

## Mogućnosti primjene mikoriznih gljiva u ekološkoj poljoprivredi

### Sažetak

Mikoriza predstavlja simbiozu između gljive i biljke pri čemu gljiva od biljke dobiva organske tvari sintetizirane putem fotosinteze, a biljka uz pomoć hifa gljiva lakše absorbira vodu i hraniva. Primjena mikorize u poljoprivredi ima brojne prednosti – omogućava uzgoj bilja u tlima nepovoljnih karakteristika, poboljšava ishranu bilja, mineralizaciju organske tvari, efikasnije iskorištavanje fosfora i dušika, povećava otpornost kultura na stres presadnje, suše i soli, teške metale u tlu i patogene te povećava prinose i kvalitetu. Primjena mikorize u ekološkom uzgoju je sve više zastupljena u praksi, osobito u proizvodnji plodovitog povrća, u maslinarstvu i vinogradarstvu. Arbuskularno-mikorizne gljive za koje se smatra da mogu zamijeniti gnojiva i biocide koji nisu dopušteni u ekološkim sustavima proizvodnje imaju veliku mogućnost primjene u ekološkoj poljoprivredi. Osim što se upotrebom gljiva kao biofertilizatora postiže održavanje ili poboljšavanje plodnosti tla, promiče se ekološka proizvodnja hrane koja predstavlja cjeloviti sustavan pristup poljoprivredi, koji potiče kontinuirane inovacije na gospodarstvima, a u svrhu ekološkog, društvenog i ekonomskog boljitka. Primjena mikoriznih gljiva u svim segmentima ekološke proizvodnje ima veliki potencijal u budućnosti u Republici Hrvatskoj i u svijetu.

**Cljučne riječi:** mikoriza, gljiva, održiva poljoprivreda, ekologija

### Uvod

Porast broja stanovnika, intenzivna industrijalizacija i urbanizacija jedan su od najvažnijih problema današnjice. Navedeno je usko vezano i sa proizvodnjom hrane odnosno poljoprivredom, koja je drugom polovicom prošlog stoljeća počela intenzivno tražiti rješenja u dostatnosti prehrane stanovništva (Vukadinović, 2020). Ubrzan razvoj kemijske industrije utjecao je i na razvoj intenzivne poljoprivrede, koja rezultira unošenjem velikih količina mineralnih gnojiva u tlo te primjenom sredstava za zaštitu bilja u poljoprivrednoj proizvodnji. Takav način gospodarenja agroekosustavom nije se pokazao dobrim za ljudsko zdravlje kao ni za održivost ekosustava. Promoviranje i poticanje ekološke poljoprivrede navodi se jednim od najčešće spominjanih rješenja nastalog problema, čiji je glavni cilj proizvodnje hrane koja nije štetna za zdravlje ljudi, a ujedno štiti prirodne resurse prvenstveno tla i vode. Kao praktično rješenje u praksi ekološke poljoprivrede pokazala se regeneracija mikroorganizama u tlu. Biljke i određeni mikroorganizmi mogu stupiti u odnos od kojeg obje strane imaju koristi, a takav odnos se naziva simbioza (Ravnjak, 2015). Zbog tih odnosa, sve više se koriste biološka gnojiva koja sadrže mikroorganizme koji stupaju u simbiozu s biljkama. Mikorizu upravo čini mreža hifa gljiva ispod razine tla, koja uspostavlja simbiotski odnos sa korijenom biljke. Preko 90 % kopnenih biljnih organizama uspostavlja navedenu simbiozu sa gljivama, a nekim biljkama je simbioza nužna za preživljavanje (Mukerji i sur., 2000). Osim biljne vrste, formiranje mikorize ovisi o ekološkim čimbenicima poput temperature i vlage (Zrnić i Širić, 2017). Za ekološku poljoprivredu proizvodnju iznimno je važna bioraznolikost mikroorganizama u tlu te uspostavljanje simbiotske veze između uzgajane kulture i prirodnih stimulatora. Kada se govori o uzgoju jednogodišnjih kultura posebno je zanimljiva i važna arbuskularno-vezikularna mikoriza koja svojim

<sup>1</sup> doc. dr. sc. Ivan Širić, dr. sc. Valentino Držaić, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska 2  
<sup>2</sup> Tiana Friganović, Student - Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska  
Autor za korespondenciju: isiric@agr.hr

osobinama na staničnoj, anatomskoj i fiziološkoj razini, uzrokuje uspostavljanje specifične veze sa korijenom biljke. Primijećene su brojne pozitivne karakteristike kod mikoriziranih kultura, a najvažnija je usvajanje mineralnih tvari (Zrnić i Širić, 2017). U ekološkoj poljoprivredi, mikoriza se smatra novom tehnologijom koja rezultira većim i kvalitetnijim prinosima, boljim gospodarenjem vodom, boljim iskorištavanjem hraniva te većoj otpornosti kultura na stres.

Uloga gljiva u netretiranom ekosustavu je važna, a po uzoru na prirodne procese i antropogene radnje trebaju težiti ostvarenju održivih zajednica. Prvenstvena uloga mikorize u ekološkoj poljoprivredi je održati tlo „živim“ (Vukadinović, 2020), odnosno povećati plodnost tla, što će posljedično imati pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje, problem globalne potrošnje hrane po broju stanovnika te smanjenje emisije onečišćenja okoliša.

### *Mikoriza*

Mikoriza je simbiotska veza između korijena biljke i gljiva. Riječ „mikoriza“ doslovno prevedena znači „gljiva do korijena“ a dolazi od grčkih riječi *mikes* (gljiva) i *rhizos* (korijen), a otkrio ju je poljski botaničar Franciszek Kamiński, 1880. godine. Ona predstavlja simbiotski mehanizam koji obuhvaća uzajamno djelovanje viših biljaka i gljiva u kojem anorganske tvari putuju iz gljive u biljku, a organski spojevi (asimilati) iz biljke u gljivu. Anorganske tvari koje gljive lokalizirane u području korijena prenose biljci su mikro i makro hraniva te voda, a organska tvar koju gljiva dobiva od biljke su ugljikohidrati sintetizirani u procesu fotosinteze. Dakle, u takvoj specifičnoj simbiotskoj zajednici gljive pomažu biljci da brže i efikasnije usvoji vodu i hraniva iz tla, a biljka gljivi omogućuje gotove organske tvari.

Osim važne uloge mikorize u ishrani bilja, ista bitno utječu na biologiju i kemiju tla. U prirodnom okruženju, odnosno u ekološkim uvjetima bez antropogenog utjecaja, mikorize se nalaze u rizosferi u velikim količinama, posebno kod drvenastih kultura, u šumama te kod eukaliptičnih stabala. U takvim okolišnim uvjetima gljive za opskrbu organskim ugljikom u cijelosti ovise o biljkama, uz nekoliko izuzetaka (Brundrett, 1991). Albert Bernard Frank (1885) koji je među prvima otkrio mikorizne gljive smatra da su prve kopnene više biljke u ranom Devonu (prije 400 milijuna godina) imale endofitske asocijacije nalik vezikularno arbuskularnim mikorizama i prije evolucije korijena (Javornik, 2018). Evolucija mikorize je napredovala od endofitske hife do uravnoteženih kolonija gljiva koje su ulazile u simbiozu sa višim biljkama i stvorile međusobnu ovisnost zbog razmjene energije i hranjivih resursa. Pretpostavlja se da su mikorizne gljive bile patogeni koji su inficirali biljke, no s obzirom na izraziti manjak fosfora u biljnom tkivu morale su za svoju dobrobit produžiti svoje nastavke do zemlje i same pribaviti fosfor. Od tada pa sve do danas traje njihovo partnerstvo s drugim biljkama. Tako su i selekcijski procesi uzrokovali morfološku raznolikost korijena s različitim vrstama mikorize. Smith i Read (2008) navode da korijen nije glavni organ kojima kopnene biljke usvajaju hraniva, već su glavni organi upravo mikorize. Hife mikoriznih gljiva povećavaju aktivnu površinu korijena biljke do 1000 puta te na taj način znatno povećavaju volumen tla iz kojeg korijen crpi hranjive tvari. Da bi se hife gljiva izgradile i rasle, potrebno im je manje energije nego što je to potrebno biljci za izgradnju korijenovih dlačica. Rezultat mikorize je bolji rast i razvoj te razmnožavanje. Procjenjuje se da endomikoriza troši između 4 i 20 % ukupnog ugljika fiksiranog tijekom fotosinteze. Od toga 83 % troši sama gljiva, dok se ostatak potroši na pojačani transport tvari te na druge promjene u metabolizmu korijena (Ravnjak, 2015).

S obzirom na afinitet biljke prema stvaranju simbiotskog odnosa sa gljivama, postoje amikotrofne biljke tj. vrste koje nemaju afinitet udruživanja te one koje uspješno uspostavljaju simbiozu – mikotrofne (Novak, 1997). Vrste koje nisu sposobne stvoriti mikorizu su u manjini, a to su kulture koje pripadaju porodicama Brassicaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae te Caryophyllaceae (Menge, 1985). Moguće reakcije biljaka na mikoriznu kolonizaciju variraju od

pozitivnog, preko neutralnog do negativnog (Johnson i sur., 1997), a odnos se može i mijenjati tijekom trajanja simbioze (Smith i Read, 2008). Provedena istraživanja su rezultirala saznanjima da se tretiranjem poljoprivrednih kultura mikoriznim kolonijama postiže znatna ušteda u trudu i vremenu uloženom u uzgoju kultura, utrošku vode, gnojiva te sredstva za zaštitu bilja. Osim što mikorizne gljive luče hormone rasta koji potiču rast i grananje korijena te enzime koji omogućavaju usvajanje minerala iz organskih oblika, proizvode i antibiotike te štite biljke od patogenih gljiva i bakterija u tlu, teških metala i soli (Ivanković, 2016). Više od 90% biljnih vrsta prirodno stvara takav simbiotski odnos koji je moguće primijeniti u šumarstvu, vinogradarstvu, voćarstvu, povrćarstvu, u uzgoju jestivih gljiva, ukrasnog i sobnog bilja te u njezi travnjaka (Ravnjak, 2015).

### Tipovi mikoriza

Prema Smith i Read (2008), razlikuju se sljedeći tipovi mikorize: arbuskularna, arbutoidna, monotropoidna, erikoidna, mikoriza orhideja, ektomikoriza i ektoendomikoriza. S obzirom na zastupljenost i važnost u ekološko poljoprivredi u ovom radu biti će opisani arbuskularni i ekto-mikorizni tipovi mikorize. Arbuskularna mikoriza je najčešći tip mikorize koji se javlja na približno 80% kopnenih biljaka – stablima, grmlju, zeljastim biljkama i travama (Gosling i sur., 2006). Kod arbuskularne mikorize gljive prodiru u stanice primarne kore korijena i tvore nakupine tanko razdijeljenih hifa poznatijih kao arbuskule. Smatra se da su arbuskule mjesta izmjene tvari između biljke domaćina i gljive. Također, ponekad stvaraju i vezikule, organele različitih oblika ograđene membranom koji se nalaze unutar ili izvan stanica. Vezikule obično služe kao spremišne strukture, a kada su u fazi starenja, mogu služiti i za razmnožavanje (Habte, 2000). Jedna od najvažnijih značajki gljiva arbuskularne mikorize jest širok raspon domaćina koji obuhvaća kritosjemenjače iz gotovo svih porodica, a njima je čak kolonizirano i korijenje nekih vodenih biljaka. Također, bujniji rast biljaka u arbuskularnoj mikoriznoj zajednici zabilježen je kod pamuka, kukuruza, pšenice, djeteline, ječma, krumpira, ukrasnih biljaka (Menge, 1985), te povrtnih vrsta iz različitih porodica: Alliaceae (luk, poriluk, češnjak), Apiaceae (mrkva), Asteraceae (salata), Cucurbitaceae (krastavac), Fabaceae (grah, grašak), Solanaceae (rajčica, paprika). Nadalje, simbioza s gljivama arbuskularne mikorize posebno je značajna za vrste poput mrkve, koja ima iznimno kratke korijenove dlačice, kako bi se proširila zona usvajanja hraniva oko korijena (Baum i sur., 2015). Gljive arbuskularne mikorize mogu povećati apsorptivnu površinu korijena domaćina i do 10 puta, a učinkovitost apsorpcije slabo pokretljivih hraniva i do 60 puta (Menge, 1985). Nadalje, navedene gljive sudjeluju u suzbijanju biljnih bolesti i infekcija nematodama. Također, stimuliraju proizvodnju hormona biljkama, povećavaju razinu klorofila u listovima i otpornost biljaka na vodni stres, zaslanjenost, aciditet tla i toksicitet uzrokovan teškim metalima te potpomoći poboljšanje strukture tla (Habte i Osorio, 2001). Glikoprotein glomalin kojeg proizvode snažno je vezivo čija depozicija na čestice tla dovodi do stvaranja i stabilizacije agregata. Bolja struktura tla povećava dostupnost vode u tlu u uvjetima vodnog stresa, te se primjena mikoriznih gljiva može smatrati biološkim poboljšavanjem strukture i drugih značajki tla (Krishnakumar i sur., 2013).

Ektomikorizne gljive uglavnom pripadaju koljenu Basidiomycota (npr. *Amanita* sp, *Boletus edulis*, *Suillus bovinus*, *Xerocomus badius*), no pripadaju im i neke Ascomycote (Tuber, Sclerotinia) (Bücking i sur., 2012). Najvažnija karakteristika ektomikorize je da gljive obavijaju primarnu koru korijena domaćina bez da prodiru u njezine stanice. Stvaraju se mreže hifa između stanica primarne kore poznatije kao Hartigova mrežica, odnosno stvaranje sloja hifa na površini korijena poznatijeg kao plašt ili omotač, koji prekriva korijenje (Gregory, 2006). Infekcija ektomikoriznim gljivama često dovodi do promjena na korijenu koje su vidljive golim okom. Korijenje kolonizirano gljivama deblje je i razgranjenije od nekoloniziranog te drugačije obojeno (Habte,

2000). U skupini ektomikoriznih gljiva postoji velika raznolikost, a što je vidljivo u preferencama prema domaćinu, njihovoj metaboličkoj raznolikosti te različitim reakcijama na okolišne uvjete (Brundrett, 1991). Kad se govori o domaćinima mogu biti drvenaste višegodišnje biljke, drveće i grmlje hladnih, umjerenih borealnih ili planinskih šuma te vrste iz arktičkih alpskih zajednica grmlja. Iako je broj tih vrsta relativno malen (približno 3%), ova skupina obuhvaća biljke velikog globalnog i ekonomskog značaja, zahvaljujući velikoj površini kopna koje pokrivaju kao glavni izvori drvne građe (Gregory, 2006).

**Tablica 1.** Usporedba ektomikorize i arbuskularne mikorize

**Table 1.** Comparison of ectomycorrhiza and arbuscular mycorrhiza

Karakteristike/ Characteristics	Ektomikoriza/ Ectomycorrhiza	Arbuskularna mikoriza/ Arbuscular mycorrhiza
Način života gljive/ Fungal life style	Fakultativni saprofiti/ Facultative saprophyte	Obligatni biofiti/ Obligate biophyte
Strukturne sastavnice/ Structural components	Plašt, Hartigova mreža, vankorjenski micelij/ Mantle, Hartig net, outside the root mycelium	Arbuskule, vezikule/ Arbuscules, vesicles
Prodiranje/ Penetration	Isključivo međustanično/ Exclusively intercellularly	Unutarstanično i međustanično/ Intercellularly and intracellularly
Način usvajanja hraniva/ Nutrient uptake method	Pretežito preko mikorize/ Mycorrhizal pathway	Biljkom i mikorizom/ Plant and mycorrhizal pathway
Doprinos ishrani biljaka/ Contribution to plant nutrition	Značaj u ishrani dušikom, značajni doprinos ishrane fosforom/ Significance in the nitrogen nutrition, Significant contribution to feeding phosphorus	Osobito značajne za ishranu fosforom + bolja apsorpcija metala (Cu i Zn)/ Particularly important for phosphorus nutrition + better metal absorption (Cu and Zn)
Izvor hranjiva gljiva/ Fungal nutrient resources	Učinkovito usvajanje hraniva iz organskih i anorganskih oblika/ Efficient uptake of inorganic and organic nutrient resources	Prevladava usvajanje hraniva iz anorganskog oblika/ Uptake predominately of inorganic nutrient resources

Izvor/Source: Bücking i sur., 2012/Bücking et al., 2012

### *Uloga mikorize u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji*

Konvencionalni, integrirani i ekološki sustavi proizvodnje još od druge polovice 20. stoljeća intenzivno rade na osmišljavanju novih i učinkovitijih rješenja vezanih za gnojdbu tla i prihranu usjeva. Potencijal prinosa usjeva na određenom području u velikoj mjeri određuju ekološki uvjeti određenog područja – klima, prosječne temperature, sunčev intenzitet, vlažnost zraka i tla, fizikalna i kemijska svojstva tla te sadržaj organske tvari u tlu. Međutim, novija istraživanja (Vukadinović, 2020) su pokazala da mikrobiološke sastavnice tla imaju jednako važnu ulogu u pridonosenju plodnosti i vitalnosti tla. Znanstvenici i agronomi diljem svijeta počeli su više pažnje davati upravo mikroorganizmima kao novim faktorima u biljnoj ishrani. Osnovna uloga mikroorganizama je mineralizacija organske tvari, odnosno transformacija organske tvari

i stvaranje humusa. U procesima (de)humifikacije najveća uloga pripada bakterijama i mikoriznim gljivama. Gljive indirektno utječu na plodnost tla sudjelujući u mineralizaciji biljnih i životinjskih ostataka u tlu i razlaganju teže razgradivih minerala, čime značajno doprinose i biljnoj ishrani mikro i makro hranivima. Inokulacija mikoriznim gljivama pospješuje uspostavljanje efektivne simbioze koja doprinosi boljem i pravilnijem razvoju korijenovog sustava (Sušac, 2017), a zbog niza koristi koje biljke imaju u ovoj simbiozi smanjuje se potreba za mineralnom gnojidbom i upotrebom pesticida, što je s ekonomskog i ekološkog aspekta od iznimnog značaja. Inokulacija mikoriznim gljivama najviše se koristi u voćarstvu te u proizvodnji povrća i cvijeća (Sušac, 2017).

Ekološka poljoprivreda može se definirati kao pravac agronomске znanosti i struke kojoj je cilj primjena agrotehničkih mjera koje nastoje poboljšati plodnost tla, povećati sadržaj organske tvari te tretirati biljke i životinje preparatima organskog porijekla. U ekološkoj poljoprivredi nije dozvoljena upotreba pesticida, fungicida, herbicida i zoocida, što je čini specifičnom u rješavanju praktičnih problema. S obzirom na utemeljene ciljeve ekološke poljoprivrede, poljoprivrednici su dužni poštivati zakonske regulative postavljene od strane EU u kojima su točno propisane dopuštene količine nitratnih i fosfatnih spojeva te teških metala u proizvodima. Prema pravilniku o ekološkoj proizvodnji, cilj ekološke poljoprivrede je i očuvanje biološke i krajobrazne raznolikosti, posebice stabilnosti prirodnih staništa, očuvanje samoniklih biljnih vrsta, usklađivanje i pravilno gospodarenje glede izbora usjeva, biljnih vrsta i sorti, višegodišnjih plodoreda, odabira načina obrade tla, gnojidbe i zaštite te jačanja otpornosti na štetočinke. Bitna je pravilna njega tla - čuvanje i povećanje njegove plodnosti i biološke aktivnosti, sadržaja organskih tvari i hraniva te poboljšanje strukture tla (Friganović, 2020).

S druge strane, intenzivna, konvencionalna poljoprivreda desetljećima pronalazi rješenja u praksi koristeći mineralna gnojiva, pesticide, fungicide i herbicide. Iako konvencionalna poljoprivreda postiže planirani prinos po jedinici površine, takav način gospodarenja tlom i općenito ekosustavom se pokazao neodrživim u ekološkom i ekonomskom pogledu. Primjena pesticida, mineralnih gnojiva te česta obrada tla su prouzročili izrazito smanjenje prirodnih populacija korisnih mikroorganizama u tlu, kao i života u tlu uopće (Radić, 2013). Upravo tom spoznajom potaknuti, znanstvenici i poljoprivrednici u novije vrijeme smatraju dobrodošlim razna ekološka rješenja, odnosno povećanu upotrebu i proizvodnju mikrobioloških gnojiva i drugih stimulatora mikroorganizama. Tako danas postoji sve veći interes za upotrebu mikorize kao prirodnog stimulatora. Na taj se način i promiče održiva poljoprivreda koja uzima u obzir široko prihvaćene prednosti simbioze prema prehrambenoj učinkovitosti, vodenoj ravnoteži, biotskim i abiotskim čimbenicima ekosustava te zaštiti bilja koja nema negativne posljedice za okoliš.

Primjena mikoriznih gljiva postaje jedan od elemenata održive, odnosno ekološke proizvodnje. Mikorize se bolje razvijaju u uvjetima u kojima se ne koriste pesticidi i mineralna gnojiva te u uvjetima u kojima je prisutan stalni zeleni pokrov. One pokazuju svoju najveću korist kod primjene organskih gnojiva. U tim se uvjetima osim njih razvijaju i drugi korisni mikroorganizmi. Istraživanja su pokazala da određeni spojevi u pesticidima imaju negativan utjecaj na razvoj mikoriznih gljiva – prekidaju stanično disanje, ometaju izgradnju staničnih stijenki, usporavaju rast vanjske hife te klijavost spora (Trappe i sur., 1984). Nadalje, prema Zahangir (2005), arbuskularno mikorizne gljive se oblinije nalaze u gornjem dijelu tla pa tako obrada tla može biti štetno utjecati na hife, odnosno, učestalo oranje često uzrokuje odvajanje hifa sa korijena biljke. Česta obrada tla negativno utječe na bogatstvo vrstama arbuskularno mikoriznih gljiva, održivost i infektivnost, zbog čega je „no till“ princip ekološke proizvodnje poželjan i nužan. Iz navedenog se zaključuje da principi ekološke poljoprivrede (no till, smanjena gnojidba mineralnim gnojivima) povećavaju opstanak arbuskularno mikoriznih gljiva, što posljedično poboljšava unos fosfora u biljku, povećava sadržaj organske tvari te stabilizaciju agregata tla.

Stabilni agregati su bitni za kvalitetnu aeraciju i pomažu u sprječavanju erozije vjetrom ili vodom (Miller i Jastrow, 1990). Nadalje, arbuskularno mikorizne gljive imaju izravan utjecaj na strukturu tla. Biljka domaćin prenosi čak 20% fiksiranog ugljika na gljivu (Gosling i sur., 2006). Osim toga, navedene gljive proizvode glikoprotein glomalin koji ima jak utjecaj na stabilnost agregata u tlu. Kada je struktura tla poboljšana, korijen i zemljišne gliste lakše prodiru kroz tlo, oborine se lakše infiltriraju, tlo zadržava više vlage i sprječava se ispiranje (Krishnakumar i sur., 2013).

Plodored kao jedna od glavnih praksi u ekološkoj poljoprivredi povoljno djeluje na autohtone ili inokulirane arbuskularno mikorizne gljive zbog toga što nema oranja i zbog toga što se često dodaju mikorizne mahunarke (leguminoze), što rezultira povećanim potencijalom kolonizacije tla mikoriznim gljivama. Međutim, pri planiranju izmjene usjeva potrebno je ustanoviti zahtjeve i kompatibilnosti kultura prema simbiotskom odnosu sa arbuskularno mikoriznim gljivama (Gosling i sur., 2006). Pored mnogo istraživanih pozitivnih utjecaja mikoriznih gljiva na poljoprivredne kulture, provedena su i istraživanja vezana za njihov utjecaj na ekologiju. Još je u prošlom stoljeću utvrđeno (Allen, 1991) da mikorize sudjeluju u ciklusu ugljika u ekosustavima, a samim time direktno utječu i na okolišne promjene kao što je globalno zatopljenje. Mikoriza kao ekološki stimulator, poboljšivač biljne ishrane te kao faktor koji poboljšava kvalitetu i kvantitetu proizvoda, najčešće je primijenjena u ekološkom povrćarstvu i voćarstvu.

#### *Primjena mikorize u ekološkom povrćarstvu*

Primjena mikorize ima veliki značaj u uzgoju presadnica povrća, uzgoju u zaštićenom prostoru te svugdje gdje je cilj izbjeći upotrebu mineralnih gnojiva i pesticida. Za povrćarstvo je najzanimljivija primjena endomikorize, jer je većina povrtnih kultura sposobna uspostaviti takav tip mikorize (Benko, 2015). Arbuskularno mikorizne gljive su poželjne u uzgoju ekološkog povrća. Osim što utječu na raniji i kvalitetniji prinosa, mikorizne gljive luče jake supstance koje imaju izrazito mikrobicidno djelovanje te na taj način suzbijaju razvoj bolesti korijena. Prema istraživanjima Novaka (1997) utvrđen je utjecaj endomikorize na rast presadnica i komponente prinosa pojedinih povrtnih kultura. Autor navodi primijenu dva soja gljive *Glomus etunicatum* na četiri povrtnih kulture: salata (*Lactuca sativa*); rajčica (*Solanum lycopersicum*); celer korijenaš (*Apium graveolens* var. *rapaceum*) i luk (*Allium cepa*), u uvjetima bez gnojidbe, zalijevanja i zaštite od bolesti. Provedenim istraživanjem utvrđena je mikorizna infekcija na svim analiziranim kulturama. Također, navedena mikorizna infekcija odrazila se i veću masu i visinu presadnica. Nadalje, inokulacija je imala pozitivan učinak na komponente prinosa testiranih povrtnih kultura (Novak, 1997). U ekološkom povrćarstvu postoji i mogućnost mikoriziranja pri postupku cijepjenja presadnica, posebno za plodovitog povrća poput rajčice, patlidžana, paprike, dinje, lubenice, krastavca i dr. Također istraživanja provedena na batatu pokazala su dobrobit primjene mikorize na uzgoj istoga (Novak i sur., 2003). Provedenim istraživanjem utvrđeni su veći prinosi inokuliranih biljaka u odnosu na ne inokulirane biljke što još jednom potkrjepljuje tvrdnju da je dobrom uspostavom mikorize moguće ostvariti bolje usvajanje hraniva iz tla, a time i povećanje prinosa (Novak i sur., 2003). Važnost primjene mikorize u ekološkom povrćarstvu prvenstveno se odnosi na povećani prinosa i kvalitetu plodova, bogatiji okus povrća, veću otpornost na sušu i stres, smanjeni rizik od obolijevanja korijena, veću otpornost na štetnike te bolje usvajanje fosfora. Sukladno navedenom, primjena mikorize u povrćarstvu je budućnost ekološkog, regenerativnog i racionalnog sustava proizvodnje.

#### *Primjena mikorize u ekološkom voćarstvu i vinogradarstvu*

U našim krajevima (posebno na Mediteranu) često se nailazi na degradirana tla u kojima je primijećena nepovoljna pH vrijednost, teška glinena tla koja se teško obrađuju te tla sa nedo-

voljno dostupnim hranivima i organskom tvari. Zbog niskog sadržaja minerala u tlu, biljke su podložnije bolestima i štetnicima te teže podnose stres i sušne periode. Također, nedostatak fosfora u tlima je čest problem, a s obzirom da mikoriza povećava sposobnost apsorpcije fosfora, u ekološkom voćarstvu je česta preporuka sadnice inokulirati mikorizom. Usporedno s nekoloniziranim biljkama, mikorizirane biljke bolje usvajaju N, K, Ca, Fe, Mg, S, Cu i Zn kada su ti elementi u deficitu (Saif, 1987). U višegodišnjim nasadima arbuskularne gljive imaju bitnu ulogu u kontekstu zaštite od patogena i nematoda te u borbi protiv korova. Najčešći korovi u voćnjacima su jednogodišnje biljke iz porodice Poaceae. Koloniziranjem korijena voćne kulture postiže se sudjelovanje gljiva u kompeticiji – mikorizirane biljke mogu djelovati antagonistički i inhibitorno na nemikorizirane biljke (trave). Citrusi, trešnja, šljiva, breskva, jabuka, kruška, nektarina, marelica, grožđe, kivi, šipak, smokva i maslina su važne voćne vrste za mediteransko i kontinentalno područje. Korijenje navedenih kultura je prirodno kolonizirano mikoriznim gljivama. Međutim, u područjima lošije kvalitete tla i ograničenim vodnim resursima, poželjna je dodatna inokulacija, odnosno kolonizacija mikoriznim gljivama. Prema istraživanju Ortasa (2018), mnoge biljke, uključujući agrume, pistaciju, trešnje i vinovu lozu ovise o mikorizama za prehranu fosforom. Također utvrđen je učinak nekoliko mikoriznih vrsta na stabla naranče, mandarine i limuna. Inokulacija mikorize značajno je utjecala na povećan unos P i Zn, rani rast korijena prije presađivanja na siromašna tla, otpornost na stres te veći unos hranivih sastojaka od biljaka koje nisu mikorizirane. U Republici Hrvatskoj u novije vrijeme je sve češće primijenjena praksa mikoriziranja sadnica masline (*Olea europaea*) i vinove loze (*Vitis vinifera*) kako bi se što brže oporavile nakon presađivanja te bolje podnosile mediteranske klimatske uvjete. Mlade sadnice masline su osjetljive na gljivične infekcije korijena koje uzrokuju bolesti. S obzirom da su mikorizne gljive kompetitivnije od patogenih gljiva u traženju mjesta infekcije na površini korijena, one lakše inficiraju korijen i time sprječavaju patogene gljive da se nasele. Mikoriza korijenu masline povećava volumen, tj. apsorpcijsku površinu, zbog hifa koje imaju bolju apsorpcijsku moć od korijenovih dlačica (Šeput, 2017). Osim što su mlade kolonizirane biljke otpornije na deficit vode, posljedica mikorizacije je i poboljšana struktura tla (hifama) te izlučeni glomalin, koji je vrlo bitan za vezanje agregata tla, što utječe na smanjivanje stupnja erozije tla, koja predstavlja zaseban problem na mediteranskom području (Radić, 2013). Istraživanja provedena u drugim mediteranskim zemljama pokazala su još konkretnih djelovanja mikorize na maslinu. Khalil i sur. (2020) ukazuju na pozitivan učinak arbuskularno mikoriznih gljiva na indeks rasta biljke, povećanje sadržaja klorofila, akumulaciju prolina, ukupne ugljikohidrate i aktivnost katalaze kod koloniziranih biljaka u odnosu na nekolonizirane. Također, biljke inokulirane arbuskularnim gljivama pokazale su veći vodni potencijal lišća u usporedbi s biljkama koje nisu inokulirane.

Mikoriza pozitivno djeluje na vinovu lozu slično kao i na voćne vrste. Karoglan i sur. (2015) godine proveli su istraživanje na vinovoj lozi gdje su utvrđeni brojni pozitivni učinci uspostavljene simbioze između gljive i biljke: povećanje prosječne mase bobice i grozda, povećanje broja bobica u grozdu i broja grozdova po trsu, što je rezultiralo i povećanjem prinosa po trsu. Također, mikoriza je utjecala i na mehanički sastav bobice, odnosno na povećanje udjela mesa, a smanjenje udjela kožice i sjemenki u grozdu. Povećao se i sadržaj vinske kiseline a smanjio sadržaj jabučne (Novak, 2017). Nadalje, istraživanje u kojima su mikorizne gljive uklonjene iz tla pokazalo je da rast i razvoj vinove loze uvelike ovisi o simbiotskoj zajednici s mikoriznom gljivom (Karoglan i sur., 2015). Uobičajena praksa u komercijalnom gospodarstvu vinogradima često ima vrlo negativan utjecaj na biološku aktivnost tla i mikoriznu simbiozu te smanjuje broj autohtonih mikoriznih gljiva. Stoga se u ekološkom uzgoju vinove loze mikoriza svakako može smatrati „biološkom alternativom“ s obzirom na to da je kompatibilnost biljke i mikoriznih gljiva zadovoljavajuća. Primjena mikoriznog cjepiva u višegodišnjim nasadima ima i ekonomski

značaj, jer je mikorizirana biljka otpornija na sušu, razne bolesti i patogenost korijenovog sustava. Jednom nacijepjeni živi micelij u nasadima ostaje tokom njihovog cijelog života. Osim pozitivnog utjecaja načela ekološke poljoprivrede na mikorizu, primjetne su i ekonomske dobrobiti, odnosno velike uštede poljoprivrednika, iz jednostavnog razloga ne korištenja sredstava za zaštitu bilja i gnojiva.

## Zaključak

Prekomjerna upotreba mineralnih gnojiva i pesticida u intenzivnoj poljoprivredi pokazala se neodrživom u praktičnoj primjeni budući da loše utječe na stvaranje i održavanje organske tvari u tlu, na mikroorganizme i druge korisne žive organizme u tlu. Shodno mnogim saznanjima o utjecaju pesticida i drugih kemikalija na ljudsko zdravlje, interes potrošača u razvijenim zemljama za ekološki proizvedenom hranom je posljednjih godina u znatnom porastu. U primarnoj ekološkoj proizvodnji cilj je minimizirati svaki rizik neadekvatne upotrebe gnojiva i pesticida. Ekološka poljoprivreda zahtijeva određene mjere u gospodarenju tlom, vodom i organskom tvari. Već poznate mjere su plodored, malčiranje, zelena gnojdba te upotreba organskog gnojiva i komposta u svrhu povećanja sadržaja organske tvari u tlu. Mikroorganizmi, gljive u tlu su bitan faktor u procesu mineralizacije organske tvari. Mikoriza je u većine biljaka bitna za rast i razvoj te je postala prihvaćenom novom tehnologijom u hortikulturi i ekološkoj poljoprivredi kojoj je primarni cilj poboljšati biljnu ishranu te očuvati ekosustav. Specifično djelovanje mikorize ima niz pogodnosti za kulturu koja se uzgaja. Najuočienija dobrobit uspostavljene simbioze je usvajanje teško dostupne vode i hranivih tvari preko hifa gljiva koje prodiru dublje u pore tla gdje korijenove dlačice ne mogu doći. Ostale prednosti mikorize su: zdraviji i gušći korijenski sastav biljke, veći i kvalitetniji prinos, veća otpornost na stres suše i soli te smanjena potreba za navodnjavanjem, gnojdbom i zaštitom od patogena. Osim što mikorizne gljive imaju brojne pozitivne učinke na poljoprivrednu kulturu, indirektno utječu na očuvanje ekosustava aktivno sudjelujući u ugljičnom ciklusu čime usporavaju globalno zatopljenje, što ih čini bitnim i neizostavnim čimbenikom u ekološkoj poljoprivredi.

## Literatura

- Allen, M.F. (1991) *The Ecology of Mycorrhizae*. London: Cambridge University Press.
- Baum, C., Tohlamy, W.E., Gruda, N. (2015) Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulture*, 187, 131-141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Benko, B. (2015) Mikoriza i cijepjenje – povećan prinos povrća. *Gospodarski list*, 13/2015.
- Brundrett, M. (1991) Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 21, 171-313. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60099-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60099-9)
- Bücking, H., Liepold, E., Ambilwade, P. (2012) *Plant Science: The Role of the Mycorrhizal Symbiosis in Nutrient Uptake of Plants and the Regulatory Mechanisms Underlying These Transport Processes*. London: IntechOpen. DOI: 10.5772/52570.
- Fričanović, T. (2020) *Mogućnosti primjene mikorize u ekološkoj poljoprivredi*. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.
- Gregory, P.J. (2006) *Plant roots: growth, activity and interaction with soils*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. DOI: 10.1093/aob/mcm099
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., Bending, G. (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 17-35. DOI: <https://10.1016/j.agee.2005.09.009>
- Habte, M., Osorio, N.W. (2001) *Arbuscular mycorrhizas: producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum*. Manoa: University of Hawaii.
- Habte, M. (2000) *Mycorrhizal fungi and plant nutrition*. In: J.A. Silva, R. Uchida, eds. (2000) Plant nutrient management in Hawaii's soils, approaches for tropical and subtropical agriculture. College of tropical agriculture and human resources, University of Hawaii at Manoa.
- Ivanković, M. (2016) *Korištenje benefičnih mikroorganizama kao zamjena za kemijske pesticide i mineralna gnojiva*. Diplomski rad. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera.
- Javornik, T. (2018) *Utjecaj arbuskularne mikorize na morfološke karakteristike korijena bosiljka*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.
- Johnson, N.C., Graham, J.H., Smith, F.A. (1997) Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism – parasitism continuum. *New Phytologist*, 135, 575-585. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00729.x>
- Karoglan, M., Osrečak, M., Andabaka, Ž., Stupić, D., Kozina, B., Kristof, E., Pavlešić, T. (2015) Utjecaj mikorize na prinos i mehanički sastav grozda cv. Traminac (*Vitis vinifera* L.). U: Pospišil, M, ur. *Zbornik radova 50. hrvatskog i 10. međunarod-*



nog simpozija agronoma. Opatija, 16-20.02.2015. Zagreb: Sveučilište u Zarebu, Agronomski fakultet, 530-533.

Khalil, H.A., El-Ansary, D.O. (2020) Morphological, physiological and anatomical responses of two olive cultivars to deficit irrigation and mycorrhizal inoculation. *European Journal of Horticultural Science*, 85, 51-62. DOI: 10.17660/eJHS.2020/85.1.6

Krishnakumar, S., Balakrishnan, N., Muthukrishnan, R., Kumar, S.R. (2013) Myth and mystery of soil mycorrhiza: a review. *African Journal of Agricultural Research*, 8(38), 4706-4717. DOI:10.5897/AJAR2013.7490

Menge, J.A. (1985) *Mycorrhiza Agriculture Technologies*. In: C. Elfring, ed. Innovative biological technologies for lesser developed countries. Workshop Proceedings, 185-203.

Miller, R., Jastrow, J. (1990) Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry*, 22, 579-584.

Mukerji, K.G., Chamola, B.P., Singh, J. (2000) *Mycorrhizal Biology*. New York: Kluwer Academic, Plenum Publishers.

Novak, B. (1997) *Učinkovitost endomikorize na neke povrtne kulture*. Doktorski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.

Novak, B., Žutić, I., Toth, N. (2003) Utjecaj mikorize i različito obojenih PE filmova na prinos slatkog krumpira – batata (*Ipomea batatas* L.). *Zbornik sažetaka 38 znanstvenog skupa hrvatski agronoma. Opatija, 2003*: Zagreb: Sveučilište u Zarebu, Agronomski fakultet, 1-3.

Novak, K. (2017) *Utjecaj ektomikorize na mehanički i kemijski sastav grožđa cv. Syrah (Vitis Vinifera L.)*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.

Ortas, I. (2018) Role of mycorrhizae on mineral nutrition of fruit trees. *Acta Horticulturae*, 1217, 271-284. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1217.34

Radić, T. (2013) *Budućnost je u mikorizi, skrivenom životu masline*. Institut za jadranske kulture u Splitu.

Ravnjak, B. (2015) *Primjena mikoriznih gljiva u poljoprivrednoj proizvodnji*. Diplomski rad. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera.

Saif, S.R. (1987) Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant Soil*, 97, 25-35. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02149820>

Smith, S.E., Read, D.J. (2008) *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd edition. London: Academic.

Sušac, I. (2017) *Značaj endomikoriznih gljiva u ishrani biljaka*. Završni rad. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera.

Šeput, J. (2017) *Utjecaj mikoriznih gljiva na rast i razvoj voćarskih kultura*. Diplomski rad. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera.

Trappe, J.M., Molina, R., Castellano, M. (1984) Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides. *Annual Review of Phytopathology*, 22, 231-259.

Vukadinović, V. (2020) *Budućnost i perspektiva ishrane bilja*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek.

Zahangir, K. (2005) Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Science*, 85, 23-29.

Zrnić, M., Širić, I. (2017) Primjena mikorize u hortikulturi. *Journal of Central European Agriculture*, 18(3), 706-732.

DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/18.3.1945>

Prispjelo/Received: 10.5.2021.

Prihvaćeno/Accepted: 11.6.2021.

Review paper

## Possibilities of application of mycorrhizal fungi in organic agriculture

### Abstract

*Mycorrhiza represents a symbiosis between the fungus and the plant whereby the fungus receives organic matter synthesised through photosynthesis from the plant, and the plant, through the fungus hyphae easily absorbs water and inaccessible nutrients. The use of mycorrhiza in agriculture has many advantages: it facilitates the cultivation of plants in the case of unsuitable soil, it improves plant nutrition and mineralization of organic matter. It also improves the utilization of phosphorus and nitrogen, resistance of crops to transplant, drought and salt stress, heavy metals and pathogens in soil and, finally it increases yield and quality of the crops. The application of mycorrhiza in organic farming is increasingly in today's practice, especially in the production of fruit vegetables, olive growing and viticulture. Arbuscular mycorrhizal fungi, that are believed to be able to replace fertilizers and biocides which are not allowed in organic systems, have a great potential for application in organic farming. In addition to maintaining or improving soil fertility by using mushrooms as a biofertilizer, using mycorrhiza in organic food production is promoted, together with a comprehensive systematic approach to agriculture, which encourages continuous innovation on farms, for the purpose of environmental, social and economic well-being. The application of mycorrhiza in all directions of organic production has great potential in the future in the Republic of Croatia and worldwide.*

**Keywords:** mycorrhiza, organic agriculture, symbiosis, sustainable agriculture