otvorenom i u zaštićenom prostoru, a u novije vrijeme sve je učestaliji uzgoj u hidroponskim i akvaponskim sustavima.

Salati su tijekom vegetacijskog razdoblja za kvalitetan rast i razvoj potrebni svi biogeni mikroelementi od kojih su najznačajniji željezo, bakar, mangan i cink koje biljka usvaja putem korijena iz otopine tla, pa je zato važno da biogeni elementi budu u pristupačnom ili fiziološki aktivnom obliku. Željezo, salata usvaja putem korijena u obliku Fe^{2+} i Fe^{3+} iona te Fe helata, pri čemu oblik u kojem će se željezo usvojiti uvelike ovisi o pH reakciji, a u biljci se koristi za sintezu klorofila, transport elektrona te je sastavni dio dvije grupe proteina: hem proteina i $Fe-S$ -proteina. Bakar se usvaja u ionskom obliku Cu^{2+} ili u obliku helata putem korijena. Djeluje kao strukturni element u regulacijskim proteinima i među ostalim sudjeluje u fotosintetskom transportu elektrona i mitohondrijskom disanju. Mangan se lako usvaja u obliku reduciranog Mn (Mn^{2+} i $MnOOH$), a značajan je jer obično djeluje kao aktivator enzima i sposoban je zamijeniti druge metalne ione. Cink se usvaja u obliku vodotopivog Zn^{2+} iona. Njegov značaj u biljci očituje se u tome što je sastavni dio brojnih enzima, a ujedno je i njihov aktivator. Također ima velik značaj u biosintezi DNK i RNK proteina i auksina.

Gnojdba fosforom od velikog je značaja jer su hrvatska tla općenito siromašna tim elementom. Fosfor se najčešće dodaje u tlo preko gnojiva u kojima je fosfor u obliku ortofosfata. Na tržištu postoje i gnojiva s fosforom u obliku polifosfata.

1.1. Cilj istraživanja

Cilj ovog rada je utvrditi utjecaj gnojidbe različitim fosfornim gnojivima na status makroelemenata u salati.

2. Pregled literature

2.1. Salata

Salata (*Lactuca sativa* L.) je lisnato povrće iz porodice glavočika (*Asteraceae*). Sama porodica se dijeli na dvije potporodice *Asteroideae* i *Cichoriodeae*. U potporodicu *Cichoriodeae* ubrajamo rodove *Lactuca* (salata), *Cichorium* (radič i endivija), *Tragopogon*, *Scorzonera* i dr. (Parađiković, 2009).

Smatra se da salata izvorno potječe iz Mediteranskog područja. Najvjerojatnije je prvi puta kultivirana na području današnjeg Egipta, 4 500 g.pr.n.e. Imala je široku upotrebu u antičkoj Grčkoj kao i u Rimskom Carstvu. U Kinu je stigla između 600.-900. godine nove ere, gdje je bila kultivirana zbog zadebljale cvjetne stabljike koja se koristila u prehrani. Salata je bila jedna od prvih povrtnica koje su Španjolci doveli u Novi Svijet, budući da postoje zapisi da je tamo bila uzgajana već 1494. godine (Whitaker, 1974).

Salati vegetacija završava unutar godine dana pa se svrstava u jednogodišnje biljke. Vretenastog je, mesnatog i razgranjenog korijena čija se glavina nalazi se u gornjih 30 cm tla, a u promjeru odgovara promjeru rozete. U početku vegetativne faze lišće tvori rozetu. Ovisno o obliku i strukturi lišća formiralo se više varijeteta. U vegetativnoj fazi stabljika je skraćena, a u generativnoj se produžuje i grana, koja ponekad može doseći do 1,2 m visine (Lešić i sur., 2016). U generativnoj fazi pojavljuju se cvatovi glavice, na vrhovima brojnih grana i grančica. U svakom cvatu nalazi se 15 dvospolnih žutih cvjetova, stoga prevladava samooplodnja, iako je moguća i stranooplodnja pomoću kukaca.

2.1.1. Tipovi salate

Postoje razni varijeteti kultivirane salate, koji se međusobno razlikuju po morfološkim obilježjima. Ovdje su navedena tri najvažnija tipa salate za Hrvatsku.

Salata glavatica *Lactuca sativa* var. *capitata* L.

Glavica je formirana od vanjskih listova koji se preklapaju, a znatno su veći i tamnozeleno boje, od unutrašnjih, sitnijih i svjetlijih listova koji nastavljaju rasti unutar glavice. Dijeli se na maslenke (puter salata) i kristalke (ledena salata). Maslenka je prosječne težine između 250-500 g, ovalnih i nježnih listova. Kristalke imaju nazubljene, više naborane listove i izraženiju nervaturu (Parađiković, 2009).

Lisnata salata – *Lactuca sativa* var. *crispa* L.

Lišće se postupno može ubirati ili se bere cijela rozeta. Lišće može biti ravnog ili više-manje nazubljenog ili urezanog ruba, glatke ili naborane površine, a boje variraju od zelene, žuto-zelene ili smeđe-crvene boje (Lešić i sur., 2016).

Dugolisna salata – *Lactuca sativa* var. *longifolia* L.

Rozeta joj je uspravna, a lišće joj je glatko s jako izraženim srednjim rebrom. Vrhovi se listova malo preklapaju i tvore rahlu izduženu glavicu (Lešić i sur., 2016).

2.1.2. Uzgoj salate

Salata se može proizvoditi na otvorenom i u zaštićenom prostoru, a u novije vrijeme u hidroponskim i akvaponskim sustavima (Ako i Baker, 2009).

Prema Smith i sur. (2011) salata je kultura umjerene klime. Lešić i sur. (2016) navode da su optimalne temperature nicanja između 15 i 20°C, kad salata niče već za 3 do 5 dana. Prema Parađiković (2009) presadnice salate su u optimalnim uvjetima (15-18°C do nicanja, 10-12°C nakon nicanja) za presađivanje spremne za dvadesetak dana. Optimalna temperatura za rast i razvoj iznosi 23°C kroz dan, odnosno 7°C kroz noć. Kod previsokih temperatura dolazi do uvijanja listova koji postaju gorki, a sama glavica gubi formu. Kod temperatura blizu točke smrzavanja, mladim biljkama se usporava rast, no ne odumiru. Smrzavanje može naškoditi već razvijenim listovima salate, što kasnije dovodi do problema kod skladištenja.

Kod direktne sjetve, sjeme se sije preciznom sijačicom, na razmak 30 do 40 cm između redova, a kasnije se razmak među biljkama prorjeđivanjem podesi na 20 do 30 cm. Može se sijati na gredicama ili na ravnoj površini, a ključno je da površina tla bude dobro pripremljena, da površinski sloj bude fine mrvičaste strukture (Lešić i sur., 2016).

Parađiković (2009) navodi da se presadnice salate uzgajaju u specijalno pripremljenim prešanim tresetnim kockama veličine 3 do 4 cm. Lešić i sur. (2016) navodi da se u današnje vrijeme za uzgoj presadnica najviše koriste polistirenski kontejneri s lončićima napunjenim komercijalnim supstratom za mehaniziranu sjetvu sjemena. U proizvodnji salate može se koristiti pilirano ili golo sjeme, no u zemljama Europske unije koristi se isključivo pilirano sjeme-split pills (Parađiković, 2009). Sjetva piliranog sjemena je strojna. Ranije sorte salate sade se na 15-20 cm razmaka, dok se kasnije sorte sade na razmak od 20-25 cm.

Budući da salata ima kratku vegetaciju, često se uzgaja kao međukultura. Iako dobro podnosi samu sebe, preporuča se barem jedna predkultura iz druge porodice (Lešić i sur., 2016). Prema Smith i sur. (2011) salata preferira lakša tla s višim udjelom pijeska, iako može rasti i na težim tlima ako su dobro drenirana. Slabe je tolerancije na sol, pa ne uspijeva na zaslanjenim tlima, niti je preporučljivo navodnjavati slanom vodom. Parađiković (2009) navodi da je gnojidbu potrebno provesti pred samu sadnju uz primjenu lako topivih gnojiva, posebice ako ta gnojiva sadrže P, Mg i B.

U hidroponskom uzgoju salata se uzgaja metodom plutajućeg hidropona. Riječ je o metodi kod koje se u plitkim bazenima nalazi hraniva otopina, na čijoj površini plutaju polistirenske ploče zasijane s kulturom. Na ovaj se način salata može brati više puta u istoj sezoni Parađiković (2009). Kod akvaponskog sustava, ribe svojim ekskrementima opskrbljuju biljke potrebnim hranivima (Ako i Baker, 2009).

Salata se na tržište dostavlja pakirana u letvarice ili kartonske kutije s potrebnim perforacijama. Pakira se tako da se vrhovi glavica dodiruju, a poslagane su u jedan ili dva reda. Salatu koja je rasla na otvorenom, ponekad je prije pakiranja potrebno oprati i osušiti (Lešić i sur., 2016).

2.1.3. Bolesti salate

Bolesti salate mogu biti uzrokovane od strane gljivica, bakterija i virusa. Najznačajnije gljivične bolesti su bijela trulež i plamenjača salate. Bijelu trulež uzrokuju dvije vrste roda *Sclerotinia* (*S. minor* i *S. sclerotiorum*). Često se javlja kod proizvodnje u zaštićenim prostorima, ali može se pojaviti i kod uzgoja na otvorenom ako se ne poštuje plodored. Zaraza se očituje u nastanku mekane truleži na korijenovom vratu, što uzrokuje gubitak turgora i venuće čitave glavice salate. Plamenjača (*Bremia lactucae*) napada salatu u svim razvojnim stadijima. Prilikom napada plamenjače tek iznikle biljke venu. Na razvijenim listovima javljaju se oštećenja različitih veličina, svijetlozelene do žute boje. Na starijim listovima oštećenja postaju klorotična. Različiti simptomi javljaju se zbog različite osjetljivosti pojedinih biljnih vrsta i hibrida (Maceljki, 2004).

Maceljki (2004) navodi bakterijske bolesti koje se pojavljuju na salati: bakterijska rubna palež (*Pseudomonas marginalis* pv. *marginalis*), bakterijska trulež unutarnjih listova (*Pseudomonas cicborii*), bakterijska trulež listova i stabljike (*Xanthomonas campestris* pv. *viitians*). Također navodi i virusne bolesti koje napadaju salatu poput: virusa mozaika salate (*Lettuce Mosaic Virus*), virusa mozaika krastavaca (*Cucumber Mosaic Virus*) i virusa zadebljanja žila salate (*Big Vein Virus*).

2.2. Gnojdba

Prema Vukadinović i Bertić (2013) gnojdba je agrotehnička mjera koja povećava produktivnost uloženog rada i staništa u poljoprivrednoj proizvodnji i osigurava povrću ishranu biogenim elementima kojih u tlu nema dovoljno, a da bi se postigao stabilan i visok prinos. Za bolju učinkovitost i isplativost gnojidbe potrebno je provesti analizu tla.

Gnojiva prema podrijetlu dijelimo na: mineralna, organska, organsko-mineralna i bakterijska gnojiva. Mineralna su najvećim dijelom mineralne soli (iznimka je urea koja je kemijski spoj), za razliku od organskih gnojiva lako su topiva u vodi. Mogu, a i ne moraju sadržavati ugljik. Dije se na pojedinačna i složena. Organska su gnojiva prirodnog porijekla i sadrže hraniva u organskom obliku. Ovdje ubrajamo: stajski gnoj, gnojnicu, gnojovku, kompost, biljne ostatke i zelenu gnojdbu. Organsko-mineralna gnojiva, kako im ime govori, smjesa su organskih i mineralnih gnojiva. Bakterijska gnojiva sadrže sojeve bakterija koje mogu transformirati nepristupačne oblike hraniva u bioraspoložive oblike (Vukadinović i Vukadinović, 2016).

Prema Parađiković (2009) gnojdbu je moguće provesti mineralnim i organskim gnojivima. Za dobivanje odgovarajuće kvalitete i što većih prinosa u povrćarstvu potrebno je uz organska primijeniti i mineralna gnojiva. Mineralna gnojiva sadrže biljna hraniva u velikim koncentracijama, u biljci dostupnom obliku te u odgovarajućem odnosu. Kod gnojidbe potrebno je voditi računa o potrebama pojedinih vrsta povrća, o stupnju opskrbljenosti tla odgovarajućim biljnim hranivima i osjetljivosti pojedinih biljnih vrsta na određene elemente, npr. klor.

Mnogo je čimbenika koji utječu na efikasnost gnojidbe, odnosno na usvajanje hraniva od strane biljaka. Tako količina dostupnih hraniva u tlu ovisi o: tipu i profilu tla, tipu i arhitekturi korijena (ovisi o sorti i podlozi), stresnim čimbenicima (suša, stagniranje

vode, zbijeno tlo, nedostatak kisika, visoka koncentracija soli) i obogaćivanju biogenim elementima. U zoni rizosfere pristupačnost hraniva povećavaju korjenove izlučevine (biljke iz porodice Poaceae koje izlučuju organske helatore) i sama mikrobiološka aktivnost u zoni korijena. Zbijenost tla, nedostatak kisika i višak vode u tlu, negativno utječu na usvajanje hraniva. Zbijenost tla, osim što smanjuje usvajanje makroelemenata poput dušika i kalija u biljku, povećava osjetljivost biljke na štetno djelovanje teških metala na korijen biljke u uvjetima niskog pH. Nedostatak kisika uz nagomilavanje ugljik dioksida i bikarbonatnog iona sprječava ulazak iona u biljku: K, Ca, Mg, P, Fe, Mn i translokaciju od korijena do izboja. Ako tlo uz nedostatak kisika pati od viška vode može doći do viška mangana zbog procesa redukcije (Herak Ćustić, 2005).

2.3. Mikroelementi

2.3.1. Željezo

Željezo je četvrti najčešći element na Zemlji. Uglavnom se nalazi u obliku feromagnetitovih silikata. Tla u prosjeku sadrže 1-5% ukupnog željeza, od čega se većina nalazi u obliku silikatnih minerala ili željezovih oksida i hidrosida. Željezo u tim oblicima nije dostupno biljkama za korištenje. Željezo se u tlu nalazi u fero (Fe^{3+}) i feri (Fe^{2+}) obliku. Na to koji će oblik željeza prevladavati u tlu i na dostupnost željeza biljkama utječu brojni čimbenici: pH tla, aeracija tla, reakcije s organskom komponentom tla i adaptabilnost (Schulte, 2004).

Prilikom proučavanja mehanizma usvajanja željeza u raznim biljnim vrstama, ti su mehanizmi smješteni u 2 strategije. Strategija I kod biljaka koje nisu iz porodice Poaceae i strategija II kod biljaka iz porodice Poaceae. Strategija II se oslanja na biosintezu i sekreciju mugične kiseline koja je specifična za biljke iz porodice Poaceae (Kobayashi i Nishizava, 2012).

Walker i Connolly (2008) objašnjavaju strategiju I kod usvajanja željeza kao odgovor koji omogućava povećanje topljivosti željeza i njegov transport u korijenje kada je njegova dostupnost ograničena. Ovaj odgovor uključuje indukciju tri aktivnosti smještenih u staničnoj membrani korjenovih stanica: protonska pumpa koja zakiseljava rizosferu, zbog čega više željeza prelazi u tekuću fazu tla, reduktaza željezovih helata pretvara $Fe(III)$ helate u dvije komponente; $Fe(II)$ i $Fe II$ transporter koji transportira željezo kroz staničnu membranu u stanice.

Željezo sudjeluje u sintezi klorofila, redukciji nitrata i sulfata, asimilaciji dušika, u transportu elektrona, itd. Željezo je sastavni dio dvije grupe proteina: hem proteina (citokromi, peroksidaze, legaze, leghemoglobini bakterija) i $Fe-S$ -proteina (feredoksin) (Vukadinović i Vukadinović, 2011).

Nedostatak željeza najčešće se pojavljuje u hladnim, mokrim tlima gdje je mikrobiološka aktivnost i rast korijena ograničen (Schulte, 2004). Prema Römheld (1987) nedostatak željeza je česta pojava na tlima s povišenim udjelom kalcijeva karbonata. Kod mnogih biljnih vrsta nedostatak željeza uzrokuje smanjen rast vršnog dijela korijena i stvaranje lateralnih korijena (Chaney i Bell, 1987). Nedostaci željeza prvo se pojavljuju na najmlađem lišću, uzrokujući žućenje – klorozu. Simptomi

nedostatka željeza su inhibicija vegetacijskog rasta, tamno, plavozelena lišće i mrka boja korijena. (Vukadinović i Vukadinović, 2011) Kod manjeg nedostatka željeza dolazi do pojave intravenozne kloroze na lišću (Schulte, 2004).

Prema Lešić i sur. (2016), kada biljci nedostaje željeza, ona zaostaje u rastu i postaje blijedo zelena. Lišće postaje glađe. Stariji listovi žute, ali duže ostaju zeleni uz žile što daje prošarani izgled. Mlado lišće u potpunosti postaje blijedo žuto. Ako nedostatak željeza potraje, rast u potpunosti prestaje, a starije lišće odumire.

Suvišak željeza se rijetko događa i to na slabo prozračenim i vrlo kiselim tlima. Prosječna toksična granica iznosi 500 mg/kg (Vukadinović i Vukadinović, 2011).

2.3.2. Cink

Broadley (2007) navodi da Zn se u tlu pojavljuje u 3 primarne frakcije: kao vodotopivi cink (Zn^{2+} i druge topive organske frakcije), zamjenjiv Zn adsorbiran na koloidne čestice tla (uključuje čestice gline i huminske komponente Al i Fe hidroksida), netopljivi Zn (zarobljen u raznim kompleksima i mineralima).

Mobilnost i dostupnost teških metala, pa tako i cinka, ovisi o pH tla, sadržaju organske tvari, teksturi tla, količini željezovih i manganovih oksida, mogućnosti sorpcije tla, tipu metala i drugim faktorima. Teški metali, uključujući i cink, su biljci dostupniji u tlima s nižom razinom huminskih kiselina. Kako se pH tla povećava (od 6,5 do 7,5), fitotoksični efekt Zn slabi (Wyszkowska i sur., 2013).

Prema Vukadinović i Vukadinović (2011) fiziološka uloga cinka u biljci je opsežna i značajna. Sastavni je dio mnogih enzima gdje povezuje enzim sa supstratom. Sudjeluje u građi brojnih enzima poput: karboanhidraze, dehidrogenaze, alkoholdehidrogenaze, superoksiddismutaze, a ujedno je i njihov aktivator. Ima velik značaj u biosintezi DNK i RNK, sintezi proteina, sintezi auksina, te utječe na rast biljaka i stabilizaciju biomembrana. Također, navode da cink utječe na aktivnost ribuloza-1,5-fosfat karboksilaze-oksidaze (karboksidismutaze), usvajanje i transport fosfora i aktivnost fosfataza, a povećava otpornost prema bolestima (preko utjecaja na proteosintezu) i abiotskim čimbenicima (suši i niskim temperaturama).

Biljke usvajaju Zn iz otopine tla primarno u obliku Zn^{2+} , ali također može biti usvojen u kompleksu s organskim lignadima, kroz korijen gdje se putem ksilema distribuira kroz biljku do izboja biljke. Transport od epidermalnih stanica i stanica korteksa korijena do ksilema korijena provodi se putem simplasta, povezanih plazmodezmama, kroz koje se Zn ubacuje u stelarni apoplast. Ovaj simplastni put kataliziran je transportnom aktivnošću plazmatske mebrane i tonoplasta. Cink se može transportirati i izvanstanično do apoplasta u regijama gdje Kasparijeve pruge nisu u potpunosti formirane. Tako da se Zn može transportirati simplastnim i apoplastnim putem (Broadley, 2007).

Broadley (2007) navodi da znakovi teškog nedostatka Zn uključuju: nekrozu vrhova korijena, dok manje drastičan i neletalni nedostatak Zn se karakterizira intravenoznom klorozom lišća, razvojem crveno-smeđih ili brončanih mrlja, te raspon reakcija koje odgovaraju nedostatku auksina poput kraćenja internodija, unutarnje uvijanje rubova lišća, smanjenje veličine listova.

Kod pomanjkanja cinka kod salate, karakteristično je da biljke zaostaju u rastu i ostaju u rozeti. Nakon nekog vremena pojavljuje se kloroza uzduž rubova listova, a među nervaturom nastaju velike pjege papirnatog izgleda s tamnim rubovima. Simptomi počinju na starijem lišću i šire se prema mlađem (Lešić i sur., 2016).

Prvi simptomi toksičnosti Zn je pojava generalne kloroze na mlađem lišću. Ovisno o razni toksičnosti, kloroza se može razviti do crvenila mladog lišća zbog stvaranja antocijana. Biljke koje boluju od toksičnosti Zn imaju manje lišće od onih koje nisu zahvaćene toksicitetom Zn. Također je primijećeno vertikalno usmjereno lišće. U nekim vrstama, moguća je pojava smeđih mrlja, u težim slučajevima na biljkama se mogu pojaviti nekrotične lezije na lišću, što na kraju dovodi do smrti cijele biljke. Na korijenu, toksicitet Zn je vidljiv kroz smanjenje rasta glavnog korijena, manje i kraće lateralno korijenje, te žućenje korijena (Reichman, 2002).

2.3.3. Mangan

Prema Vukadinović i Vukadinović (2011) ukupan sadržaj mangana u tlima je 200-3000 mg/kg, od čega je samo 0,1-1,0% dostupno biljkama. Dostupnost mangana biljkama raste s povećanjem kiselost tla i njegove redukcije do Mn^{2+} . Biljke lako usvajaju reducirani Mn (vodotopivi Mn^{2+} , izmjenjivo sorbiran Mn^{2+} , te lakoreducirajući $MnOOH$), dok su im više oksidirani oblici poput Mn^{3+} i Mn^{4+} nedostupni. Pored pH tla, važni čimbenici usvajanja Mn su vlažnost tla i nitrifikacijski procesi.

Mn se slobodno kreće transpiracijom kroz kilemu, gdje njegova ionska forma i sama koncentracija jako variraju. Koncentracija Mn varira između 1-3500 μM u ksilemu u raznim biljnim vrstama. Također, koncentracija varira ovisno o okolišnim uvjetima i apsorpciji vode. U ksilemu je uglavnom prisutan kao divalentni ion. Unutar ksilema Mn se slobodno kreće transpiracijom od korijena do izboja. lako se uglavnom kreće pasivno transpiracijom, izgledno je da pod određenim uvjetima, može se prenijeti iz peteljke i pohraniti u tkivu stabljike odakle poslije može biti oslobođen za redistribuciju (Graham i sur., 1988).

Mangan je uključen u mnoge biokemijske procese u biljci. Osim esencijalnih mikroelemenata kao što su Fe, Cu, Zn i Mo, koji su obično integrirana komponenta enzima, Mn obično djeluje kao aktivator enzima i sposoban je zamijeniti druge metalne ione. Mangan je sličan Mg u biokemijskoj funkciji i uključen je u aktivaciju enzimatskih reakcija uključujući fosforilaciju, dekarboksilaciju, redukciju i hidrolizu reakcija te samim time utječe na procese poput respiracije, sinteze aminokiselina, biosinteze lignina i na razine hormona u biljkama. Najvažnija uloga Mn u prirodi je njegova uloga u nastanku kisika u fotosintezi zelenih biljka, jer je sastavni dio kloroplasta. Manganovi ioni mogu služiti kao kofaktori za brojne enzime, uključujući one koji kataliziraju oksidoredukcijske reakcije, dekarboksilaciju, hidrolizu i transport. Mangan ima ulogu u sintezi sekundarnih metabolita (Graham i sur., 1988).

Smatra se da kritična granica manjka mangana kod većine biljaka iznosi 10-20 mg/kg, s time da nedostatak mangana nastupa na koncentracijama nižim od 10 mg/kg. Simptomi nedostatka se najčešće očituju kao prugasta kloroza kod monokotiledona ili kao mrkožute mrlje na lišću kod dikotiledona (Vukadinović i Vukadinović, 2011).

Prilikom nedostatka mangana, cijela biljka postaje žuto-zelena. Ne pati mnogo od zaostatka u rastu. Listovi su glađi, nego što je to uobičajeno za kultivar. Kod jačeg nedostatka mangana, starije lišće požuti, dok uz žile ostaje zeleno. Kultivari koji sadrže antocijan, gube crvenu boju (Lešić i sur., 2016).

Prema Mukhopadhyay i Sharma (1991) visoka mikrobiološka aktivnost, stajanje vode i loša struktura tla uzrokuju veliku toksičnost Mn čak i u neutralnim tlima. Toksičan efekt koji Mn ima na razvoj biljke može se pripisati djelovanju nekoliko fizioloških i biokemijskih puteva, iako detaljni mehanizmi nisu u potpunosti jasni. Viši unos O₂ i gubitak kontrole u enzimatskim sustavima aktiviranih Mn povezani su s toksičnošću Mn.

2.3.4. Bakar

Prema Vukadinović i Vukadinović (2011) sadržaj bakra u tlu prosječno iznosi 5-50 mg/kg. Bakar u tlu potječe od primarnih minerala gdje se nalazi u jednovalentnom obliku, te nakon njihovog raspadanja se oksidira do oblika Cu²⁺, kakvog ga biljke i mogu usvojiti. Bakar može postati i biljci teško raspoloživ ako se veže na organske kiseline, polurazložene i humificirane organske tvari.

Biljke usvajaju bakar u ionskom obliku Cu²⁺ ili u obliku helata. Nekoliko skupina transportera teških metala je uključeno u održavanje međustanične homeostaze bakra, u slučaju bakra to su proteinski transporteri (Yurela, 2009).

U fiziološkim procesima bakar se nalazi u Cu²⁺ i Cu⁺ obliku. Bakar djeluje kao strukturni element u regulacijskim proteinima i sudjeluje u fotosintetskom transportu elektrona, mitohondrijskom disanju, odgovoru na oksidativni stres, metabolizmu stanične stijenke i slanju hormonskih signala (Marschner, 2012). Bakrovi ioni djeluju kao kofaktori kod mnogih enzima Cu/Zn superoksid dismutaze (SOD), citokrom C oksidaze, aminooksidaze, laktaze, plastocijanin i polifenol oksidaze. Na staničnom nivou bakar ima esencijalnu ulogu u signalizaciji transkripcije i u mehanizmu transporta elektrona, oksidativnoj fosforilaciji i mobilizaciji željeza (Yurela, 2005).

Biljke koje pate od nedostatka bakra pokazuju morfološke promjene na korijenju i lišću. Tipični simptomi pojavljuju se na vrhovima mladog lišća, te se pružaju uz rubove lišća. Lišće također može biti uvijeno i deformirano te može pokazivati znakove kloroze i nekroze (Marschner, 2012).

Kada u prihrani salate nedostaje bakra, ograničava se rast, a biljka gubi čvrstoću. Listovi su uski i zdjelčasti te se zavrću prema dolje, a uz rub se pojavljuje kloroza. Ako se pomanjkanje bakra nastavi, listovi počnu žutjeti i venuti od rubova, a vrh se zakreće prema bazi lista. Nervatura postaje ružičasta. Izostaje glavičenje. Simptomi se šire prema mlađem lišću (Lešić i sur., 2016).

Prema Yurela (2005) toksična količina Cu može se prirodno pojaviti u određenim tlima, koje sadržavaju velike količine bakra kao rezultat antropogenog otpuštanja teških metala u tlo, kroz rudarstvo, metaluršku industriju, poljoprivredu i načine saniranja otpada. U visokim koncentracijama, bakar može biti vrlo toksičan, uzrokujući simptome kloroze i nekroze, zaostajanja u razvoju, gubitka boje listova i inhibiciju rasta korijena.

2.4. Količina mikroelemenata u salati

Prema Whitaker (1974) lisnata salata sadrži 95 % vode, a 100 g salate sadrži: 12,44 kalorija, 0,86 g proteina, 0,067 g masti, 2,156 g ugljikohidrata, 19,11 mg kalcija, 21,11 mg fosfora, 4,89 mg željeza, 8,67 mg natrija, 167,56 mg kalija, 4,67 mg tiamina, 0,04 mg riboflavina, 0,24 mg niacina, 12 mg askorbinske kiseline.

Drugi izvor navodi da lisnata salata sadrži 91,2-95,9 % vode, 0,8-2,25 % sirovih bjelančevina, 0,1-0,4% sirovih masti, 0,1-0,9% ugljikohidrata (od čega 0,1% otpada na šećere), 0,54-1,5% vlakana, 0,43-1,4% otpada na minerale od kojih su najzastupljeniji: natrij, kalij, magnezij, kalcij, fosfor, željezo i sumpor. U 100 g salate nalazi se 5-20 mg natrija, 133-530 mg kalija, 7,2-23 mg magnezija, 13-60 mg kalcija, 21-68 mg fosfora, 0,3-6,2 mg željeza i 15 mg sumpora (Lešić i sur., 2016).

Tyksiński i Komosa (2008) proveli su istraživanje o utjecaju željeznih helata na prinos i sadržaj željeza u listovima salate proizvedenoj u staklenicima. Također je istražen utjecaj gnojidbe Fe-helatima na sadržaj bakra, mangana i cinka u lišću salate. Pokus se provodio u proljetnom i jesenskom terminu 2005. i 2006. godine, sa sortom salate „Michalina“. Supstrat (treset) u kojem je uzgajana salata je bio obogaćen s 3 različita Fe-helata: Fe-DTPA, Fe-EDTA+DTPA, Fe-AM-4 u sljedećim dozama 20 mg Fe/dm³ supstrata (kontrola), 50, 75, 100, 125 mg Fe/dm³ supstrata. Minimalna količina željeza u lišću salate iznosila je 76,9 mg Fe/kg suhe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 96 mg Fe/ kg suhe tvari. Količina bakra u salati je varirala između 5,33 i 8,26 mg Cu/kg suhe tvari. Minimalna količina cinka u lišću salate iznosila je 73,9 mg Zn/kg suhe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 120,2 mg Zn/ kg suhe tvari. Količina mangana u salati je varirala između 14,10 mg i 43,68 mg Mn/kg suhe tvari (tablica 1).

Tablica 1. Količina mikroelemenata (Fe, Zn, Mn, Cu) u suhoj i svježoj tvari salate prema različitim autorima

| Autori istraživanja | mg/kg suhe tvari | | | |
|---------------------------|------------------|-------------|-------------|------------|
| | Fe | Zn | Mn | Cu |
| Dala-Paula i sur (2018) | | | | 8,8 |
| Giordano i sur. (2019) | 52,9-77,1 | | | |
| Kleiber (2014) | 140,3-168,5 | 116,9-140,8 | 328,4-479,6 | 9,86-11,04 |
| Roosta i sur. (2017) | 47-80 | 21,6-41 | 36,3-58 | |
| Senkondo i sur (2018) | | | | 0,7-27,0 |
| Shiyab (2018) | | | | 0,1-0,5 |
| Tyksiński i Komosa (2008) | 76,9-96 | 73,9-120,2 | 14,10-43,68 | 5,33-8,26 |
| Wolf i sur. (2017) | | 119,6-177,9 | | 13,0-13,1 |
| Ylivainio (2009) | 61,2-79,9 | 17,3-42,2 | 29,4-77,9 | 8,9-11,8 |

Da Silva i Cadore (2019) su proveli istraživanje na salati obogaćenoj selenom. Biljke su kultivirane u prisutnosti i odsutnosti dvije koncentracije (25 and 40 μmol Se/L). Nakon 28 dana, biljke su ubrane i provedena je analiza biopristupačnosti, biodostupnosti i koncentracije: Cu, Fe, Mn, Mo, Se i Zn u biljkama. Povećana koncentracija Se dovela je do smanjenog usvajanja Cu i Fe, no nije značajno utjecala

na usvajanje Zn i Mn. Minimalna količina željeza u lišću salate iznosila je 1,7 mg Fe/100 g svježe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 3,2 mg Fe/100 g svježe tvari. Količina bakra u salati je varirala između 0,044 i 0,058 mg Cu/100 g svježe tvari. Minimalna količina cinka u lišću salate iznosila je 0,394 mg Zn/100 g svježe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 0,466 mg Zn/100 g svježe tvari. Količina mangana u salati je varirala između 0,493 i 0,723 mg Mn/100 g svježe tvari.

Giordano i sur. (2019) su proveli istraživanje na slati zelenog i crvenog pigmenta, biofortificiranoj željezom koja je uzgajana u zaštićenom prostoru tehnikom hranivog filma. Istraživanje je provedeno na dva kultivara salate glavatice (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*): zelena i crvena Salanova. Korištene su Hoaglandova i Arnonova formula hranive otopine, a za biofortifikaciju željezom u hranivu otopinu dodano je 0,5, 1,0 i 2,0 mM Fe. U istraživanju je utvrđeno da je crveni kultivar salate (prosječno 77,1 mg Fe/kg suhe tvari) akumulirao 45% više željeza nego zeleni kultivar salate (prosječno 52,9 mg Fe/kg suhe tvari) (tablica 1).

Roosta i sur. (2017) proučavali su kako nedostatak željeza, cinka i mangana utječe na fotosintetske pigmente, određene osmoregulatory i klorofilne regulatore u salati. U istraživanju koje su proveli u vegetacijskoj sezoni 2015. u zaštićenom prostoru tehnikom hidropona, uspoređivali su dva kultivara salate: salata glavatica (*Lactuca sativa* var. *capitata*) i lisnata salata (*Lactuca sativa* var. *crispum*). Minimalna količina željeza u lišću salate iznosila je 47,0 mg Fe/kg suhe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 80,0 mg Fe/kg suhe tvari. Minimalna količina cinka u lišću salate iznosila je 21,6 mg Zn/kg suhe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 41,0 mg Zn/kg suhe tvari. Količina mangana u salati je varirala između 36,3 i 58,0 mg Mn/kg suhe tvari (tablica 1).

Ylivainio (2009) je proučavao utjecaj željezovih helata na unos mikroelemenata kod salate uzgajane na dva kalcitna tla te na aktivnost enzima koji vežu kisik u salati. Svaka je salata uzgajana na 8 kg kalcitnog tla, porijeklom s Cipra u koje su dodana gnojiva s elementima N, P, K, Mg, Mn, Zn, Cu, Mo, B, uz dodatak N i K polovicom eksperimenta. Količina od 0,1 mmol Fe podijeljena je u 10 jednakih dijelova i primijenjena na biljke u vidu navodnjavanja dva puta tjedno. Provedeni su sljedeći tretmani: kontrola (bez Fe), tretman s FeSO₄, FeEDTA, FeEDDS(mix), FeEDDS(S,S) i FeEDDHA. Minimalna količina željeza u lišću salate iznosila je 61,2 mg Fe/kg suhe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 79,9 mg Fe/kg suhe tvari. Količina mangana u salati varirala je između 29,4 i 77,9 mg Mn/kg suhe tvari. Minimalna količina cinka u lišću salate iznosila je 17,3 mg Zn/kg suhe tvari, dok je maksimalna količina iznosila 42,2 mg Zn/kg suhe tvari. Količina bakra u salati je varirala između 8,9 i 11,8 mg Cu/kg suhe tvari (tablica 1).

Wolf i sur. (2017) su proučavali bioakumulaciju cinka i bakra i efekt fitotoksičnosti na rast salate (*Lactuca sativa* L.) u nekontaminiranim, metalima kontaminiranim i svinjskom balegom obogaćenim tlima. Tla kontaminirana metalima bila su kontaminirana bakrom u koncentraciji od 75 i 125 mg Cu/kg tla, te cinkom u koncentracijama od 1200 i 2400 mg Zn/kg tla. Koncentracije cinka i bakra u biljci su određene plamenom atomskom apsorpcijskom spektrometrijom nakon 42 dana rasta salate. Na tlima kontaminiranim bakrom, koncentracije bakra u biljci kretale su se od 0,92-13,06 mg Cu/kg suhe tvari dok su se koncentracije cinka na tlima kontaminiranim cinkom kretale od 58,13 do 177,85 mg Zn/kg suhe tvari. Na tlima obogaćenim svinjskom balegom, koncentracije bakra su se kretale od 0,82 do 8,33 mg Cu/kg suhe tvari, dok su koncentracije cinka bile između 0,68 do 13,27 mg Zn/kg suhe tvari (tablica 1).

Dala-Paula i sur. (2018) proveli su istraživanje na tri različita kultivara salate u tri urbana vrta različitih karakteristika u Belo Horizonte (Brazil) kroz srpanj i kolovoz 2011. godine. Korišteni su kultivari: Baba Summer, Regina Summer i White Paris Island Cos. Nisu korištena mineralna gnojiva, biljke su navodnjavane dva puta dnevno, a nakon 60 dana biljke salate su ubrane i odnesena na analizu. Prisutnost kadmija, olova i bakra u biljkama je utvrđena ICP-MS spektrometrom. Prosječna vrijednost bakra iznosila je 0,040 do 0,082 mg Cu/100 g svježe tvari. Prosječna vrijednosti bakra u suhoj tvari iznosila je 8,8 mg Cu/kg. Nije bilo značajne razlike između salata uzgajanih na istom području (tablica 1).

Senkondo i sur. (2018) proveli su istraživanje na akumulaciji fluora i bakra u salati uzgajanoj na tlima koja su kontaminirana fluorom i bakrom. Odabrana su 34 uzorka tla iz zaštićenih prostora gdje se uzgaja salata, svaki je podijeljen na dva dijela. Tako je pola uzoraka navodnjavano vodom iz vodovoda, a druga je polovica navodnjavana vodom s povišenom koncentracijom fluora. Salata je ubrana nakon 60 dana. Koncentracije bakra prosječno su varirale između 0,7 i 24 mg Cu/kg suhe tvari na tlima koja su navodnjavana vodom iz vodovoda, dok su prosječne vrijednosti bakra u salati navodnjavanoj vodom kontaminiranom fluorom varirale od 2,1 do 2,7 mg Cu/kg suhe tvari (tablica 1).

U istraživanju fitoakumulacije bakra iz vode za navodnjavanje i učinka koji ima na unutrašnju strukturu salate uzgajana su tri kultivara salate: lokalni kultivar dugolisne salate, kultivar crvene salate 'Redina' te 'Iceberg' salata. Zalijevane su s dvije koncentracije CuCl_2 (0,03-0,5 g/L) te je utvrđena translokacija bakra u izboje i korijen salate nakon 97 dana. Akumulacija i translokacija bakra utvrđena je atomskim apsorpcijskim spektrometrom. Početna koncentracija Cu u salatama bila je 0,1 mg Cu/kg suhe tvari dok je na kraju sezone iznosila 2,3 mg Cu/kg suhe tvari. Najveća koncentracija bakra utvrđena je u kultivaru salate s crvenim pigmentom: 0,5 mg Cu/kg suhe tvari u izbojima i 1,79 mg Cu/kg suhe tvari u korijenu (Shiyab, 2018) (tablica 1).

Kleiber (2014) u svom istraživanju o utjecaju gnojidbe manganom na sadržaj mangana i prinos salate (*Lactuca sativa* L.) u hidroponskom uzgoju utvrdio je značajan utjecaj povećanja koncentracije Mn u hranivoj otopini na sadržaj N, K, P, Fe, Cu, Mn i Zn u nadzemnim dijelovima salate. Istraživanje je provedeno na kamenoj vuni s recirkulirajućom hranivom otopinom na sorti salate 'Sunny' u tri ponavljanja. Koncentracije Mn u hranivoj otopini iznosile su 0,5, 4,8, 9,6 i 19,2 mg Mn/dm³. Povećanjem koncentracije Mn u hranivoj otopini, povećala se koncentracija Mn u salati. Koncentracije Fe u salati u prosjeku su iznosile između 140,3 i 168,5 mg Fe/kg suhe tvari, koncentracije Mn od 328,4 do 479,6 mg Mn/kg suhe tvari, koncentracije Zn varirale su od 116,9 do 140,8 mg Zn/kg suhe tvari, a koncentracije Cu varirale su između 9,86 i 11,04 mg Cu/kg suhe tvari (tablica 1).

U istraživanju (Przybysz i sur., 2017) utvrđen je utjecaj mangana na prinos i kvalitetu salate uzgajane u hidroponskom uzgoju. U istraživanju su korištena dva kultivara salate: 'Locarno' i 'Satine', koji su uzgajani u hidroponskom uzgoju u hranivoj otopini pri različitim koncentracijama Mn (0,5 – kontrola, 5, 25 and 50 mg Mn/dm³). Povećanjem koncentracije Mn u hranivoj otopini, povećala se koncentracija Mn u salati za 9,4 puta, ali je koncentracija K, Ca i Mg ostala gotovo nepromijenjena. Najniža koncentracija Mn utvrđena u kontrolnoj skupini iznosila je 0,131 mg Mn/kg svježe tvari dok je najviša utvrđena pri najvišoj koncentraciji Mn u hranivoj otopini (50 mg Mn/dm³) od 1,144 mg Mn/kg svježe tvari (tablica 1).

3. Materijali i metode

3.1. Postavljanje i provedba pokusa

Poljski gnojidbeni pokus postavljen je u Velikoj Kosnici u Zagrebačkoj županiji sa salatom (*Lactuca sativa* L.) glavaticom, tipom kristalka, sorte 'Aquarel' (Bejo).

Pokus je postavljen po metodi latinskog kvadrata s tri tretmana gnojidbe:

1. T1 - kontrola (bez gnojidbe)
2. T2 - 500 kg/ha YaraMila Complex (55 kg/ha P₂O₅; Proizvođač Yara, NPK 12-11-18 + 3MgO + 8S + B, S, Fe, Mn, Zn; fosfor u obliku polifosfata)
3. T3 - 370 kg/ha NPK 15-15-15 (55 kg/ha P₂O₅; Proizvođač Petrokemija; fosfor u obliku ortofosfata).

Sadnja presadnica salate provedena 18.06.2018. na otvoreno polje. Razmak između redova iznosio je 39 cm, a u redu 27 cm, što je činilo sklop od 9,5 biljaka/m². Korištena je standardna agrotehnika, oranje je provedeno u proljeće nakon čega je tlo obrađeno sjetvospremačem. Gnojidba je provedena ručno unosom gnoja u tlo motikom. Nije provedeno navodnjavanje. Berba glavica salate provedena je jednokratno 06.08.2018. te su uzeti prosječni uzorci za kemijsku analizu.

3.2. Kemijska analiza

Prije postavljanja gnojidbenog pokusa provedena je kemijska analiza tla (tablica 2), koja je pokazala da je tlo alkalne reakcije, slabo humusno, dobro opskrbljeno dušikom, slabo opskrbljeno fiziološki aktivnim fosforom te bogato kalijem.

Tablica 2. Rezultati kemijske analize tla prije postavljanja pokusa

| pH | | % | | AL-mg/100 g | | % | |
|------------------|------|-------|------|-------------------------------|------------------|-------------------|-----|
| H ₂ O | nKCl | humus | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaCO ₃ | CaO |
| 8,16 | 7,35 | 2,68 | 0,17 | 9,5 | 26,0 | 3,8 | - |

Prosječni uzorci salate su nakon uzorkovanja dostavljeni u Analitički laboratorij Zavoda za ishranu bilja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, gdje je provedena kemijska analiza uzoraka glavica salate. Svakom uzorku je dodijeljen analitički broj nakon čega je uveden u matičnu knjigu laboratorija. Listovi salate narezani su na sitne dijelove, osušeni na 105°C, nakon čega su usitnjeni i homogenizirani. Nakon razgradnje uzoraka koncentriranom dušičnom kiselinom (HNO₃) i perklornom kiselinom (HClO₄) u mikrovalnoj peći, željezo, cink, mangan i bakar određeni su atomskom apsorpcijskom spektrometrijom - AAS (AOAC, 2015). Suha tvar je određena gravimetrijski sušenjem do konstantne mase.

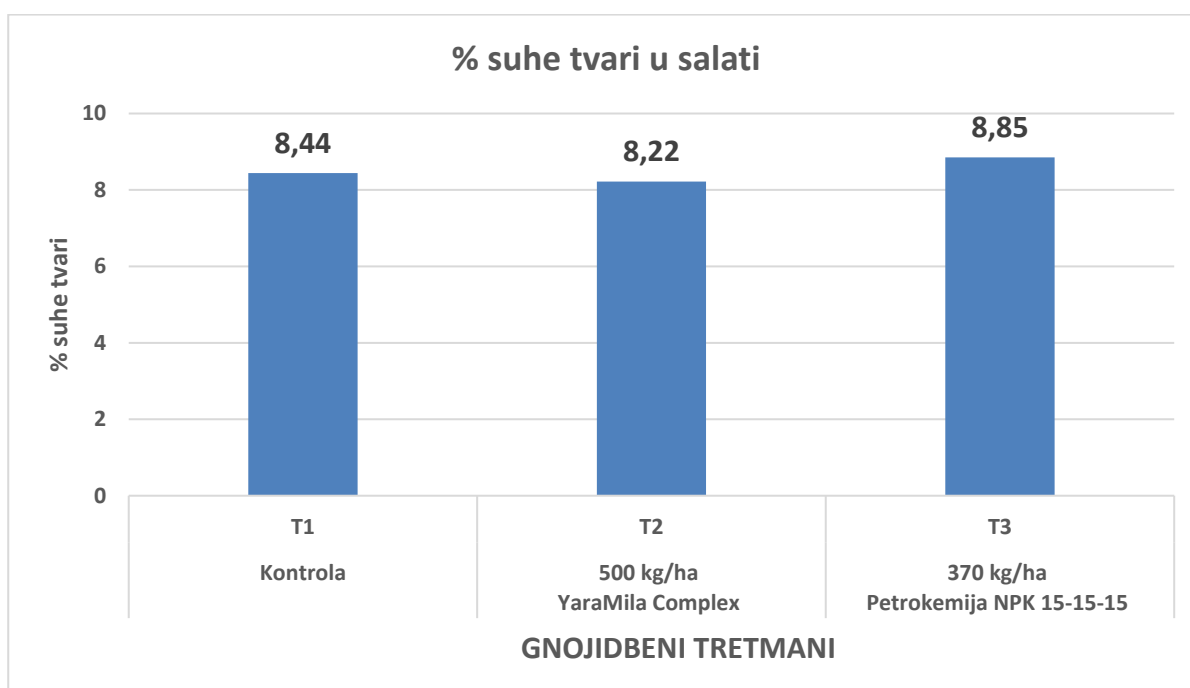
3.3. Obrada podataka

Statistička obrada podataka pratila je model analize jednosmjerne varijance (ANOVA). Korišten je program SAS System for Win. ver 9.1 (SAS Institute Inc.) za testiranje rezultata korišten je Tukeyev test signifikantnih pragova. (SAS, 2002-2003).

4. Rezultati i rasprava

4.1. Suha tvar

U grafikonu 1 prikazana je količina suhe tvari u analiziranim uzorcima salate glavatice (kristalke) izražena u postocima. Nisu utvrđene statistički značajne razlike u količini suhe tvari s obzirom na gnojdbene tretmane T1, T2 i T3, s time da je relativno najmanja količina suhe tvari iznosila 8,22 % pri tretmanu T2, a najveća 8,85 % pri tretmanu T3 u kojem je fosfor bio primijenjen u obliku ortofosfata. Prema Lešić i sur. (2016) vrijednosti suhe tvari u salati kreću se od 4,1 do 8,8 %, što odgovara vrijednostima dobivenim u ovom istraživanju.

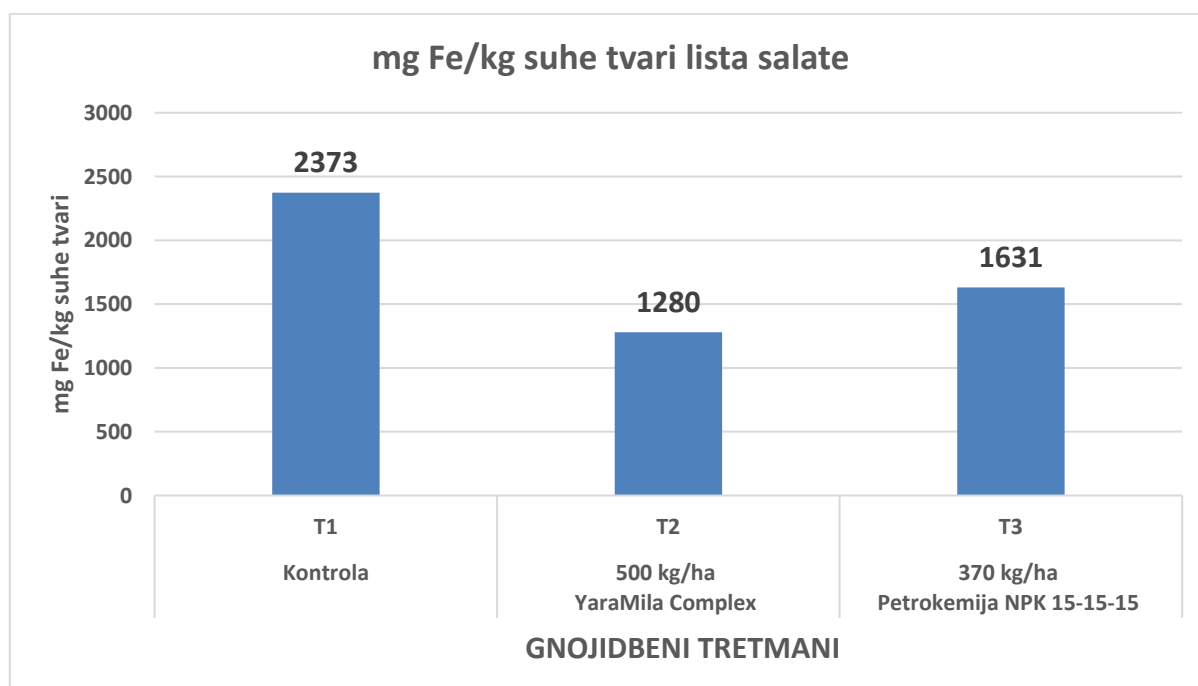


Grafikon 1. Količina suhe tvari u salati pri različitim gnojdbama
Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.

4.2. Željezo

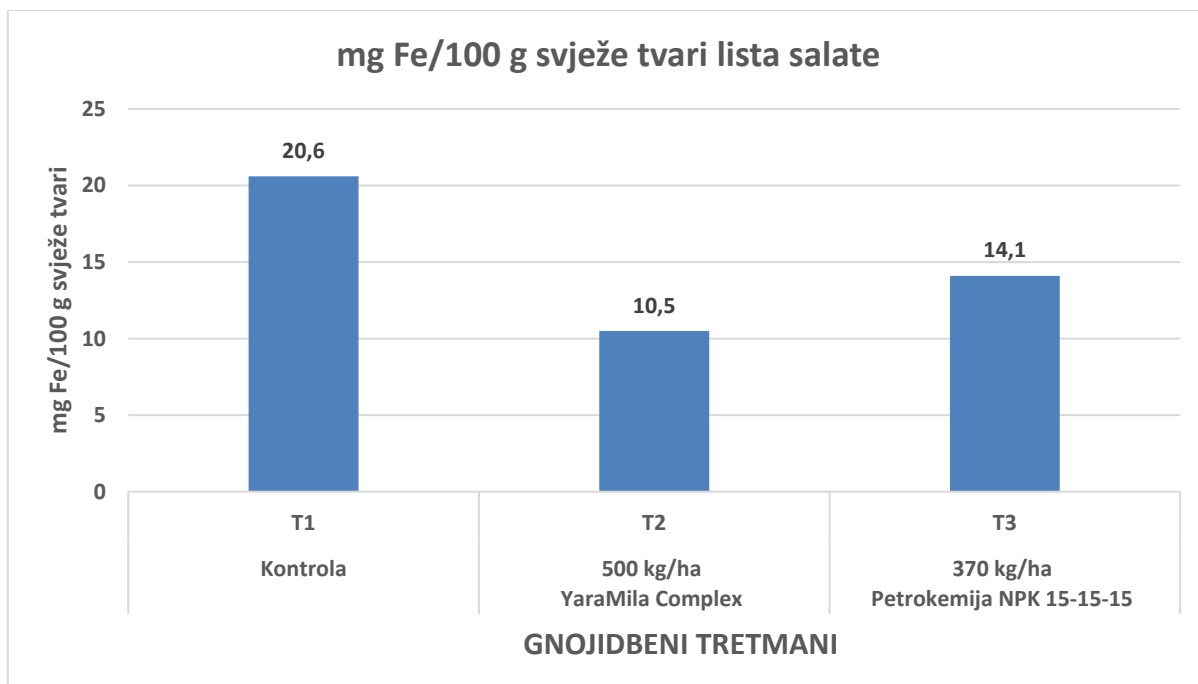
Količina željeza u suhoj tvari salate u primijenjena tri tretmana gnojdbе kretala se u rasponu od 1280 do 2373 mg Fe/kg suhe tvari (grafikon 2). Nije utvrđena statistički značajna razlika u količini željeza između navedena tri tretmana. Relativno najveća količina željeza utvrđena je u T1 tretmanu (kontrolne varijante), u kojem gnojdba nije provedena i iznosila je 2373 mg Fe/kg suhe tvari. Najmanja količina željeza utvrđena je u T2 tretmanu gdje je fosfor primijenjen u obliku polifosfata i iznosila je 1280 mg Fe/kg suhe tvari. Količina željeza u svježoj tvari salate u provedena tri tretmana gnojdbе kretala se u rasponu od 10,5 do 20,6 mg Fe/100 g svježe tvari (grafikon 3).

Nije utvrđena statistički značajna razlika u količini željeza između navedena tri tretmana. Najveća količina željeza utvrđena je u T1 tretmanu, tj. kontroli, gdje nije bilo gnojidbe i iznosila je 20,6 mg Fe/100 g svježe tvari, a najmanja količina željeza utvrđena je u T2 tretmanu gdje je fosfor primijenjen u obliku polifosfata i iznosila je 10,5 mg Fe/100 g svježe tvari. Razlog smanjenja količine željeza u tretmanima gdje su primijenjena gnojiva može se pripisati antagonističkom djelovanju željeza s kalijem (Rietra i sur., 2017) iz gnojiva koja su primijenjena u T2 i T3 gnojidbenim tretmanima. Vrijednosti dobivene ovim istraživanjem znatno su veće od vrijednosti u literaturnim izvorima u kojima je Kleiber (2014) utvrdio najvišu vrijednost od svega 168,5 mg Fe/kg suhe tvari (tablica 1). Vrijednosti količine željeza u svježoj tvari također su više od navoda literature (3,2 mg Fe/100 g svježe tvari; Da Silva i Cadore, 2019). Visoke vrijednosti dobivene u ovom istraživanju mogu se pripisati svojstvu salate da akumulira metale kao što su Fe, Zn, Cu, Mn i Pb, ukoliko se uzgaja u tlima kontaminiranim kanalizacijskim muljem, rudarskim otpadom, stajskim gnojem ili gnojem peradi (Ferri i sur., 2012). Chang i sur. (2013) navodi kako lisnato povrće, među kojima je i salata, najviše akumuliraju metale iz tla.



Grafikon 2. Količina željeza u suhoj tvari salate (mg Fe/kg ST) pri različitim gnojidbama

Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.

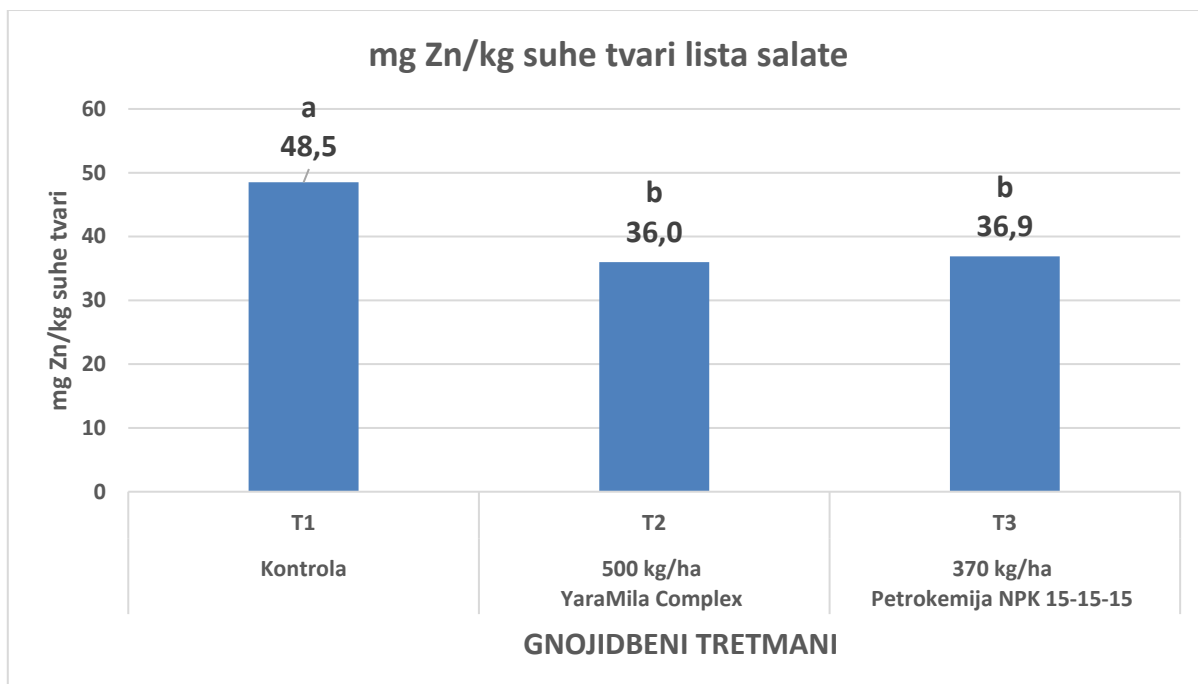


Grafikon 3. Količina željeza u svježoj tvari salate (mg Fe/100 g svježe tvari) pri različitim gnojdbama

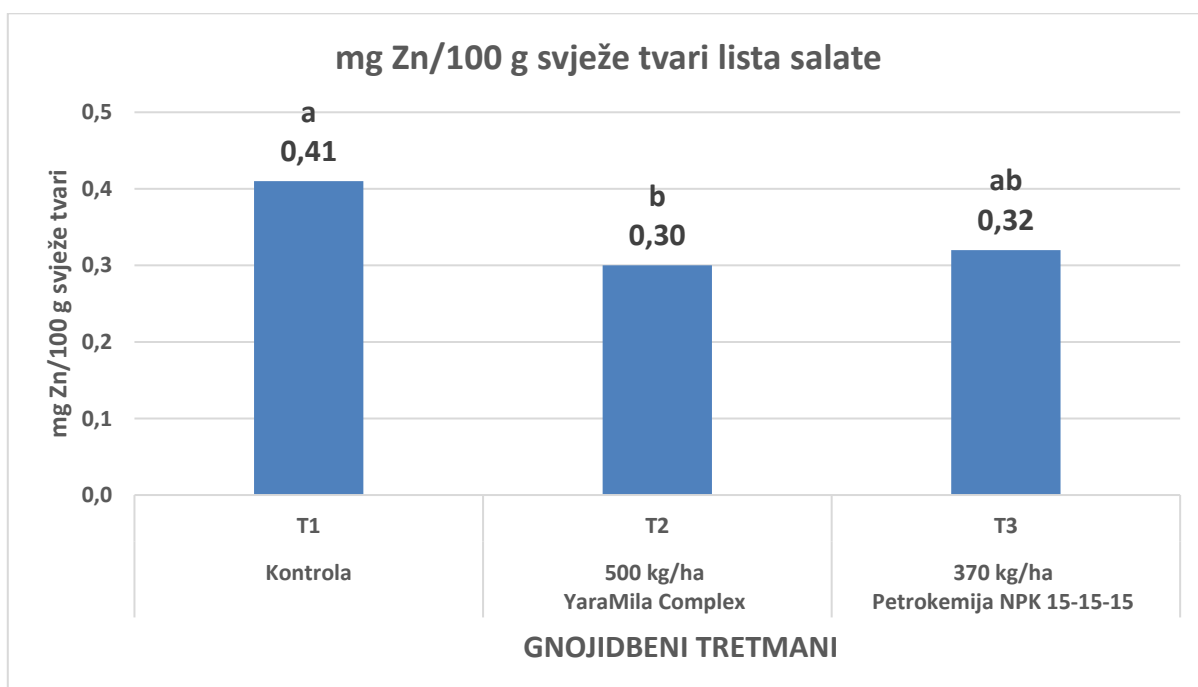
Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.

4.3. Cink

Količina cinka u suhoj tvari salate u provedena tri tretmana gnojidbe kretala se u rasponu od 36,0 do 48,5 mg Zn/kg suhe tvari (grafikon 4). Statistički značajno najviše cinka utvrđeno je u tretmanu T1 u odnosu na T2 i T3, između kojih nije utvrđena statistički značajna razlika u količini cinka. Najmanja količina cinka utvrđena je u tretmanu gnojidbe T2 u kojem je fosfor primijenjen u obliku polifosfata, dok je najveća količina cinka od 48,5 mg Zn/kg suhe tvari utvrđena u tretmanu T1. Količina cinka u svježoj tvari salate u provedena tri tretmana gnojidbe kretala se u rasponu od 0,30 do 0,41 mg Zn/100 g svježe tvari (grafikon 5). Statistički najviše cinka utvrđeno je također u T1 tretmanu. Iako su utvrđene količine cinka u skladu s nekim literaturnim navodima (Roosta i sur, 2017; Ylivainio, 2009), zapravo su znatno niže od drugih literaturnih podataka (177,9 i 140,8 mg Zn/kg suhe tvari; Wolf i sur, 2017 i Kleiber, 2014), čemu bi se trebalo težiti obzirom da takva salata ima veću nutritivnu vrijednost. Količine cinka u svježoj tvari u skladu su s literaturnim navodima (0,394-0,466 mg Zn/100 g svježe tvari; Da Silva i Cadore, 2019). Pretpostavlja se da je manje cinka utvrđeno u gnojidbenim tretmanima zbog antagonističkog odnosa između cinka i primijenjenog kalija (Marschner, 2012).



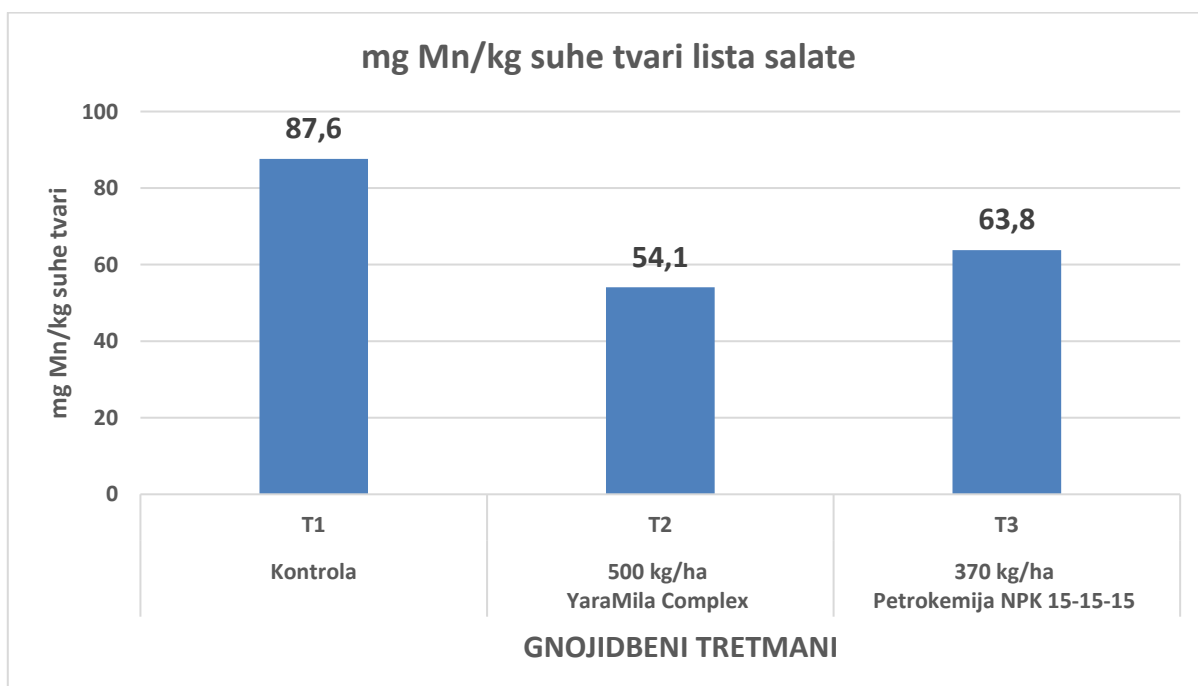
Grafikon 4. Količina cinka u suhoj tvari salate (mg Zn/kg ST) pri različitim gnojdbama. Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.



Grafikon 5. Količina cinka u svježoj tvari salate (mg Zn/100 g svježe tvari) pri različitim gnojdbama. Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.

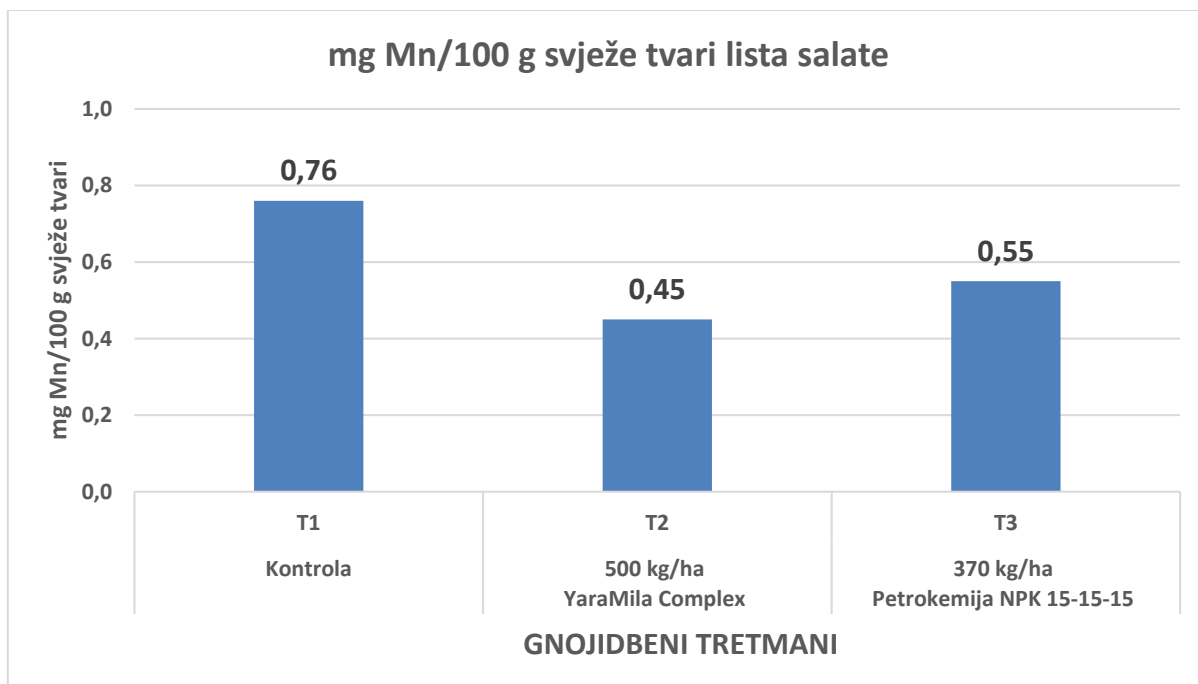
4.4. Mangan

Količina mangana u suhoj tvari salate u provedena tri tretmana gnojidbe kretala se u rasponu od 54,1 do 87,6 mg Mn/kg suhe tvari (grafikon 6). Nije utvrđena statistički značajna razlika u količini mangana između navedena tri tretmana. Najveća količina mangana utvrđena je u T1 tretmanu (87,6 mg Mn/kg suhe tvari), a najmanja (54,1 mg Mn/kg suhe tvari) u T2 tretmanu u kojem je fosfor primijenjen u obliku polifosfata. Količina mangana u svježoj tvari salate u provedena tri tretmana gnojidbe kretala se u rasponu od 0,45 do 0,76 mg Mn/kg svježe tvari (grafikon 7) i među gnojidbenim tretmanima nije utvrđena statistički značajna razlika. Ponovo, najveća količina mangana utvrđena je u T1 tretmanu, a najmanja u T2 tretmanu. Utvrđene količine mangana u ovom istraživanju uglavnom su veće od literaturnih podataka koji variraju od 14,1-77,9 mg Mn/kg suhe tvari (Roosta i sur., 2017; Ylivainio, 2009; Tyksiński i Komosa, 2008), iako su znatno manje od navoda Kleiber (2014) koje iznose 328,4 - 479,6 mg Mn/kg suhe tvari koji je salatu gnojio manganom, pa otuda i toliko velike količine mangana u salati. Količina mangana u svježoj tvari lista salate u skladu je s literaturnim navodima Da Silva i Cadore (2019) koji navode 0,493-0,723 mg Mn/100 g svježe tvari.



Grafikon 6. Količina mangana u suhoj tvari salate (mg Mn/kg ST) pri različitim gnojidbama

Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.

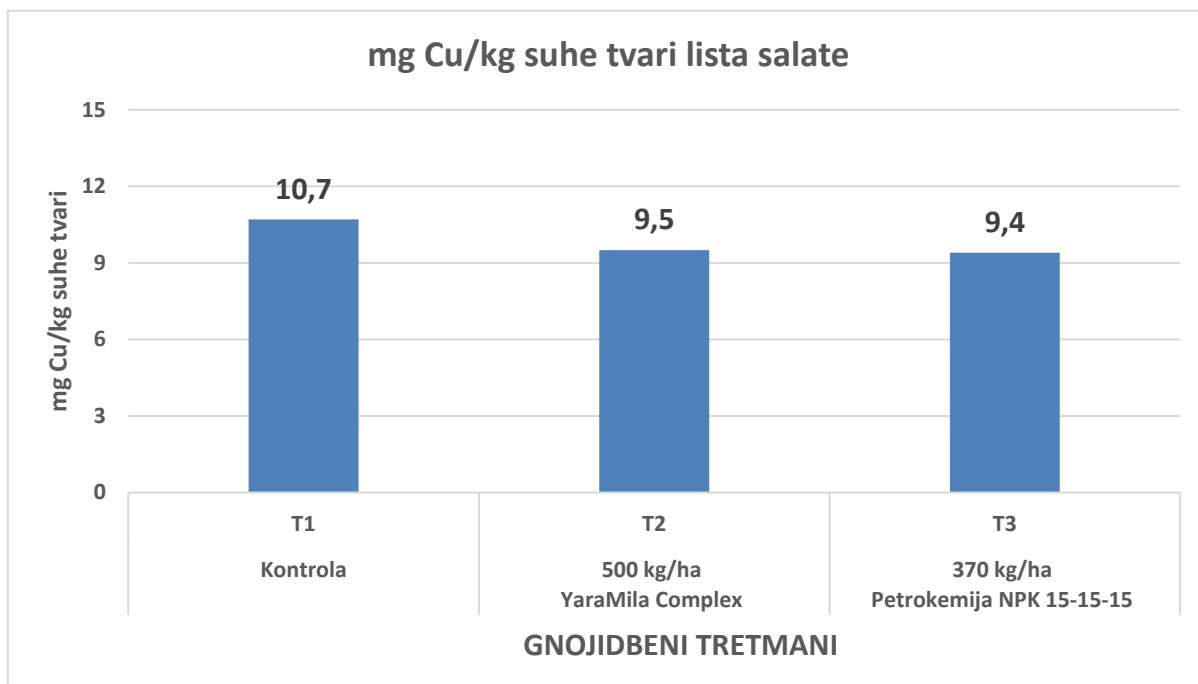


Grafikon 7. Količina mangana u svježoj tvari salate (mg Mn/100 g svježe tvari) pri različitim gnojdbama

Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.

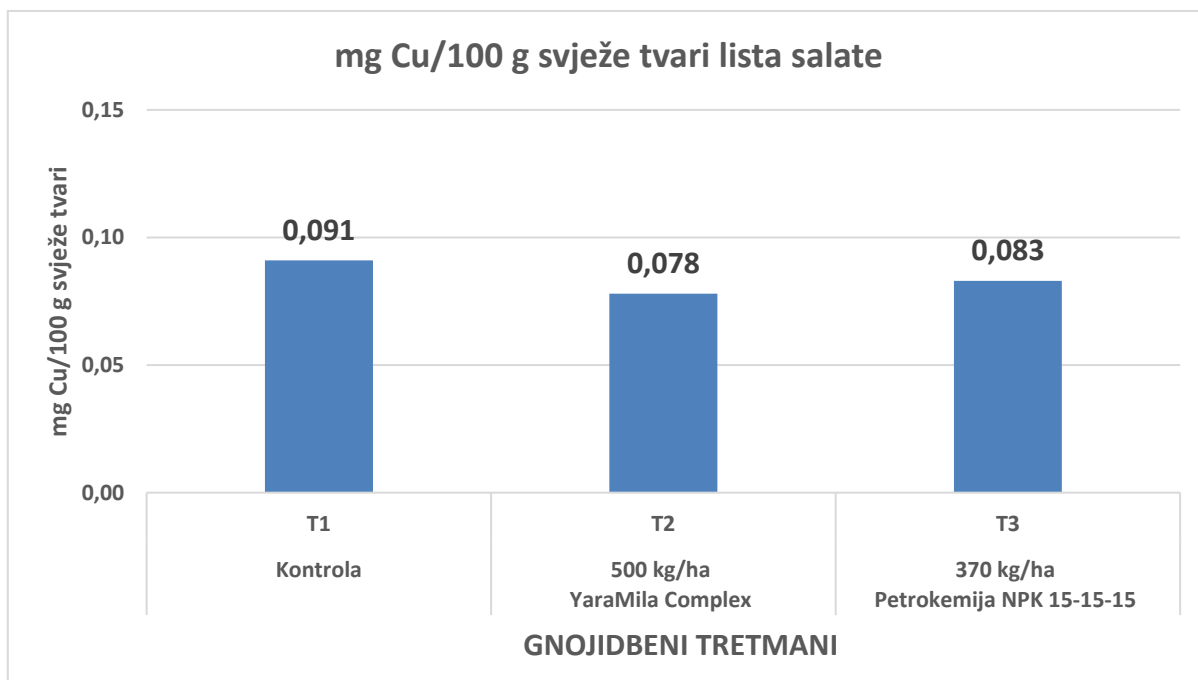
4.5 Bakar

Količina bakra u suhoj tvari salate u provedena tri tretmana gnojdbre kretala se u rasponu od 9,4 do 10,7 mg Cu/kg suhe tvari (grafikon 8). Nije utvrđena statistički značajna razlika u količini bakra između navedena tri tretmana. Najveća količina bakra utvrđena je u T1 tretmanu (10,7 mg Cu/kg suhe tvari), a najmanja u T3 tretmanu u kojem je fosfor primijenjen u obliku ortofosfata i iznosila je 9,4 mg Cu/kg suhe tvari. Količina bakra u svježoj tvari salate u provedena tri tretmana gnojdbre kretala se u rasponu od 0,078 do 0,091 mg Cu/kg svježe tvari (grafikon 9). Nije utvrđena statistički značajna razlika u količini bakra između navedena tri tretmana. Najveća količina bakra utvrđena je u T1 tretmanu (0,09 mg Cu/100 g svježe tvari), a najmanja u T2 tretmanu u kojem je fosfor primijenjen u obliku polifosfata i iznosila je 0,078 mg Cu/kg svježe tvari. Količine bakra u suhoj tvari salate u skladu su s većinom literaturnih navoda iz tablice 1 koje se kreću od 8,8-27,0 mg Cu/kg suhe tvari, dok gledano utvrđene količine bakra u svježoj tvari (0,078-0,091 mg Cu/100 g svježe tvari) su i do dvostruko veće od navoda Da Silva i Cadore (2019) koji navode 0,044-0,058 mg Cu/100 g svježe tvari.



Grafikon 8. Količina bakra u suhoj tvari salate (mg Cu/kg ST) pri različitim gnojdbama

Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.



Grafikon 9. Količina bakra u svježoj tvari salate (mg Cu/100 g svježe tvari) pri različitim gnojdbama

Različita slova predstavljaju značajno različite vrijednosti prema Tukeyevom testu, $p \leq 0,05$. Vrijednosti kojima nije pridruženo slovo nisu značajno različite.

5. Zaključci

U ovom istraživanju utvrđen je status mikroelemenata pri gnojidbi salate glavatice fosforom u obliku polifosfata i ortofosfata.

- Najveća količina suhe tvari (8,85 %) je utvrđena je u tretmanu u kojem je fosfor primijenjen u obliku ortofosfata.
- Najveća količina mikroelemenata u suhoj tvari lista salate utvrđena je u kontrolnom tretmanu i iznosila je 2373 mg Fe/kg suhe tvari, 48,5 mg Zn/kg suhe tvari, 87,6 mg Mn/kg suhe tvari i 10,7 mg Cu/kg suhe tvari.
- Najveća količina mikroelemenata u svježoj tvari lista salate utvrđena je u kontrolnom tretmanu i iznosila je 20,6 mg Fe/100 g svježe tvari, 0,41 mg Zn/100 g svježe tvari, 0,76 mg Mn/100 g svježe tvari i 0,091 mg Cu/100 g svježe tvari.

6. Literatura:

1. Ako H., Baker A. (2009). Small-Scale Lettuce Production with Hydroponics or Aquaponics. Sustainable Agriculture. SA-2
2. AOAC. (2015). Official method of analysis of AOAC International. 16th Edition, Vol. I, Arlington, USA
3. Broadley M.R., White P.J., Hammond J.P., Zelko I., Lux A. (2007). Zinc in plants. *New phytologist*, 173(4):661-872
4. Chaney R.L., Bell P.F. (1987). Complexity of iron nutrition: Lessons for plant-soil interaction research. *Journal of plant nutrition*, 10(9-16):963-994
5. Chang C.Y., Yu H.Y., Chen J.J., Li F.B., Zhang H.H., Liu C.P. (2013). Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. *Environ Monit Assess*, 186:1547–1560
6. Da Silva N.E., Cadore S. (2019). Bioavailability Assessment of Copper, Iron, Manganese, Molybdenum, Selenium, and Zinc from Selenium-Enriched Lettuce. *Journal of Food Science*, 84(10):2840-2846
7. Dala-Paula B.M., Custodio F.B., Knupp E.A.N., Palmieri H.E., Silva J.B.B., Gloria M.B.A. (2018). Cadmium, copper and lead levels in different cultivars of lettuce and soil from urban agriculture. *Environmental Pollution*, 242:383-389
8. DZS (2020). Državni zavod za statistiku. https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2019/01-01-28_01_2019.htm, pristupljeno 26.04.2020.
9. FAO (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>, pristupljeno 26.04.2020.
10. Ferri R., Donna F., Smith D.R., Guazzetti S., Zacco A., Rizzo L., Bontempi E., Zimmerman N.J., Lucchini R.G. (2012). Heavy Metals in Soil and Salad in the Proximity of Historical Ferroalloy Emission. *Journal of Environmental Protection*, 3:374-385
11. Giordano M., El-Nakhel C., Pannico A., Kyriacou M.C., Stazi SR, De Pascale S, Roupael Y. (2019). Iron Biofortification of Red and Green Pigmented Lettuce in Closed Soilless Cultivation Impacts Crop Performance and Modulates Mineral and Bioactive Composition. *Agronomy*, 9:290
12. Graham R.D., Hannam R.J., Uren N.C. (1988). Manganese in Soils and Plants. *Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 33. Springer, Dordrecht
13. Herak Ćustić M. (2005). Principi i perspektive ishrane u hortikulturi: interna skripta. Zagreb
14. Kleiber, T. (2014). Effect of Manganese Nutrition on Content of Nutrient and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Hydroponic. *Ecological Chemistry and Engineering*, 21(3):529-537

15. Kobayashi T., Nishizawa N.K. (2012). Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. *The annual review of plant biology*, 63:131-152
16. Lešić R., Borošić J., Buturac I., Herak Ćustić M., Poljak M. Romić D. (2016). *Povrćarstvo. III. dopunjeno izdanje. Zrinski, Čakovec*
17. Maceljki M., Cvjetković B., Ostojić Z., Igrc Barčić J., Pagliarini N., Oštrec Lj., Barić K., Čizmić I. (2004). *Štetočinje povrća. Zrinski, Čakovec*
18. Marschner H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press, London*
19. Mukhopadhyay M.J., Sharma A. (1991). Manganese in Cell Metabolism of Higher Plants. *The botanical review*, 57(2):118-131
20. Parađiković N. (2009). *Opće i specijalno povrćarstvo. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Poljoprivredni fakultet u Osijeku*
21. Przybysz A., Wrochna M., Gawrońska H., Małecka-Przybysz M., Pietrzyk S., Gawroński S.W. (2017). Effect of manganese on yield and quality of hydroponically grown lettuce. *Journal of Elementology*, 22(1):315-327
22. Reichman S. (2002). *The Responses of Plants to Metal Toxicity. A Review Focusing on Copper, Manganese and Zinc. Australian Minerals & Energy Environment Foundation. Australian Minerals and Energy Environment Foundation, Melbourne, Australia*
23. Rietra R.P.J.J., Heinen M., Dimkpa C.O., Bindraban P.S. (2017). Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16):1895-1920
24. Römheld V. (1987). Different strategies for iron acquisition in higher plants. *Physiol. plantarum*, 70:231-234
25. Roosta H.R., Estaji A., Niknam F. (2018) Effect of iron, zinc and manganese shortage-induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. *Photosynthetica*, 56:606–615
26. Schulte E.E. (2004). *Understanding plant nutrients: Soil and applied iron (A3554). University of Wisconsin, USA*
<http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a3554.pdf>, pristup 15.04.2020.
27. Senkondo Y.H., Mkumbo S., Sospeter P. (2018). Fluorine and copper accumulation in lettuce grown on fluoride and copper contaminated soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(20):1532-2416
28. Shiyab S. (2017). Phytoaccumulation of Copper from Irrigation Water and Its Effect on the Internal Structure of Lettuce. *Agriculture*, 8(2):29.
29. Smith R., Cahn M., Daugovish O., Koike S. (2011). *Leaf lettuce production in California. University of California, USA*,
<https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/7216.pdf>, pristup 15.04.2020.

30. Tyksinski W., Komosa A. (2008). After effect of iron chelates on the yielding and iron content in greenhouse lettuce. *Acta scientiarum Polonorum Hortorum cultus*, 7(2):3-10
31. Vukadinović V, Vukadinović V. (2011). *Ishrana bilja*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
32. Vukadinović V. i Bertić B. (2013) *Filozofija gnojidbe*. Osijek
33. Vukadinović V., Vukadinović V. (2016). Tlo, gnojidba i prinos; što uspješan poljoprivrednik mora znati o tlu, usjevima, gnojidbi i tvorbi prinosa. Osijek
34. Walker E.L., Connolly E.L. (2008). Time to pump iron: iron-deficiency signaling mechanisms of higher plants. *Plant biology*, 11:530-535
35. Whitaker T.W. (1974). Lettuce production in United States. *Agricultural handbook no 21*. United States Department of Agriculture, [https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=g3cwAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=27.%09Whitaker+T.W.\(1974\).+Lettuce+production+in+United+States&ots=g570TVIQth&sig=WGSb1gmSSMBgwDF8_Nd7CBVT60w&redir_esc=y#v=onepage&q=27.%09Whitaker%20T.W.\(1974\).%20Lettuce%20production%20in%20United%20States&f=false](https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=g3cwAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=27.%09Whitaker+T.W.(1974).+Lettuce+production+in+United+States&ots=g570TVIQth&sig=WGSb1gmSSMBgwDF8_Nd7CBVT60w&redir_esc=y#v=onepage&q=27.%09Whitaker%20T.W.(1974).%20Lettuce%20production%20in%20United%20States&f=false), pristup 15.04.2020.
36. Wolf M., Dilmar B., Becegato V.A., Almeida V.C., Paulino A.T. (2017). Copper/Zinc Bioaccumulation and the Effect of Phytotoxicity on the Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Non-contaminated, Metal-Contaminated and Swine Manure-Enriched Soils. *Water Air Soil Pollut*, 228(4):152
37. Wyszowska J., Borowik A., Kucharski M., Kucharski J. (2013). Effect Of Cadmium, Copper And Zinc On Plants, Soil Microorganisms And Soil Enzymes. *Journal of Elementology*, 18(4):769–796
38. Ylivainio K. (2009). Influence of iron-chelates on trace element uptake from two calcareous soils and the activity of oxygen-scavenging enzymes in lettuce. *Journal of Plant Nutrition*, 33(1): 80-94
39. Yurela I. (2005). Copper in plants. *Braz J. Plant physiology*. 17(1):145-156
40. Yurela I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*. 36(5), 409–430

7. Životopis

Mija Kužir, rođena je 15.01.1996. u Varaždinu gdje je započela obrazovanje u IV osnovnoj školi 2002. godine. Od 2010. do 2014. godine pohađa II gimnaziju Varaždin, usmjerenje opća gimnazija. Završila je preddiplomski studij na Agronomskom fakultetu u Zagrebu studij Agroekologija (2014.-2017.). Trenutno završava diplomski studij Agronomskog fakulteta u Zagrebu, smjer Hortikultura - Povrčarstvo. Kroz srednjoškolsko obrazovanje usavršila je poznavanje engleskog jezika, te je položila FCE ispit sveučilišta u Cambridgeu, a služi se i njemačkim kao drugim stranim jezikom. Aktivno se služi Wordom, Excellom i Power Pointom obzirom da je položila tečajeve Srca za cjelokupni Office paket. U slobodno vrijeme voli čitati, boraviti u prirodi i vrtlariti.