

Vpliv gnojenja z organskim gnojilom na stres zaradi slanosti pri fižolu in ječmenu

Sergej Bohinc, Martin Bole, Ajda Kunčič, Andraž Marinč, Manca Svetina, Jan Šušteršič

Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana

- Namen: preveriti vpliv organskega gnojila na rast fižola (*Phaseolus vulgaris*) in ječmena (*Hordeum vulgare*) v zasoljenih tleh, določiti vsebnost pigmentov in mineralno sestavo v odvisnosti od načina izpostavitve rastlin.
- Metode: merjenje sveže in suhe mase poganjkov ter korenin, določanje vsebnosti pigmentov, analiza mineralne sestave poganjkov (XRF), kvalitativno in kvantitativno določanje arbuskularne mikorize (arbuskuli, mikrosklerociji, vezikli, svitki). Poskus smo vzporedno izvedli na primeru enokaličnic (ječmen) in dvokaličnic (fižol). Rastline smo gojili pri različnih izpostavitvah (dodatek gnojila ali brez ter zalivali z navadno vodo ali 0,1 M NaCl). Naredili smo po pet ponovitev vsake izpostavitve in na koncu podatke statistično obdelali.
- Rezultati: gnojilo je negativno vplivalo na rast rastlin, saj je bila ob njegovi uporabi suha masa poganjkov in korenin rastlin manjša. Vsebnost pigmentov (klorofil a in b) v poganjkih se je ob uporabi gnojila povečala pri obeh vrstah. Gnojilo je pri fižolu vplivalo na večji privzem žvepla ter zmanjšan privzem klora na slanih tleh. Ječmen je ob gnojenju bolje privzel fosfor, mangan, cink in žveplo. Tudi pri ječmenu se je ob uporabi gnojila na slanih tleh zmanjšal privzem klora. V koreninah nismo potrdili prisotnosti arbuskularno mikoriznih gliv.
- Zaključki: gnojilo je negativno vplivalo na rast rastlin že pri izpostavitvah brez soli. Negativen učinek gnojila se je še bolj izrazil pri izpostavitvi NaCl. Gnojilo je imelo sicer pozitiven učinek na vsebnost klorofilov in zmanjšal privzem klora rastlin v primeru prekomerne slanosti. Uporabljeno organsko gnojilo ni učinkovito pri odpravljanju simptomov prekomerne slanosti.

Ključne besede: *Phaseolus vulgaris*, *Hordeum vulgare*, slanost, stres, organsko gnojilo, mikoriza

Uvod

Ljudje smo se že pred več tisoč leti naučili kako lahko velike reke izrabljamo za namakanje pridelkov, čeprav te niso v neposredni bližini vodotoka. Se pa je skozi tisočletja povečala tudi količina zemlje, ki jo moramo namakati, da zadostimo potrebam po hrani za rastočo populacijo. S tem se rodovitna zemlja počasi uničuje in izčrpava. Voda, uporabljena za namakanje, ima namreč v sebi raztopljene soli, ki se po izhlapevanju vode kopičijo v zemlji. Tako se slanost v zemlji iz leta v leto povečuje in otežuje pridelavo določenih poljščin, kar se pozna predvsem v dolinah Gangesa, Amu-Darya in Syr-Darya, Inda, Rumene reke, Evfratesa, Murray in Darlinga ter dolini San Joaquin v Ameriki (Qadir in sod., 2014).

Vpliv slanih tal se bolj odraža na dvokaličnicah kot na enokaličnicah. Dvokaličnice imajo namreč bolj razvite korenine in posledično boljši privzem snovi iz tal. V našem primeru to pomeni tudi večji privzem soli iz tal, kar lahko moti rast in razvoj rastlin. Da bi zmanjšali vpliv soli na rast rastlin, smo jim dodali organsko gnojilo in predpostavili, da koristni mikroorganizmi (npr. mikorizne glive) pripomorejo k izboljšani rasti.

S pojmom mikoriza označujemo simbiotsko obnašanje glive in rastline. V grobem poznamo dve vrsti mikorize, ektomikorizo in endomikorizo. Pri ektomikorizi se gliva oz. njene hife naselijo na površini korenin in v medceličnih prostorih, pri endomikorizi pa hife prodrejo tudi v celice in tam lahko tvorijo arbuskule ali vezikle za izmenjavo snovi. V splošnem je mikoriza koristna za rastline in nekatere izmed njih sploh ne rastejo brez prisotnosti gliv.

Porcel in sod. (2011) navajajo, da v večini primerov mikoriza pozitivno vpliva na rast rastlin na slanih tleh. Gre za boljši privzem hranilnih snovi, večje kopičenje osmotskih regulatorjev, povišano stopnjo fotosinteze in učinkovitejšo izrabo dostopne vode. Učinkovitost simbioze pa je predvsem odvisna od vrste mikorizne glive.

S tem namenom so na trgu komercialno dostopna gnojila, ki vsebujejo mikorizne glive, ki pomagajo rastlinam rasti v sušnih in slanih predelih.

Namen raziskave, ki smo jo izvedli, je bil preveriti vpliv organskega gnojila na rast fižola (*Phaseolus vulgaris*) in ječmena (*Hordeum vulgare*) v zasoljenih tleh, določiti vsebnost pigmentov in mineralno sestavo v odvisnosti od načina izpostavitve rastlin. Kot kriterije smo določili suho in svežo maso korenin in poganjkov, vsebnost fotosinteznih barvil, mineralno sestavo in stopnjo mikorizne kolonizacije.

Materiali in metode

Nastavitev poskusa in rastni parametri

Za izvedbo poskusa smo uporabili dve rastlini, ječmen (*Hordeum vulgare*) kot predstavnika enokaličnic in fižol (*Phaseolus vulgaris*) kot predstavnika dvokaličnic. Rastline smo gojili pri štirih različnih izpostavitvah: zalivanje z navadno vodo, zalivanje z 0,1 M NaCl, organsko gnojilo + zalivanje z navadno vodo in organsko gnojilo + zalivanje z 0,1 M NaCl. Za vsako izpostavitve smo naredili po pet vzporednih ponovitev. Rastline smo prvih 14 dni, 2-krat tedensko zalivali z navadno vodo, potem pa še 21 dni, 2-krat tedensko s 50 mL navadne vode oz. 0,1 M NaCl. Rastline so rasle v rastni komori pri 20 °C in 16/8 urni fotoperiodi. Po 5 tednih smo

poskus zaključili in ločili poganjke od korenin. Korenine smo oprali z vodo in nekaj tanjših korenin shranili v 70 % etanolu za nadaljnje analize.

Merjenje sveže in suhe mase: za določitev sveže mase smo ločeno stekali poganjke in korenine rastlin. Rastlinski material smo nato liofilizirali in določili še suho maso poganjkov in korenin.

Določanje vsebnosti pigmentov

Posušene poganjke rastlin smo strli v prah s pomočjo tekočega dušika. Natehtali smo 30 mg materiala posamezne rastline in dodali 5 mL 80 % acetona. Po 24 urah smo vsebino dopolnili do 5 mL z 80 % acetonom, centrifugirali in izmerili absorbanco vzorcev pri 664, 647 in 470 nm (Monni in sod., 2000).

Določanje mikorizne kolonizacije: v etanolu shranjenim koreninam smo odstranili etanol, dodali 10 % KOH in inkubirali pri 90 °C, 30 minut. Nato smo KOH odstranili, sprali z destilirano vodo, dodali tripsansko modrilo in inkubirali pri 90 °C, 15 minut. Po inkubaciji smo korenine sprali z destilirano vodo in pripravili preparate za določanje mikorizne kolonizacije (Maček, 2008).

Analiza mineralne sestave (rentgenska fluorescentna spektrometrija, XRF)

Iz strtih poganjkov posameznih rastlin smo s pomočjo kalupa in preše pripravili tablete za analizo mineralne sestave. S pomočjo rentgenske fluorescenčne spektroskopije (XRF) smo določili vsebnost mineralov elementov (klor (Cl), kalij (K), kalcij (Ca), fosfor (P), žveplo (S), mangan (Mn) in cink (Zn)) v poganjkih rastlin (Nečemer in sod., 2008).

Statistična obdelava

Podatke smo zbrali v programu Microsoft Excel 2013, statistično analizo pa izvedli z dodatkom za Microsoft Excel, XLSTAT, pri čemer smo uporabili Duncanov test.

Rezultati in diskusija

Sveža in suha masa

Sveža masa poganjkov in korenin fižola

Dodatek soli ni imel statistično značilnega negativnega vpliva na svežo maso poganjkov fižola, razen ob dodatku gnojila, ki je povzročilo signifikantno zmanjšanje sveže mase. Pri rastlinah, ki niso bile izpostavljene soli, se sveža masa poganjkov fižola ni signifikantno razlikovala od rastlin z ali brez dodatka gnojila. Sveža masa korenin se je zmanjšala ob dodatku gnojila v primerjavi z izpostavitvijo brez dodanega gnojila, medtem ko ne opazimo statistično značilne razlike med izpostavitvijo soli v primerjavi s kontrolo, ki smo jo zalivali z vodo. Sveža masa korenin je najnižja v primeru, ko fižolu dodamo gnojilo in ga izpostavimo soli. Gnojilo ima negativen vpliv na svežo maso korenin (Tabela 1).

Suha masa poganjkov in korenin fižola

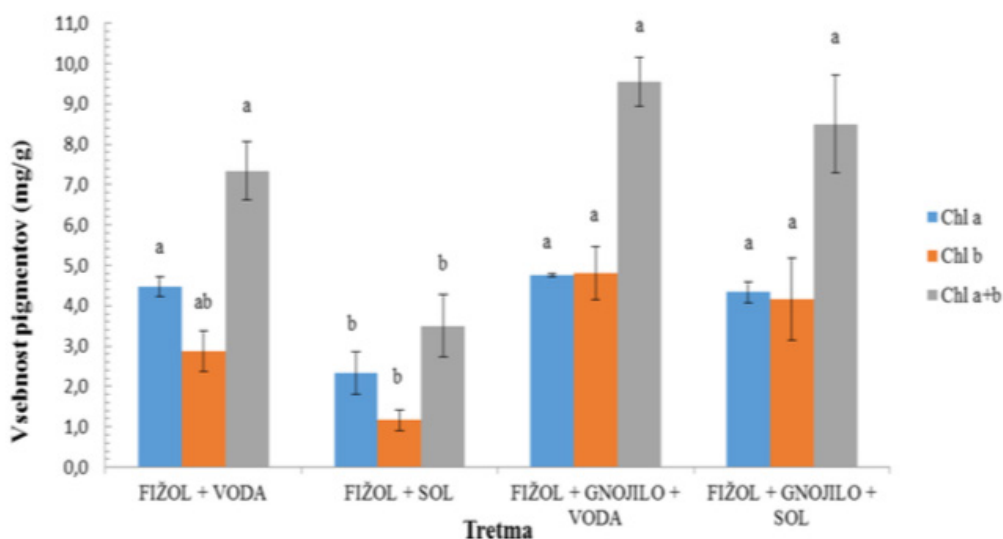
Pri suhi masi poganjkov fižola opazimo podoben trend kot pri sveži masi poganjkov fižola. Gnojilo negativno vpliva na velikost poganjkov, predvsem v zasoljenih tleh, saj povzroči

Tabela 1: Sveža in suha masa poganjkov ter korenin fižola v odvisnosti od uporabljenega tretmaja. Rezultati so prikazani kot povprečne vrednosti \pm SD (n=5). Različne črke zraven vrednosti prikazujejo statistično značilne razlike (Duncanov test, $p < 0,05$).

	POGANJKI		KORENINE	
	sveža masa (g)	suha masa (g)	sveža masa (g)	suha masa (g)
VODA	22,4 \pm 2,17 a	3,03 \pm 0,439 a	5,80 \pm 0,674 a	0,536 \pm 0,070 a
GNOJILO + VODA	20,1 \pm 3,67 a	2,48 \pm 0,447 a	3,53 \pm 0,725 bc	0,266 \pm 0,060 bc
SOL	14,0 \pm 1,96 ab	1,85 \pm 0,293 ab	5,41 \pm 0,670 ab	0,358 \pm 0,040 b
GNOJILO + SOL	11,3 \pm 2,80 b	1,13 \pm 0,298 b	1,95 \pm 0,615 c	0,168 \pm 0,056 c

Tabela 2: Sveža in suha masa poganjkov ter korenin ječmena v odvisnosti od uporabljenega tretmaja. Rezultati so prikazani kot povprečne vrednosti \pm SD (n=5). Različne črke zraven vrednosti prikazujejo statistično značilne razlike (Duncanov test, $p < 0,05$).

	POGANJKI		KORENINE	
	sveža masa (g)	suha masa (g)	sveža masa (g)	suha masa (g)
VODA	4,33 \pm 1,09 a	0,606 \pm 0,176 a	2,35 \pm 0,714 ab	0,390 \pm 0,121 a
GNOJILO + VODA	6,02 \pm 1,11 a	0,618 \pm 0,125 a	1,58 \pm 0,392 b	0,130 \pm 0,035 b
SOL	4,46 \pm 0,495 a	0,598 \pm 0,078 a	4,01 \pm 0,726 a	0,398 \pm 0,077 a
GNOJILO + SOL	3,99 \pm 1,37 a	0,530 \pm 0,170 a	1,53 \pm 0,631 b	0,136 \pm 0,053 b



Slika 1: Vsebnost klorofilov (Chl a, Chl b, Chl a+b) v poganjkih pri fižolu glede na tretma. Rezultati so prikazani kot povprečne vrednosti \pm SD (n=5). Različne črke zraven vrednosti prikazujejo statistično značilne razlike (Duncanov test, $p < 0,05$).

statistično značilno zmanjšanje v primerjavi s kontrolo. Suha masa korenin se statistično značilno zmanjša tako ob dodatku gnojila, kot tudi po izpostavitvi soli. Tudi v tem primeru dodatek gnojila negativno vpliva suho maso korenin po izpostavitvi soli (Tab. 1).

Sveža masa poganjkov in korenin ječmena

Sveža masa poganjkov se med različnimi izpostavitvami statistično značilno ne razlikuje. Sveža masa korenin se ob dodatku gnojila zmanjša, ne glede na to ali so bile korenine izpostavljene soli ali vodi (Tab. 2).

Suha masa poganjkov in korenin ječmena: suha masa poganjkov se med različnimi izpostavitvami statistično značilno ne razlikuje (Tab. 2). Iz preglednice 2 pa lahko vidimo tudi, da je gnojilo negativno vplivalo na suho maso korenin, saj je dodatek gnojila povzročil statistično značilno zmanjšanje suhe mase v primeru izpostavitve vodi, kot tudi soli.

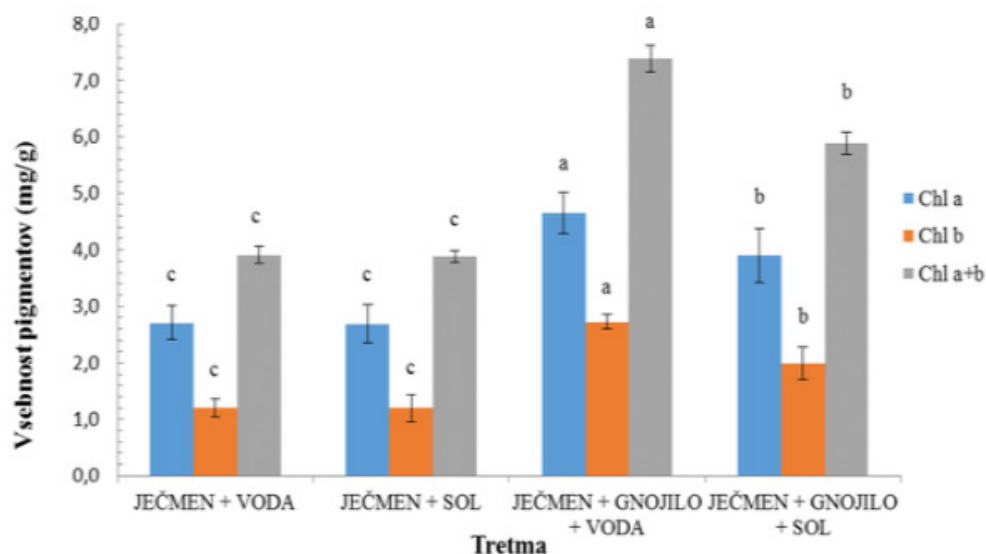
Vsebnost pigmentov

Dodatek gnojila ima statistično značilno pozitiven vpliv na vsebnost klorofilov pri izpostavitvi fižola soli, medtem ko ni bil signifikantnega vpliva na vsebnost klorofilov pri izpostavitvi vodi (Slika 1).

Na sliki 2 vidimo, da izpostavitve ječmena soli ni imela vpliva na vsebnost klorofilov. Gnojilo je pozitivno vplivalo na vsebnost klorofilov pri ječmenu, saj se vsebnost klorofila a in b ob dodatku gnojila statistično značilno poveča (Slika 2).

Mineralna sestava

Iz preglednice 3 je razvidno, da se po izpostavitvi fižola soli poveča količina klora v poganjkih ter, da gnojilo statistično značilno zmanjša privzem klora v zasoljenih tleh. Izpostavitve soli vpliva na povečano količino fosforja, kalija, kalcija in cinka v poganjkih. Dodatek gnojila in izpostavitve soli pa na povečano količino žvepla in mangana. Vsebnost železa se med različnimi



Slika 2: Vsebnost klorofilov (Chl a, Chl b, Chl a+b) v poganjkih pri ječmenu glede na tretma. Rezultati so prikazani kot povprečne vrednosti \pm SD (n=5). Različne črke zraven vrednosti prikazujejo statistično značilne razlike (Duncanov test, $p < 0,05$).

Tabela 3: Vsebnost makro in mikro elementov (μg rastlina⁻¹) v poganjkih fižola pri dodatku gnojila ali brez dodatka gnojila in izpostavitvi soli ali vodi (oznake: fosfor (P), žveplo (S), klor (Cl), kalij (K), kalcij (Ca), mangan (Mn), železo (Fe) in cink (Zn)). Vrednosti so prikazane kot povprečne vrednosti \pm SD (n=5). Različne črke zraven vrednosti prikazujejo statistično značilne razlike (Duncanov test, $p < 0,05$).

	Vsebnost mineralnih snovi (μg rastlina ⁻¹)							
	P	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Zn
VODA	124 \pm 13,1 b	49 \pm 7,5 c	823 \pm 201 c	2393 \pm 277 b	1673 \pm 161 b	5,4 \pm 0,4 b	16 \pm 1,7 a	3,3 \pm 0,4 b
GNOJILO + VODA	150 \pm 14,1 b	96 \pm 4,9 b	921 \pm 198 c	2959 \pm 85,5 ab	1662 \pm 117 b	8,4 \pm 0,9 b	26 \pm 8,3 a	4,3 \pm 0,3 b
SOL	204 \pm 10,9 a	90 \pm 8,2 b	6811 \pm 416 a	3905 \pm 520 a	2766 \pm 169 a	5,4 \pm 0,2 b	23 \pm 5,6 a	5,6 \pm 0,9 ab
GNOJILO + SOL	231 \pm 8,60 a	154 \pm 15 a	4332 \pm 376 b	3600 \pm 195 a	2651 \pm 134 a	13 \pm 2,0 a	30 \pm 3,3 a	7,2 \pm 1,2 a

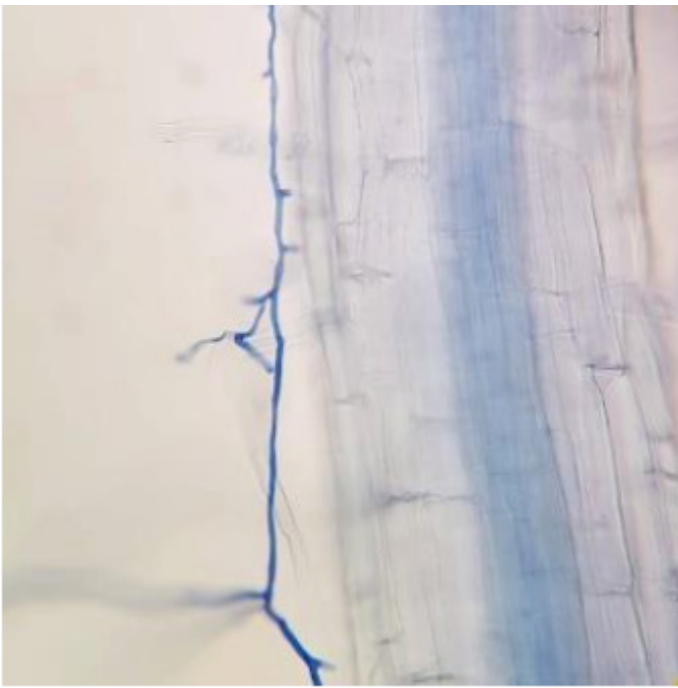
Tabela 4: Vsebnost makro in mikro elementov (μg rastlina⁻¹) v poganjkih ječmena pri dodatku gnojila ali brez dodatka gnojila in izpostavitvi soli ali vodi (oznake: fosfor (P), žveplo (S), klor (Cl), kalij (K), kalcij (Ca), mangan (Mn), železo (Fe) in cink (Zn)). Vrednosti so prikazane kot povprečne vrednosti \pm SD (n=5). Različne črke zraven vrednosti prikazujejo statistično značilne razlike (Duncanov test, $p < 0,05$).

	Vsebnost mineralnih snovi (μg rastlina ⁻¹)							
	P	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Zn
VODA	72,7 \pm 5,2 c	94,3 \pm 11,6 b	1735 \pm 188 c	4437 \pm 234 ab	281 \pm 31 a	2,3 \pm 0,3 c	17 \pm 8,3 a	3,5 \pm 0,4 c
GNOJILO + VODA	123 \pm 15 b	127 \pm 12,2 ab	1944 \pm 169 c	5310 \pm 393 a	291 \pm 43 a	4,0 \pm 0,3 b	14 \pm 2,2 a	5,4 \pm 0,3 ab
SOL	142 \pm 14 ab	93,6 \pm 3,5 b	5262 \pm 336 a	4901 \pm 296 ab	371 \pm 19 a	2,7 \pm 0,1 c	11 \pm 0,8 a	4,6 \pm 0,3 bc
GNOJILO + SOL	180 \pm 18 a	150 \pm 18,5 a	4195 \pm 540 b	4077 \pm 509 b	350 \pm 39 a	5,3 \pm 0,6 a	13 \pm 0,9 a	6,6 \pm 0,50a

izpostavitvami statistično značilno ne razlikuje (Tabela 3). udi v primeru ječmena, se po izpostavitvi rastlin soli močno poveča količina klora v poganjkih, obenem pa dodatek gnojila zmanjša količino klora v poganjkih. Gnojilo ob izpostavitvi soli vpliva na manjšo količino kalija v poganjkih ječmena v primerjavi z ostalimi izpostavitvami, ter na večji privzem fosforja, žvepla, mangana in cinka. Med različnimi izpostavitvami ne opazimo statistično značilnih razlik med

vsebnostjo kalcija in železa (Tabela 4).

Iz rezultatov je razvidno, da je imelo ob dodatku soli gnojilo pozitiven učinek na vsebnost žvepla in mangana tako pri fižolu, kot tudi pri ječmenu, pri slednjem tudi na koncentracijo fosforja in cinka. Mangan je pri rastlinah pomemben za fotosintezo, je tudi kofaktor številnih encimov (Ishimaru in sod., 2012). Cink je sestavni del številnih transkripcijskih faktorjev in ion prisoten v vseh razredih encimov (Gupata in



Slika 3: Mikroskopski preparat (40-kratna povečava) korenine, kjer endomikoriza ni prisotna, vidimo pa hifo zunaj korenine.

sod., 2016). Žveplo je pomembno za sintezo aminokislin Cys in Met, kakor tudi za širok nabor metabolitov (Saito, 2004). Pomanjkanje elementov se lahko odrazi v zmanjšani rasti rastlin, zato bi lahko na podlagi mineralne sestave pričakovali izboljšanje rasti ob dodatku gnojila, kar pa ni razvidno iz

rezultatov analize mase poganjkov in korenin. Kakor prenizke, lahko tudi previsoke koncentracije elementov povzročijo zmanjšanje rasti in posledično biomase rastlin, kar bi lahko pojasnilo nižjo biomaso rastlin ob dodatku gnojila. Brez analize vsebnosti elementov v prsti brez gnojila in z gnojilom ne moremo razpravljati o tovrstnih vzrokih za negativen učinek gnojila na biomaso.

Mikorizna kolonizacija

Preverili smo ali je bila zaradi uporabe organskega gnojila pri rastlinah prisotna arbuskularna mikoriza. Po pregledu preparatov korenin endomikorize nismo zaznali, opaziti je bilo le nekaj hif zunaj korenin (Slika 3).

V primeru, ko smo rastline obravnavali z organskim gnojilom, smo na vrhu opazili pojav micelija gliv (Slika 4a). Ta je bil prisoten tudi v samem organskem gnojilu (Slika 4b).

Zaključki

Predpostavljali smo, da gnojilo vsebuje koristne mikrobo, ki bodo pomagali rastlinam preživeti solni stres. S pripravo in pregledom preparatov pod mikroskopom smo ugotovili, da endomikoriza ni bila prisotna. Opazili pa smo pojav plesni na gnojilu in v prsti, kjer smo gnojilo dodali; predvidevamo, da gre za drugo vrsto, ne-mikoriznih gliv. Ugotovili smo, da se gnojenje z izbranim pripravkom ne odrazi v boljši rasti rastlin. V nobenem primeru (pri fižolu ali ječmenu) ob dodatku gnojila ne opazimo statistično značilno večje suhe mase poganjkov ali korenin v primerjavi s kontrolo, ki gnojila ni vsebovala, je pa bila enako izpostavljena vodi ali pa raztopini 0,1 M NaCl. S tem smo



Slika 4: Opazovana plesen na površini prsti (4a) in na površini organskega gnojila (4b), ki se je tekom poskusa razširila. Gnojilo ni omogočilo uspešne kolonizacije korenin z mikoriznimi glivami (Slika 3). Pojav micelija na površini gnojila v kateri smo gojili rastline ter na preparatih nakazuje prisotnost ne-mikoriznih gliv. Nadaljnje morfološke analize podprte z molekularnimi pristopi za identifikacijo gliv bi lahko potrdile ali gre na površini gnojila in prsti za isto vrsto gliv.

našo hipotezo, da bo organsko gnojilo prispevalo k boljši rasti rastlin, zavrnilo, saj v večini primerov gnojilo celo negativno vpliva na suho maso poganjkov in korenin. Izkazalo se je, da ima gnojilo pozitiven vpliv na vsebnost pigmentov (klorofila a in b) v poganjkih. Ugotovili smo, da izpostavitve soli bolj vpliva na zmanjšanje pigmentov pri fižolu, ki je dvokaličnica, kot pri ječmenu, ki je enokaličnica. To je posledica povečanega privzema klorida pri fižolu (dvokaličnica). Na⁺ in Cl⁻ ioni znižujejo aktivnost encimov, ki sodelujejo pri biosintezi klorofilov in motijo integracijo molekul klorofila v stabilni kompleks. Nižja vsebnost klorofila omejuje fotosintezo in posledično primarno produktivnost v rastlinah (Garriga in sod., 2014). Da izpostavitve fižola NaCl vpliva na zmanjšanje klorofila v svoji študiji poročajo že Bhivare in sod. (1984). V primeru izpostavitve rastlin soli (0,1 M NaCl) opazimo pričakovano povečanje koncentracije klorida (Cl) tako pri fižolu, kot tudi pri ječmenu v primerjavi s kontrolo. Izkaže se, da rastline v prisotnosti soli nekoliko bolje privzemajo fosfor (P) glede na kontrolo. Enako kot v študiji Bhivare in sod. (1984), tudi pri naših rezultatih opazimo, da tretiranje fižola z NaCl vpliva na večjo količino fosforja (P) v poganjkih. Gnojilo je pri obeh vrstah zmanjšalo privzem klorida v slanih tleh.

Literatura

- Atkinson S. F., Miller G. D., Curry D. S., Lee S. B. 2018. Salt water intrusion. Boca Raton, Environmental and ground water institute, CRC Press: 387 str.
- Bhivare V. N., Nimbalkar J. D. Salt stress effects on growth and mineral nutrition of French beans. *Plant and Soil*, 80: 91-98
- Garriga M., Retamale J.B., Romero-Bravo S., Caligari P.D.S., Lobos G.A. 2014. chlorophyll, anthocyanin, and gas exchange changes assessed by spectroradiometry in *Fragaria chiloensis* under salt stress. *Journal of intergrative plant biology*, 56, 5: 505-515
- Gupta, N., Ram, H., and Kumar, B. 2016. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Rev. Environmental Science and Biotechnology*. 15, 89–109. doi: 10.1007/s11157-016-9390-1
- Ishimaru, Y., Bashir, K., Nakanishi, H., and Nishizawa, N. K. 2012. OsNRAMP5, a major player for constitutive iron and manganese uptake in rice. *Plant Signaling and Behaviour*, 7: 763–766. doi: 10.4161/psb.20510
- Maček I. 2008. Molekularni pristopi pri raziskavah arbuskularne mikorize. *Acta agriculturae slovenica*, 93: 77-85
- Monni S., Uhlig C., Hansen E., Magel E. 2000. Ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to heavy metal pollution. *Environmental pollution*: 112-123
- Nečemer M., Kump P., Ščančar J., Jačimović R., Simčič J., Pelicon P., Budnar M., Jeran Z., Pongras P., Regvar M., Vogel-Mikuš K. 2008. Application of X-ray fluorescence analytical techniques in phytoremediation and plant biology studies. *Spectrochimica acta part B: Atomic spectroscopy*, 63, 11: 1240-1247
- Saito K 2004. Sulfur assimilatory metabolism. The long and smelling road. *Plant Physiology* 136: 2443–2450
- Sayeed Akhtar M., Siddiqui Z. A, Wiemken A. 2011. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium to Control Plant Fungal Diseases. V: *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation*. Lichtfouse E. (ur.). Springer Science+Business Media B.V.: str. 263 -292