

Primjena mikrobioloških gnojiva u uzgoju jagode

Sažetak

*Uzgoj jagode je danas vrlo intenzivna poljoprivredna proizvodnja. Primjenom moderne tehnologije postižu se vrlo visoki i rentabilni prinosi, međutim velika primjena kemijskih preparata (mineralnih gnojiva i pesticida) predstavlja sve veći problem. Moderni potrošači jagode traže kvalitetne plodove, s niskom količinom rezidua. Osim toga, potrebno je voditi računa o dugoročnoj održivosti tla i očuvanju okoliša. Stoga sve više uzgajivača jagode traže dodatne mogućnosti kroz primjenu mikrobioloških gnojiva u uzgoju jagode. U tom segmentu postoji nekoliko mogućnosti; preparati na bazi mikoriznih gljivica, na bazi gljivice *Trichoderme*, fiksatori dušika (N) i bakterije koje otapaju netopive oblike fosfora u tlu. Pravilnom primjenom ovih novih tehnoloških mogućnosti moguće je ostvariti visoke i kvalitetne prinose ploda jagode bez rezidua kemijskih preparata uz očuvanje tla i okoliša.*

Ključne riječi: jagoda, mikrobiološka gnojiva, mikoriza, trichoderma, biološki fiksatori dušika

Uvod

Jagoda je vrlo specifična voćna vrsta koja se često uzgaja u intenzivnom uzgoju (tlo ili u supstratima). Za razliku od ostalih drvenastih voćnih vrsta, radi se o višegodišnjoj zeljastoj kulturi, koja ima 1 do 3 berbe (vegetacije) i koja u intenzivnom uzgoju postiže visoke prinose ploda. Ovisno o tehnološkoj razini poljoprivrednih proizvođača prinosi kod uzgoja na tlu mogu biti od 40 do 60 t/ha ploda. Za postizanje tako visokih prinosa potrebna su velika ulaganja u svim segmentima tehnologije; od odabira sorte i sadnog materijala, pripreme tla, gnojidbe do primjene zaštitnih sredstava. Zbog sve veće osviještenosti za očuvanjem okoliša poljoprivrednih proizvođača, ali i zahtjeva krajnjih potrošača jagode, u naprednom uzgoju jagode sve se češće primjenjuju i mikrobiološka gnojiva (preparati). Primjenom mikrobioloških gnojiva smanjuje se upotreba kemijskih preparata. Dobivaju se plodovi sa znatno manjom količinom rezidua. Isto tako, primjenom mikrobioloških gnojiva čuva se vitalnost tla koja je ključna za održivu poljoprivrednu proizvodnju.

Kada govorimo o praktičnoj primjeni mikrobioloških gnojiva za uzgoj jagode najčešće se koriste slijedeće grupe preparata:

- Preparati na bazi mikoriznih gljivica (*Glomus spp.*)

¹ Dr.sc. **David Gluhic**, Veleučilište Rijeka, Poljoprivredni odjel Poreč, Karla Huguesa 6, 52 440 Poreč

Corresponding author: dgluhic@veleri.hr

- Preparati na bazi gljivice trichoderme (*Trichoderma sp.*)
- Biološki fiksatori dušika (N)
- Bakterije za poboljšanje topivosti fosfora u tlu



Slika 1. Primjena mikrobioloških gnojiva postaje sve važnija tehnološka mjera u intenzivnom uzgoju jagode (izvor: vlastita fotografija autora članka) / **Figure 1.** The use of microbiological fertilizers is becoming an increasingly important technological measure in intensive strawberry cultivation. (photo source: author's photo)

Preparati na bazi mikoriznih gljivica

Mikorizne gljivice koje obitavaju u tlu čine specifičnu simbiozu s korijenom jagode. Za jagodu je važna tzv. endomikoriza, gdje se micelij mikorizne gljivice, nakon klijanja spora, obavi oko korijena biljke domaćina (jagoda) i stvara arbuskularnu mikoriznu simbiozu (eng. AMF). U takvom uzajamnom odnosu matična biljka dobiva više vode i hraniva iz tla uz niz ostalih korisnih benefita, dok mikorizna gljivica dobiva dio ugljikohidrata koji nastaju u procesu fotosinteze matične biljke.

- Kroz brojna znanstvena istraživanja potvrđena su pozitivna svojstva ovakve vrste simbioze, od kojih se posebno ističe:
- Povećanje aktivnog volumena korijena i bolje usvajanje hraniva i vode iz tla (Smith S.E., Robson A.D. i Abott L.K., 1992, Širić, Držaić i Friganović, 2022)
- Povećanje otpornosti jagode na rast zaslanjenosti tla zbog intenzivne upotrebe visokih doza gnojiva (pogotovo vodotopivih gnojiva više EC vrijednosti) (Sinclair i sur., 2014).
- Veća otpornost na stresne uvjete (Ruiz-Lozano J.M., Azcón R. i Gomez M., 1995).
- Povećanje prinosa plodova (Arikan i sur., 2023)
- Povećanje količine suhe tvari u plodovima jagode (Taylor J. i Harrier L.A., 2001)
- Bolja skladišna sposobnost plodova nakon berbe (Zhu i Zhou, 2007)

Stvaranjem simbioze korijena i mikorizne gljivice aktivni volumen korijena može se povećati i od 100 pa do 1.000 puta. Ovo je vrlo važno u uzgoju jagode, koja u kratkom vremenskom periodu rasta ploda (od završetka cvatnje do tehnološke zrelosti ploda) mora usvojiti veliku količinu svih hraniva. U početnoj fazi rasta i formiranja cvjetnih pupova je dušik (N). U fazi rasta ploda su to velike količine kalcija (Ca) i fosfora (P) te na kraju, tijekom dozrijevanja plodova, visoke količine kalija (K).

Ukoliko je volumen korijena biljke jagode mali, jasno je da i značajno povećanje količine dušika u gnojdbi neće rezultirati rastom prinosa, jer će usvajanje dušika i dalje biti nedovoljno. Kod kalija je priča još i važnija, jer se kalij intenzivno usvaja u drugoj polovici rasta ploda i tijekom dozrijevanja. U tako kratkom periodu, aktivni volumen korijena ima gotovo presudnu ulogu u usvajanju hraniva i ostvarenju visokog prinosa.

Vrste mikoriznih gljivica u uzgoju jagode

U uzgoju jagode koriste se preparati na bazi nekoliko vrsta mikorizne gljivice roda *Glomus* spp. Najčešće se radi o vrstama *Glomus mossae*, *Glomus fasciculatum* i *Glomus intraradices*, dok se ostale

vrste manje koriste. Osim ovih naziva, zbog promjena u nomenklaturi mikoriznih gljivica, mogu se susresti i novi nazivi *Rhizophagus irregularis* i *Funeliformis mosseae*. Kod pojedinih komercijalnih preparata na tržištu, koriste se i posebni sojevi koji se proizvode u licenciranim laboratorijima.



Slika 2. Mikorizni preparat Aegis WP koji sadrži visoku koncentraciju spora (1.000 spora/1 gramu) gljivice *Rhizoglyphus irregularis*, soj BEG72 (proizvođač Atens, Španjolska) / **Figure 2.** Mycorrhizal product Aegis WP containing a high concentration of spores (1,000 spores/1 gram) of the fungus *Rhizoglyphus irregularis*, strain BEG72 (manufacturer Atens, Spain)

Kako primijeniti mikorizu u nasadima jagode?

Na tržištu postoji nekoliko različitih oblika mikoriznih preparata. To su:

- Preparati u suhom obliku (za primjenu kroz sustav fertirigacije)
- Preparati u tekućem ili gel obliku (za primjenu kroz sustav fertirigacije)
- Preparati u suhom mikrogranuliranom obliku (primjenjuju se kod pripreme tla za podizanje novih nasada)
- Posebno formulirani organski peletirani materijali obogaćeni mikoriznim gljivicama (primjenjuju se kod pripreme tla za podizanje novih nasada)

Koliko spora mikoriznih gljivica je potrebno za 1 ha nasada jagode?

Za uspješnu mikorizaciju 1 ha nasada jagoda potrebno je primijeniti oko 1.000.000 aktivnih spora/ha. Ovo je osnovno pravilo za mikorizaciju novih/nasada u roku te bi tome trebalo prilagoditi i doze komercijalnih preparata koji će se koristiti za jagodu. Kod kvalitetnijih preparata je to 1 kg ili 1 lit ovisno o obliku preparata, dok se doze kod ostalih preparata kreću od 5-20 kg/ha.

Koji su važni uvjeti za uspješnu mikorizaciju u nasadima jagode?

Nekoliko je važnih preduvjeta za uspješnu mikorizaciju nasada jagoda. Potrebno je zadovoljiti brojne uvjete, i time osigurati uspješnu mikorizaciju, dobar razvoj nove simbioze gljivice i matične biljke i time ostvariti maksimalni učinak mikorize. U slijedećoj tablici prikazani su važni uvjeti za uspješnu mikorizaciju nasada jagode.

Tablica 1. Važni uvjeti za uspješnu mikorizaciju nasada jagode

Table 1. Important conditions for the successful mycorrhization of strawberry plantations

Izbor kvalitetnog mikrobiološkog gnojiva na bazi mikoriznih gljivica
Minimalan broj spora za površinu nasada jagode
Potrebna vlažnost tla nakon primjene mikoriznih gljivica
Primjena preparata na bazi huminskih kiselina
Niska količina rezidua pesticida u tlu
Niska količina bakra (Cu) u tlu
Pravilan rad sustava za fertirigaciju

Primjena trichoderme u uzgoju jagoda

Rod *Trichoderma* sp. predstavlja veliki broj vrsta rizosfernih gljivica koje prirodno obitavaju u tlu i imaju izraženu sposobnost kolonizacije (naseljavanja) korijena biljaka. Rastući interes za primjenu preparata na bazi gljivice *Trichoderme* u intenzivnom uzgoju jagoda proizlazi iz njezinog izravnog i neizravnog potencijala biološke kontrole brojnih patogenih organizama u tlu, prvenstveno patogenih gljiva koje štetno djeluju na jagode. Gljivice iz roda *Trichoderme* djeluju preko raznih složenih mehanizama (Benitez i sur., 2004, Gajera i sur., 2013) kao što su:

- parazitiranje (mikoparazitizam) na štetnim gljivicama (uzročnicima bolesti),
- lučenjem enzima koji razgrađuju stanične stijenke patogenih mikroorganizama,
- kompeticijom za hranive tvari i životni prostor te
- poticanje samih obrambenih sposobnosti viših biljaka (potiče proces elicitacije).
- Doista impresivan spektar pozitivnih učinaka zbog kojih primjena preparata na bazi gljivice *Trichoderme* sp. postaje sve važnije tehnološka mjera u intenzivnom uzgoju jagode.

S druge strane, ukidanje brojnih aktivnih tvari kod klasičnih pesticida (prvenstveno fungicida za primjenu u tlu) smanjuje učinak borbe poljoprivrednih proizvođača protiv sve učestalijih bolesti korijena jagoda. Dodatan problem stvara i pojava rezistentnosti patogenih gljiva na različite aktivne tvari. Stoga su proizvođači u potrazi za kvalitetnim novim rješenjima, poput primjene preparata na bazi gljivice *Trichoderme* sp. Gljivice iz ovog roda imaju izravnu sposobnost sinteze fitohormona i enzima 1-amilociklopropan-1-karboksilat deaminaze koji imaju snažan biofungicidni učinak. Redovnom primjenom kvalitetnih preparata na bazi *Trichoderme* sp. moguća je učinkovita kontrola patogenih gljivica iz rodova *Cladosporium*, *Botrytis*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Verticillium*, *Phytium*, *Fusarium* i *Rhizoctonia* (Tyśkiewicz i sur., 2022).



Slika 3. Izražena štete u nasadu jagode uzrokovane zarazom patogenom gljivom *Fusarium oxysporum* f. sp. *Fragariae* (izvor fotografije: vlastita fotografija autora članka) / **Figure 3.** Severe damage to strawberry plantations caused by infection with the pathogenic fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *Fragariae* (photo source: author's photo)

Učinkovitost primjene *Trichoderme* ovisi o njezinoj metabolitičkoj aktivnosti (kvaliteti preparata) i interakciji s matičnom biljkom i ostalim mikroorganizmima u tlu. Gljivica stvara brojne metabolite koji imaju antimikrobni učinak (enzimi, antibiotici, hlapivi spojevi, nehlapivi spojevi) i biostimulativni učinak (fitohormoni, fitoregulatori) (Tyśkiewicz i sur., 2022). Posebnost gljivica iz roda *Trichoderme* kao agenta za biokontrolu ekosistema u tlu rezultat je njezine prilagodljivosti i brzog rasta u tlu, mogućnost primjene na različitim tipovima tla, otpornost na brojne toksične elemente u tlu, uključujući i rezidue fungicida (poput aktivnih tvari azoxystrobina i trfloxystrobina) i herbicida te na ostale organske zagađivače (Sirvastava i sur., 2016).

Kroz brojne znanstvene i stručne radove (Fiorentino i sur., 2018, Mukhopadhyay i Kumar., 2020, Tyśkiewicz i sur., 2022, Zin i Badaluddin, 2020), potvrđen je dobar učinak brojnih

vrsta iz roda *Trichoderma* sp. u biokontroli patogenih gljivica u tlu, od kojih se posebno ističu sljedeće vrste:

- *Trichoderma virens*
- *Trichoderma harzianum*
- *Trichoderma koningii*
- *Trichoderma pseudokoningii*
- *Trichoderma longibrachianum*
- *Trichoderma asperellum*
- *Trichoderma polysporum*
- *Trichoderma viride*

Kako primijeniti *Trichoderma* u uzgoju jagode?

Na tržištu postoji nekoliko različitih preparata na bazi gljivica *Trichoderme*. Osnovno, preparati se mogu podijeliti na:

- Preparate u suhom stanju
- Preparate u tekućem stanju ili u obliku gela

Kod izbora preparata potrebno je voditi računa o koncentraciji spora gljivica *Trichoderme* u preparatu. Koncentracija spora označava se jedinicom CFU/gramu. CFU/gramu oznaka znači "kolonije formirajućih jedinica po gramu" (eng. Colony Forming Units per gram). To je mjera koja se koristi u mikrobiologiji za označavanje broja živih bakterija ili spora gljivica u uzorku. Tehnološki, uvijek je potrebno koristiti preparate s višom koncentracijom.

Tablica 1. Prikaz nekoliko preparata na bazi *Trichoderme* dostupnih na tržištu Hrvatske
Table 1. Overview of several *Trichoderma* products available on the Croatian market

Trgovački naziv preparata	Vrsta <i>Trichoderme</i>	Proizvođač	Koncentracija CFU/gram
Condor Shield	<i>Trichoderma koningii</i> soj TK7	Atens, Španjolska	1x10 ⁹ CFU/gramu
Trifender Pro	<i>Trichoderma asperellum</i> soj T34	Kwizda, Mađarska	1x10 ⁸ CFU/gramu
Promot plus	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Trichoderma koningii</i>	Intrachem Bio, Njemačka	2x10 ⁷ CFU/gramu 3x10 ⁷ CFU/gramu

Kada primijeniti *Trichoderma* u uzgoju jagoda

Preparati na bazi *Trichoderme* potrebno je primijeniti nekoliko puta tijekom vegetacije jagode. Kod novih nasada, primjena ide odmah nakon sadnje, pogotovo ako nisu korišteni fungicidi za zaštitu korijena od bolesti. U proizvodnim nasadima, *Trichoderma* se primjenjuje na početku kretanja vegetacije, kod početka rasta prvih plodova i nakon završetka berbe. Ukoliko su u nasadu već prisutne bolesti korijena, potrebno je povećati broj tretmana. Prosječno se primjenjuje 1-2 kg/ha preparata visoke koncentracije, dok se preparati niže koncentracije koriste u većim količinama 5-10 kg/ha.

Fiksatori dušika (N)

Fiksatori dušika su posebne vrste mikroorganizma koji mogu fiksirati dušik (N) prisutan u atmosferi i staviti ga na raspolaganje jagodi za rast lisne mase i plodova. Kako se za visoke prinose jagoda troše velike količine dušika, koji se dodaje u mineralnom (nitratnom) obliku, često dolazi do gubitaka, pogotovo ispiranjem iz zone korijena. Iako je nitratni oblik brzo usvojiv, kod visokih doza primjene, gubici su neizbježni, te je potrebno primijeniti i dodatne tehnologije kako bi se povećala učinkovitost gnojidbe dušikom (N) (Puri, Padda i Chanway, 2018).

Fiksatori atmosferskog dušika dijele se na simbiotske i asimbiotske (asocijativne). Simbiotski su vezani uz određenu biljnu vrstu, poput mahunarki (soje, boba) i nisu primjenjivi u uzgoju jagode. S druge strane, asimbiotski fiksatori dušika žive slobodno u tlu ili na listu. Tipični predstavnici asimbiotskih fiksatora dušika u tlu su bakterije iz roda *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* i *Klebsiella*. Osim fiksacije dušika, bakterije iz ovog roda sintetiziraju hormone rasta kao što su auksini, citokinini i giberelini (Santi, Bogusz i Franche, 2013). Ovi hormoni potječu s površine korijena i utječu na rast biljaka, cvatnju, oplodnju i rast plodova. Također, pospješuju otapanje fosfata u tlu, povećavaju aktivnost enzima fosfataze koji utječe na usvajanje fosfora iz tla (Danso, 1995).

Nesimbiotski fiksatori dušika (N) koji žive na listu poljoprivrednih kultura posebna su vrsta bakterija koje se prskanjem nanose na list te mogu fiksirati dušik uz zraka i tako dodatno opskrbiti jagodu dodatnim količinama dušika. Radi se o novim tehnološkim spoznajama te se tek odnedavno koriste u intenzivnom uzgoju jagode. Prve praktične primjene ovih vrsta bakterija bile su u folijarnoj gnojidbi žitarica (pšenice), a razvojem novih i učinkovitijih preparata primjena se širi i u uzgoju voćarskih kultura. Koristi se nekoliko vrsta bakterija (*Methylobacterium symbioticum* SB23, preparat Utrisha N, proizvođač Corteva i *Azotobacter salinestris* 9690, preparat Vixeran, proizvođač Syngenta). Bakterija koja pokazuje dobre rezultate u primjeni na jagodi je *Paenibacillus polymyxa* (preparat Bactim Endofix, proizvođač Intermag). Prednost primjene ovih vrsta bakterija je da su neovisne o agroekološkim uvjetima u tlu (pH, rezidui herbicida, niska količina organske tvari i slično) te otvaraju novo poglavlje u tehnologiji gnojidbe mikrobiološkim gnojivima jagode preko lista.

Asocijativni fiksatori mogu, ovisno o agroekološkim uvjetima, fiksirati 20-40 kg dušika (N) po hektaru površine, bez gubitaka ispiranjem (Soumare i sur., 2020). Stoga svakako predstavljaju zanimljivu tehnološku opciju u uzgoju jagode.

Bakterije za poboljšanje topivosti fosfora u tlu

Fosfor (P) je važan element u gnojidbi jagode. Ima višestruku funkciju, od koji se ističe pozitivan utjecaj na cvatnju i razvoj plodova, sintezi polifenola i antocijana. Isto tako, fosfor je sastavni dio molekula ADP i ATP, koji su izvor energije za sve fiziološke procese u biljci. Za postizanje prosječnog prinosa od 30 t ploda/ha, jagoda će potrošiti oko 75 kg/ha P₂O₅ ali već u vrlo intenzivnoj proizvodnji, gdje prinosi mogu dosegnuti i do 60 t/ha, jagodi je potrebno visokih 150 kg/ha P₂O₅, koji mora biti dostupan i lako usvojiv.

I upravo je tu ključ problema u gnojidbi jagode visokim dozama fosfornih gnojiva. Postoje brojni nepovoljni uvjeti koji će smanjiti dostupnost, odnosno usvajanje fosfora iz tla (Amadou, Houben i Faucon, 2021, Faucon i sur., 2015). To su:

- pH vrijednost tla. Ovo je gotovo najvažniji čimbenik koji će utjecati na iskoristivost fosfora u gnojidbi. Na kiselim tlama (uslijed nedostatka kalcija u tlu) dolazi do reakcije sa lako pokretnim oblicima željeza (Fe), mangana (Mn) i aluminija (Al) u tlu, i nastajanje netopivih oblika fosfora. Zato je učinkovitost gnojidbe jagode fosforom na

kiselim tlima vrlo slaba. Isto tako, kod visokih pH vrijednosti tla, dolazi do reakcije sa kationom kalcija (Ca^{2+}) i stvaranja netopivih kalcij-fosfata.

- Količina kalcija (Ca) u tlu. Kalcij je važan element u postizanju visokog prinosa i dobre kvalitete plodova. Stoga u gnojidbi jagode treba voditi posebno računa oko bilance kalcija u tlu. Za uzgoj jagode, glavni izvor kalcija je lako topivi Ca-nitrat koji se dodaje kroz sustav kapanja. Međutim, zbog visoke količina kationa kalcija često dolazi do stvaranja netopivog kalcija-fosfata.
- Vrlo slaba pokretljivost fosfora u tlu. Dok je većina ostalih makroelemenata dobro pokretljiva u tlu, pokretljivost fosfora je vrlo slaba u tlu. Fosforni ion gotovo nije pokretan u tlu, te se mora nalazi vrlo blizu korijena (vrha korijenove dlačice) da bi ga biljka mogla usvojiti.
- Niska temperatura tla.
- Visoka vlažnost tla.

Svi ti nepovoljni čimbenici u tlu samo još više potenciraju problem slabe iskoristivosti fosfora u tlu, te je prosječna iskoristivost gnojiva na bazi fosfora u tlu od 15-20 % (Veneklaas i sur., 2012).

Koje bakterije imaju sposobnost povećanja topivosti fosfora u tlu?

Prvenstveno se radi o brojnim bakterijama iz roda *Bacillus* sp., *Burkholderia* spp. and *Pseudomonas* spp. (Amy i sur., 2022) koje se mogu pojedinačno ili u miksu pronaći i u komercijalnim preparatima za primjenu u uzgoju jagode. Osim ovih bakterija, sposobnost otapanja netopivih oblika fosfora u tlu imaju i slijedeće bakterije; *Enterobacter*, *Salmonella*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Thiobacillus*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Enterobacteriaceae*, *Serratia marcescens* i *Baeyerlingia* (Amadou, Houben i Faucon, 2021). Bakterije mineraliziraju fosfor u tlu otapanjem kompleksnih fosfata u anorganski oblik koji biljka može usvojiti. Ove fosfomobilizirajuće bakterije koriste različite mehanizme kako bi otobile netopive oblike fosfora. Primarni mehanizam otapanja temelji se na izlučevinama mikroorganizama zbog metabolizma šećera. Organizmi koji žive u rizosferi koriste šećere iz eksudata korijena i metaboliziraju ga kako bi se dobile organske kiseline. Mikroorganizmi oslobađaju te kiseline koje djeluju kao dobri kelatori Ca^{2+} kationa za oslobađanje fosfora iz netopivog oblika, i time povećavaju količine lako usvojivog fosfora u tlu kod uzgoja jagoda.



Slika 4. Visoki prinos i kvaliteta plodova jagode kod redovne primjene mikrobioloških gnojiva (izvor fotografije: vlastita fotografija autora članka) / **Figure 4.** High yield and quality of strawberry fruits with regular application of microbiological fertilizers (photo source: author's photo)

Primjena mikrobioloških preparata u intenzivnom uzgoju jagode ima važnu tehnološku ulogu. Primjena mikorize povećava aktivni volumen korijena i time omogućava usvajanje više

vode i hrane, uloga Trichoderme je „čuvati“ zdrav korijen i zdravu zonu rizosfere u tlu, dok fiksatori dušika i bakterije za otapanje fosfora omogućuju dodatni izvor potrebnih hraniva. Time se omogućava veća učinkovitost u uzgoju jagode, bez štetnog učinka na okoliš i zdravlje krajnjih potrošača ovog vrlo vrijednog voća.

Literatura

- Amadou I., Houben D. i Faucon M. P. (2021)** Unravelling the role of rhizosphere microbiome and root traits in organic phosphorus mobilization for sustainable phosphorus fertilization. A review. *Agronomy*, 11, 2267-2278
- Amy, C., Avice, J. C., Laval, K. i Bressan, M. (2022).** Are native phosphate-solubilizing bacteria a relevant alternative to mineral fertilizations for crops? Part I. When rhizobacteria meet plant P requirements. *Rhizosphere*, 21, 100476-100483
- Arikan, Ş., Ipek, M., Lütff, P., Esitken, A. i Sahin, M. (2023).** The Effect of Mycorrhiza Applications on Growth and Yield in Some Strawberry Cultivars under Calcareous Soil Conditions. *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*. 37. 326-336
- Benítez, T.; Rincón, M.A.; Limón, C.M.; Codón, C.A. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int. Microbiol.* 2004, 7, 249–260
- Danso S. (1995)** Assessment of biological nitrogen fixation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 42(1-3):33-41
- Gajera, H.; Domadiya, R.; Patel, S.; Kapopara, M.; Golakiya, B.** Molecular mechanism of *Trichoderma* as bio-control agents against phytopathogen system—A review. *Curr. Res. Microbiol. Biotechnol.* 2013, 1, 133–142
- Fiorentino, N.; Ventorino, V.; Woo, S.L.; Pepe, O.; De Rosa, A.; Gioia, L.; Romano, I.; Lombardi, N.; Napolitano, M.; Colla, G.; et al.** *Trichoderma*-based biostimulants modulate rhizosphere microbial populations and improve N uptake efficiency, yield, and nutritional quality of leafy vegetables. *Front. Plant Sci.* 2018, 9, 743.
- Faucon, M. P., Houben, D., Reynoird, J. P., Mercadal-Dulaurent, A. M., Armand, R. i Lambers, H. (2015).** Advances and perspectives to improve the phosphorus availability in cropping systems for agroecological phosphorus management. *Advances in Agronomy*, 134, 51– 79
- Mukhopadhyay, R. i Kumar, D. (2020)** *Trichoderma*: A beneficial antifungal agent and insights into its mechanisms of biocontrol potential. *Egypt. J. Biol. Pest Control*, 30, 133
- Puri A., Padda K.P. i Chanway C.P. (2018)** Nitrogen-Fixation by Endophytic Bacteria in Agricultural Crops: Recent Advances. *Nitrogen in Agriculture - Updates. InTech*
- Santi C., Bogusz D. i Franche C (2013)** Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Annals of Botany*.111(5):743-767
- Sinclair G., Charest C., Dalpé Y. i Khanizadeh S. (2014).** Influence of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on three strawberry cultivars under salty conditions. *Agricultural and Food Science*, 23(2): 146-158.
- Smith S.E., Robson A.D. i Abott L.K. (1992).** The involvement of mycorrhizas in assesment of genetically depend on efficiency of nutrient uptake and use. *Plant and Soil*, 146(1-2): 169–172.
- Soumare A., Diedhiou A. G., Thuita M., Hafidi M., Ouhdouch Y. i Gopalakrishnan S. (2020)** Exploiting biological nitrogen fixation: a route towards a sustainable agriculture. *Plants* 9 (8), 1011-1018
- Srivastava, M., Kumar, V., Shahid, M., Pandey, S. i Singh, A. (2016)** *Trichoderma*—A potential and effective bio fungicide and alternative source against notable phytopathogens: A review. *Afr. J. Agric. Res.*, 11, 310–316

Širić, I., Držaić, V. i Friganović, T. (2022). Mogućnosti primjene mikoriznih gljiva u ekološkoj poljoprivredi. *Glasnik Zaštite Bilja*, 45. (3), 12-20.

Ruiz-Lozano J.M., Azcón R. i Gomez M. (1995). Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(2). 456- 460

Taylor J. i Harrier L.A. (2001) A comparison of development and mineral nutrition of micropropagated *Fragaria × ananassa* cv. Elvira (strawberry) when colonised by nine species of arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Soil Ecol.* 18: 205-215

Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E. i Jaroszuk-Ścisiet, J. (2022) Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2329-2340

Veneklaas, E.J.; Lambers, H.; Bragg, J.; Finnegan, P.M.; Lovelock, C.E.; Plaxton, W.C.; Price, C.A.; Scheible, W.; Shane, M.W. i White, P.J. (2012). Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytol.*, 195, 306–320

Zhu SH, Zhou J (2007). Effect of nitric oxide on ethylene production in strawberry fruit during storage. *Food Chemistry*, 100(4): 1517-1522.

Zin, N.A. i Badaluddin, N.A. (2020) Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Ann. Agric. Sci.*, 65, 168–178

Prispjelo/Received: 20.2.2025.

Prihvaćeno/Accepted: 30.3.2025.

Professional paper

Application of microbiological fertilizers in strawberry growing

Summary

Strawberry growing is today a very intensive agricultural production. The application of modern technology achieves very high and profitable yields; however, the large use of chemical products (mineral fertilizers and pesticides) is an increasing problem. Modern strawberry consumers are looking for quality fruits with low residue levels. In addition, it is necessary to take into account the long-term sustainability of the soil and environmental protection. Therefore, more and more strawberry growers are looking for additional options through the use of microbiological fertilizers in strawberry cultivation. There are several options in this segment: products based on mycorrhizal fungi, based on the fungus *Trichoderma*, biological nitrogen (N) fixers, and bacteria that dissolve insoluble forms of phosphorus in the soil. By properly applying these new technological possibilities, it is possible to achieve high-quality strawberry yields without chemical residues while preserving the soil and the environment.

Keywords: strawberry, microbiological fertilizers, mycorrhiza, trichoderma, biological nitrogen fixation