

# Bakterijski fertilizacijski biopreparati

---

Jurić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:951885>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-09**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Ivan Jurić

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**BAKTERIJSKI FERTILIZACIJSKI BIOPREPARATI**

Diplomski rad

**Osijek, 2022.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Ivan Jurić

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**BAKTERIJSKI FERTILIZACIJSKI BIOPREPARATI**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

prof. dr. sc. Brigita Popović, predsjednik

prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić, mentor

prof. dr. sc. Irena Rapčan, član

**Osijek, 2022.**

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Pregled literature.....	2
2.1. Mikrobiološki preparati.....	2
2.2. Mikroorganizmi u kruženju dušika.....	5
2.2.1. Simbiozni fiksatori dušika.....	8
2.2.2. Slobodni fiksatori dušika.....	10
2.2.2.1. Opća svojstva roda <i>Azotobacter</i> .....	11
2.2.3. Asocijativni fiksatori dušika.....	12
2.2.3.1. Opća svojstva roda <i>Azospirillum</i> .....	13
2.3. Mikroorganizmi u kruženju fosfora.....	15
3. Priprema mikrobioloških preparata.....	18
3.1. Formulacija mikrobioloških preparata.....	19
3.2. Bioinkapsulacija.....	20
4. Zaključak.....	23
5. Popis literature.....	24
6. Sažetak.....	29
7. Summary.....	30
8. Popis slika.....	31
9. Popis tablica.....	32

Temeljna dokumentacijska kartica

Basic documentation card

# 1. UVOD

Kako bi se poboljšao rast i razvoj biljaka koje čine jednu od ekoloških osnova planeta Zemlje, a također i jednu od osnova prehrane ljudi, u suvremenom se dobu koriste različiti preparati i proizvodi s ciljem poboljšavanja zdravstvenog statusa biljaka i njihove zaštite od različitih bolesti i štetočina. No, u današnjici su sve dostupniji kemijski preparati koji često mogu biti toksični za biljke, no također i toksični za okoliš, životinje, kao i za ljude. Također, opetovanim korištenjem različitih proizvoda raste otpornost štetnih organizama, a nusprodukti umjetnih pesticida, insekticida i drugih kemijskih sredstava ostaju u tlu i u biljkama te imaju dokazano štetan učinak na ljude, biljke, životinje i tlo.

Iz ovog su razloga kao tema ovog rada odabrani bakterijski fertilizacijski preparati, koji predstavljaju organski i prirodan način poboljšavanja kvalitete biljaka i pozitivnog utjecanja na rast i razvoj biljaka. Bakterijski fertilizacijski preparati podrazumijevaju korištenje mikroorganizama i nusprodukata njihovog metabolizma kako bi se poboljšala opskrba biljaka nutrijentima. Mikroorganizmi koji se koriste kao fertilizacijski preparati nemaju štetno djelovanje na ljude i druge žive organizme, kao ni na okoliš, što predstavlja iznimnu prednost i razlog za njihovo proučavanje i praktično korištenje.

Rad se sastoji od pet poglavlja. Prvo poglavlje je uvod u kojem se iznosi problematika i cilj rada. Drugo poglavlje iznosi činjenice o mikrobiološkim preparatima, mikroorganizmima koji sudjeluju u razgradnji organske tvari i mikroorganizmima koji sudjeluju u kruženju dušika. Poblize se definiraju simbiozni fiksatori dušika i rodovi bakterija koji sudjeluju u tom procesu, slobodni fiksatori dušika i svojstva roda *Azotobacter*, kao i asocijativni fiksatori dušika i svojstva roda *Azospirillum*. Također se definiraju i mikroorganizmi koji sudjeluju u kruženju fosfora. U trećem se poglavlju obrađuje priprema mikrobioloških preparata i različiti načini formulacije mikrobioloških preparata, a također se fokusira i na novu metodu bioinkapsulacije kao načina formulacije mikrobioloških preparata. Četvrto poglavlje je zaključak, nakon kojeg slijedi popis literature, sažetak, popis slika i popis tablica.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Mikrobiološki preparati

Mikrobiološki preparati predstavljaju prirodan način opskrbe biljaka različitim tvarima iz tla, te se mogu smatrati prirodnim načinom fertilizacije biljaka. Mikrobiološki se preparati još nazivaju i biološkim fertilizatorima, te predstavljaju žive mikroorganizme koji poboljšavaju ishranu biljaka putem ili mobilizacije ili povećavanja dostupnosti hranjivih tvari u tlu (Mitter i sur., 2021.). Mikrobiološki preparati značajni su po tome što su to živi mikrobiološki organizmi, najčešće bakterije i gljive, koji potječu iz prirode te koje djeluju sinergijski na rast i razvitak kultura koje se uzgajaju. Mikrobiološki preparati također pomažu i u razvijanju biljaka u stresnim uvjetima, a poznati su i po stimulaciji prirodnih procesa kao i aktivaciji obrambenih mehanizama biljaka te njihove otpornosti na različite bolesti i štetočine (Perkunić, 2021.).

Mikrobiološki preparati, nadalje, djeluju tako da povećavaju mikrobiološku aktivnost u tlu na koje su primijenjeni, djeluju pozitivno na razlaganje organskih ostataka u tlu te također pomažu u aktivaciji hranjivih tvari u tlu (Perkunić, 2021.). Mikrobiološki preparati također imaju ulogu u povećavanju dostupnosti i mobilnosti makroelemenata i mikroelemenata u tlu, te će o tome biti govora u daljnjem tekstu.

Mikrobiološki preparati mogu se podijeliti na:

- Mikrobiološke fungicide (Slika 1.), koji se mogu definirati kao pripravci na bazi mikrogljivica, aktinomiceta i bakterija koji djeluju negativno na fitopatogene gljivice (Topolovec-Pintarić i Cvjetković, 2003.)



Slika 1. *Trichoderma harzianum*, najpoznatiji biofungicid

Izvor: <https://www.adelaide.edu.au/mycology/fungal-descriptions-and-antifungal-susceptibility/hyphomycetes-conidial-moulds/trichoderma>  
30.5.2022.

- Mikrobiološke poboljšivače tla ili gnojiva, odnosno biofertilizatore, koji obuhvaćaju različite korisne predstavnike bakterija, poput fiksatora dušika, cijanobakterija i gljiva poput mikoriza (Lončarić i Karalić, 2015.), te se s bakterijskim predstavnicima ovaj rad i bavi.
- Mikrobiološke insekticide, koji sadržavaju selekcionirane žive organizme, a koji uzrokuju bolesti štetnih kukaca i na ovaj način ih suzbijaju (Ševar i sur., 2015.).

Mikrobiološki fertilizacijski preparati predstavljaju ekološki prihvatljiv način fertilizacije tla putem različitih bakterija poput rhizobakterija, gljivica, cijanobakterija, mikoriza, te je glavna funkcija navedenih mikroorganizama poboljšavanje apsorpcije hranjivih tvari, rast biljaka i poboljšavanje tolerancije biljaka na abiotički i biotički stres (Bhardwaj i sur., 2014.).

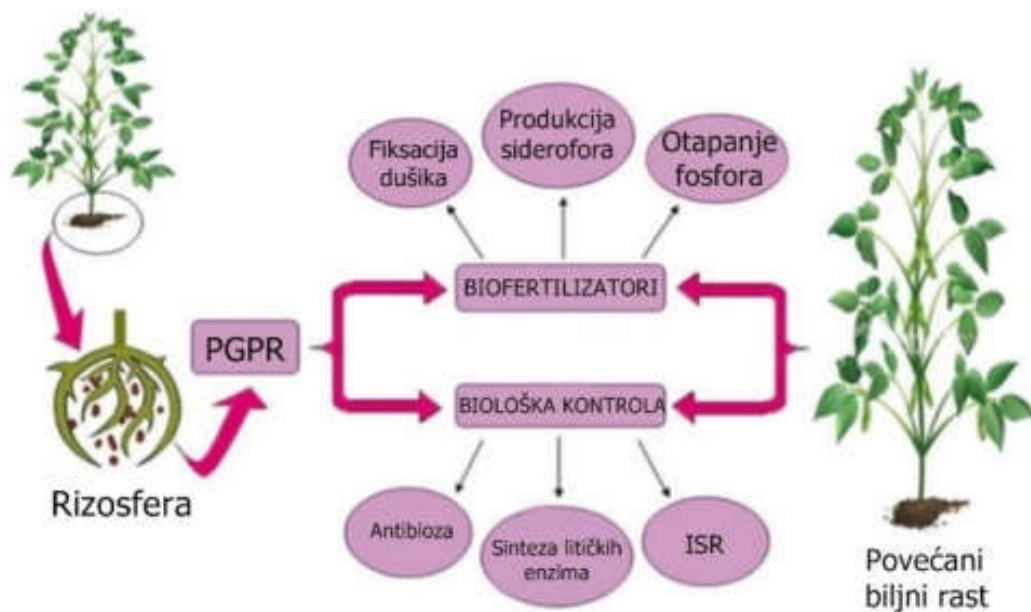
Postoje četiri različita načina interakcije između biofertilizatora i biljaka (Gray i Smith, 2005.), te se ovi načini interakcije mogu podijeliti na to koliko su mikroorganizmi u doticaju s korijenom biljke. Samim time se, po istim autorima, mogu navesti i četiri vrste mikroorganizama koji djeluju kao biofertilizatori:

- Mikroorganizmi koji žive u tlu blizu korijena i koriste se metabolitima dušika i ugljika koje stvara korijen, te čine rizosferu
- Mikroorganizmi koji koloniziraju rizosferu i čine površinu tla
- Mikroorganizmi koji koloniziraju tkivo korijena i nastanjuju se u međustaničnom prostoru
- Mikroorganizmi koji žive unutar stanica biljke u specijaliziranim strukturama korijena.

Mikroorganizmi koje se upotrebljavaju u fertilizacijskim preparatima sudjeluju u procesima transformacije organskih ostataka, u procesima kruženja dušika, fosfora i predstavljaju različite predstavnike rodove bakterija i gljiva koji će biti navedeni. Dakle, mikrobiološki se preparati mogu koristiti i u svrhu povećavanja plodnosti određenog tla. Unošenjem mikroorganizama u tlo nastoji se intenzivirati i ubrzati procesa transformacije organske tvari (Hajnal Jafari i sur., 2020.) kako bi se biljkama pružila mogućnost lakše i brže opskrbe hranjivim tvarima.

Količina biljaka koja se može zasaditi na određenom tlu limitirana je količinom glavnih nutrijenata u tlu, od kojih su za biljke najvažniji dušik (N), fosfor (P), kalij (K), željezo (Fe) i tako dalje. Buscot i Varma (2010.) navode kako su mikroorganizmi koji djeluju tako da razgrađuju organsku tvar ključni u biokemijskim ciklusima elemenata na Zemlji. Biofertilizatori su industrijski proizvodi bazirani na kultiviranim mikroorganizmima koji su izolirani iz tla ili rizosfere biljaka i koji su dokazano sposobni modificirati i poboljšavati rast i razvoj biljaka kroz mnogo različitih procesa i aktivnosti (OECD, 2015.). Važnost biofertilizacija prikazana je na Slici 2.





Slika 2. Prikaz važnih mehanizama mikroorganizama koji služe fertilizaciji biljaka

Izvor: Kumar, A., Prakash, A., Narain Johri, B. (2017.): *Bacillus* as PGPR in Crop Ecosystem.

Dva najvažnija procesa koja obavljaju mikroorganizmi kako bi oslobodili hranjive tvari u tlu su humifikacija, kojom nastaje humus koji predstavlja složene organske spojeve nastale procesom nastajanja jednostavnih kemijskih spojeva tijekom humifikacije, te mineralizacija, koju karakterizira razlaganje organskih tvari i humusa do jednostavnih elemenata te se u ovom procesu događa oslobađanje ugljika, sumpora, fosfora, dušika i ostalih elemenata. U ovim procesima učestvuju različiti predstavnici aerobnih i anaerobnih bakterija i gljiva. Mikroorganizmi u ova dva iznimno važna prirodna procesa imaju ulogu omogućavanja kruženja biljnih tvari, stvaranja korisne strukture humusa te čuvanja stabilnosti tla i zemljišta.

## 2.2. Mikroorganizmi u kruženju dušika

Kruženje dušika predstavlja proces koji se sastoji od nekoliko faza, a to su: asimilacija, amonifikacija, nitrifikaciju, denitrifikaciju i fiksaciju dušika. Zadnje četiri se dešavaju pod utjecajem mikroorganizama tla. Organske tvari koje sadržavaju dušik transformiraju se do mineralnih oblika koje biljka može usvojiti. Najveću pažnju znanstvenika zaokuplja biološka

fiksacija dušika. Biološka fiksacija dušika predstavlja proces poznat kao izuzetno značajan u održivoj poljoprivrednoj proizvodnji koja se temelji na smanjenju primjene dušičnih gnojiva i sredstava za zaštitu bilja, s naglaskom na iskorištavanje prirodnih resursa i obnovljivih izvora energije (Komesarović i sur., 2007.).

Fiksacija dušika od strane različitih mikrobioorganizama samo je dio ciklusa kruženja dušika u prirodi. Kruženje dušika u prirodi predstavlja kretanje dušika između tla i atmosfere, te se tijekom ovog procesa dušik u plinovitom stanju pretvara u organske tvari, a organske se tvari pretvaraju u dušik koji se nalazi u prirodi.

Važno je spomenuti kako svi organizmi koji imaju mogućnost fiksiranja dušika, to jest pretvaranja dušika iz atmosfere u oblik kojeg biljke mogu iskoristiti, pripadaju prokariotima (Zahran, 1999.). Prokarioti predstavljaju jednostanične organizme jednostavne stanične građe, te su veoma raznoliki i pojavljuju se u prirodi u različitim oblicima. Ovaj proces je ograničen na cijanobakterije, arheobakterije i asimbiotske, asocijativne i simbiozne bakterije fiksatore dušika. U Tablici 1. prikazani su neki od mikroorganizama koji pomažu u opskrbi različitih biljaka dušikom.

MIKROORGANIZMI	ODNOS S BILJKOM	KOLIČINA VEZANOG N GODIŠNJE (kg/ha)	BILJKA DOMAĆIN
<i>Bradirhizobium japonicum</i> <i>B. elkanii</i>	simbioza	180	Soja
<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	simbioza	50-120	Grašak
<i>R. meliloti</i> <i>Sinorhizobium meliloti</i>	simbioza	50-460	Lucerna ili plava djetelina
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>trifoli</i>	simbioza	45-670	Djetelina
<i>R.leguminosarum</i> bv. <i>phaesoli</i>	simbioza	25-120	Grah
<i>Frankia</i> spp.	simbioza	2-300	Fam.Betulaceae, Rosaceae, Myricaceae, Rhamnaceae i dr
<i>Azotobacter</i> spp. <i>Azospirillum</i> spp., <i>Derxia</i> spp. <i>Beijerinckia</i> spp.	asocijativna	20-100	Kukuruz, šećerna repa, paprika, rajčica i sl.

Tablica 1. Mikroorganizmi koji pomažu u opskrbi biljaka dušikom

Izvor: Hajnal Jafari i sur.(2020.): Proizvodnja i primena biopreparata

### 2.2.1. Simbiozni fiksatori dušika

Najučinkovitiji fiksatori dušika funkcioniraju po principu uspostavljanja simbioze s višim biljkama (Mylona i sur., 1995.). Simbiotska fiksacija dušika je najznačajniji oblik fiksacije dušika. Tate (1995.) navodi kako simbiotska fiksacija dušika predstavlja najvažniji izvor dušika koji je fiksiran u cjelokupnom kopnenom sustavu biljaka, a također je odgovorna i za polovicu fiksiranog dušika koji potječe iz bioloških izvora. Postoje podaci da se svake godine putem bakterija roda *Rhizobium* fiksira od 200 do 300 kilograma dušika po hektaru (Zahran, 1999.). U Tablici 2. prikazani su prosječne količine dušika fiksiranog putem simbiotske fiksacije.

Fiksacija dušika u kg/ha godišnje	
Djetelina	101-146
<i>Vicia sativa</i>	50.5-146
Grahorice	28-50.5
Soja	50.5-146

Tablica 2. Fiksacija dušika u kg/ha u godinu dana kod pojedinih biljaka koje su u simbiozi sa simbiotskim fiksatorima dušika

Izvor: <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet39.pdf> 30.5.2022.

Fox i sur. (2007.) navode kako se simbiotska fiksacija dušika bazira na izmjenjivanju kemijskih signala između biljke koja predstavlja domaćina i bakterija u tlu. Simbiotski odnos bakterija i biljke nastaje putem međusobnog prepoznavanja bakterije i biljke, a zatim slijedi infekcija biljaka bakterijama. Ova infekcija kao rezultat ima razvijanje kvržica na sustavu korijena biljaka, te se u njima odvijaju procesi simbiotske fiksacije dušika. Fiksacija dušika zahtijeva aktivnost enzima nitrogenaze koji djeluje kao katalizator u procesu redukcije molekule dušika i njegove promjene u amonijak i osigurava za to potrebnu energiju i elektrone (Postgate, 1982.).

Biljke iz porodice *Leguminosae* kroz proizvode fotosinteze omogućuju opskrbljivanje bakterija ugljikohidrata, a bakterije biljke iz ove porodice opskrbljuju dušikom koji je najčešće u obliku amonijaka. Na ovom principu funkcionira simbioza biljaka koja je obostrano korisna te koja na

kraju rezultira i fiksacijom dušika. Kvržice koje se formiraju na korijenju imaju takvu strukturu koja omogućuje izmjenu hranjivih tvari između oba aktera simbioze (Mylona i sur., 1995.).

Za simbioznu fiksaciju dušika najznačajnije su bakterije roda *Rhizobium*, koje se nalaze u simbiozi s mahunarkama (Rai, 2006.), a također i bakterije rodova *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium* i *Mesorhizobium* (Topol i Kanižai Šarić, 2013.) Također su značajne i bakterije roda *Frankia* koje se formiraju u simbiozi s biljkama dvosupnicama, to jest aktinorhizalnim biljkama, te bakterije roda *Azospirillum* o kojima će biti govora u daljnjem tekstu.

Bakterije roda *Rhizobium* predstavljaju mikroorganizme koji su u interakciji s mahunarkama, te na njima formiraju kvržice na korijenju koje omogućuju simbioznu fiksaciju dušika (Beringer i sur., 1979.). Mahunarke omogućuju nastajanje velikih populacija bakterija roda *Rhizobium*. Kod bakterija ovog roda značajno je to što, kada uđu u simbiozu s biljkom, morfološki mijenjaju svoj oblik tako da formiraju bakterioide, to jest stanice bakterija koje imaju nepravilan oblik i u pravilu su veće od nepromijenjenih bakterija, a također imaju i promijenjene stanične stijenke (Beringer i sur., 1979.). Bakterije roda *Rhizobium* sintetiziraju enzim nitrogenazu putem koje se fiksira dušik u reakciji s leghemoglobinom. Primjer kvržica na korijenju koje formiraju bakterije roda *Rhizobium* prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Kvržice na korijenju biljke nastale u simbiozi s bakterijama roda *Rhizobium*

Izvor: <https://www.micropia.nl/en/discover/microbiology/rhizobium/> 30.5.2022.

Bakterije roda *Frankia* izvršavaju fiksaciju dušika u svojim vezikulama, a također i u svojim sporama (Sellstedt i Richau, 2013.). Ove se bakterije najčešće nalaze u simbiozi s biljkama dvosupnicama poput *Fagales* (na primjer *Betulaceae*, *Casuarinaceae*, *Myricaceae*), to jest bukvolikih biljaka, *Cucurbitales* (na primjer *Datisceae*, *Coriariaceae*), to jest tikvovki i *Rosales* (na primjer *Rosaceae*, *Elaeagnaceae*, *Rhamnaceae*), to jest biljaka poput ruža, brijesta i tako dalje (Sellstedt i Richau, 2013.). Primjer formacija kvržica od strane bakterija *Frankia* nalazi se na Slici 4.



Slika 4. Kvržice koje formiraju bakterije roda *Frankia*

Izvor: <https://bladmineerders.nl/parasites/bacteria/actinobacteria/actinomycetales/frankia/frankia-alni/> 30.5.2022.

### 2.2.2. Slobodni fiksatori dušika

Slobodna fiksacija dušika još se naziva i asimbioznom fiksacijom dušika. Slobodna fiksacija dušika zasniva se na tome da fiksatori dušika, to jest mikroorganizmi, prebivaju u tlu i vodi, te imaju sposobnost fiksirati elementarni dušik bez da biljka ili drugi mikroorganizmi na ikakav način izravno utječu na to. Energija za fiksaciju dušika dobivena je iz organskih tvari tla, te je za ovaj način fiksacije dušika značajno da je taj dušik raspoloživ svim biljkama (Spasenić,

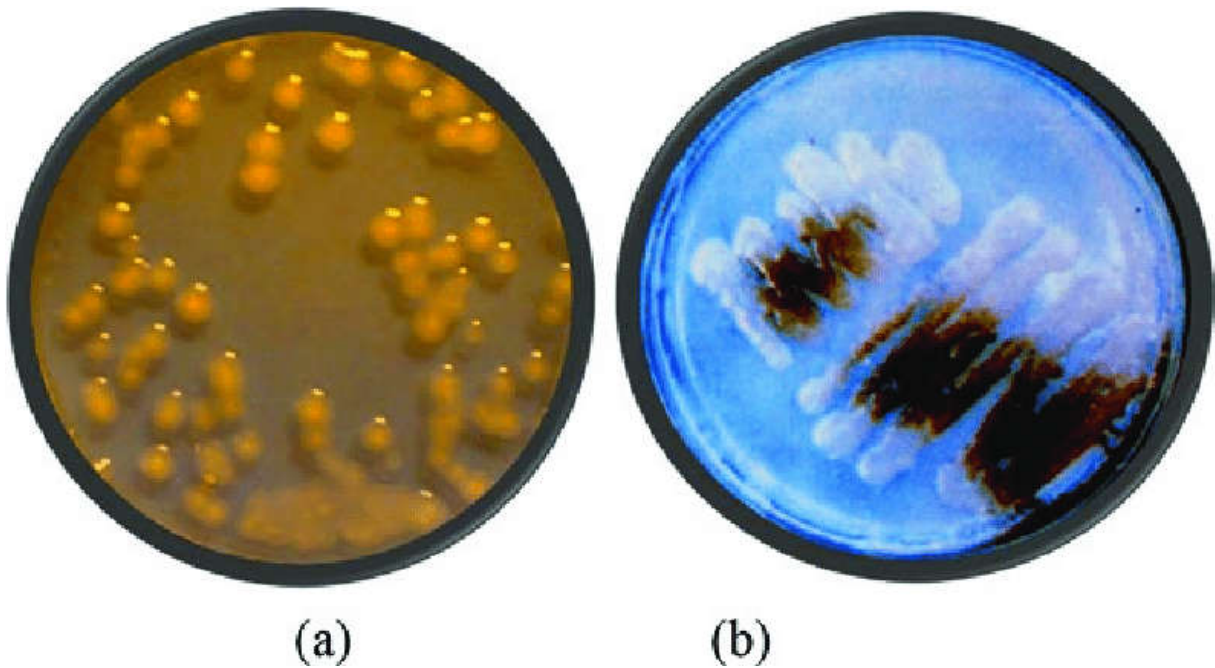
2018.). Slobodnu fiksaciju dušika najčešće obavljaju bakterije roda *Azotobacter*, *Bacillus* i *Clostridium*, no također ju mogu obavljati i bakterije iz rodova slobodno živućih bakterija i cijanobakterija, te ovi mikroorganizmi mogu biti i aerobni i anaerobni.

#### 2.2.2.1. Opća svojstva roda *Azotobacter*

*Azotobacter* predstavlja rod korisnih bakterija koje se mogu pronaći u neutralnim i lužnatim tlima, kao i u vodenim podnebljima, a također ih se može pronaći i u okolišu nekih biljaka (Ravnjak, 2016.). *Azotobacter* bakterije sposobne su proizvoditi proteine koje štite nitrogenaze od naglog stresa koji je uzrokovan kisikom. *Azotobacter* bakterije također mogu sintetizirati tri nitrogenaze (Ravnjak, 2016.). Za ovaj rod bakterija značajno je da mogu poprimiti različite oblike koji su prikazani na Slici 6. i koji se mogu opisati kao (Ravnjak, 2016.):

- Uspavane stanice ili ciste koje imaju okrugli oblik i nisu metabolički aktivne
- Kratki tupi štapići koji imaju dimenzije  $2 \times 4 \mu\text{m}$
- Sitni tupi štapići ili okrugle stanice koje su promjera manjeg od  $1 \mu\text{m}$  te se pojavljuju u parovima
- Veće stanice koje imaju nepravilan vlaknasti oblik.

*Azotobacter* bakterije uz ostale mikroorganizme imaju iznimno važnu ulogu u različitim ekosustavima upravo zbog njihove funkcije fiksacije dušika koji na taj način postaje dostupan biljkama koje ga tada mogu koristiti. *Azotobacter* pretvara dušik u amonijak tijekom prije spomenutog procesa fiksacije dušika, te se amonijak potom pretvara u proteine.



Slika 5. Kolonije roda *Azotobacter* bakterije

Izvor: Dar, S. A., Bhat, R. A., Dervash, M. A., Dar, Z. A., Dar, G. H. (2020.): *Azotobacter* as biofertilizer for sustainable soil and plant health under saline environmental conditions. *Microbiota and Biofertilizers*, 231–254.

Prisutnost bakterija roda *Azotobacter* signalizira da je zemlja u tom području plodna i obrađivana, jer se bakterije ovog roda ne mogu pronaći ni u šumskim ni u toksičnim zemljištima (Narula, 2000.). U obrađivanom se zemljištu može pronaći od nekoliko tisuća do nekoliko desetaka tisuća *Azotobacter* bakterija po gramu zemljišta (Narula, 2000.). Po hektaru se u jednoj godini pomoću ovih bakterija može vezati od 20 do 40 kilograma dušika iz zraka, te se ova iznimna mogućnost bakterija roda *Azotobacter*, a pogotovo *Azotobacter chroococcum* primjenjuje i u poljoprivredi (Narula, 2000.). Još neke važne bakterije iz roda *Azotobacter* su *Azotobacter vinelandii*, *Azotobacter beijerinckii* i *Azotobacter paspali* (Aasfar i sur., 2021.).

### 2.2.3. Asocijativni fiksatori dušika

Asocijativna fiksacija dušika se može definirati kao prijelaz između simbiozne i slobodne fiksacije dušika, to jest asimbiozne fiksacije dušika putem mikroorganizama. Asocijativni fiksatori dušika su aktivni na površini korijena oko koje kreiraju finu i tanku ovojniciu. Bakterije



koje predstavljaju asocijativne fiksatore dušika su specifične i specijalizirane u odnosu na to na kojim će biljkama stvoriti ovojniciu te tako fiksirati dušik, te će se samo određeni rodovi bakterija nastaniti samo na određenim vrstama biljaka.

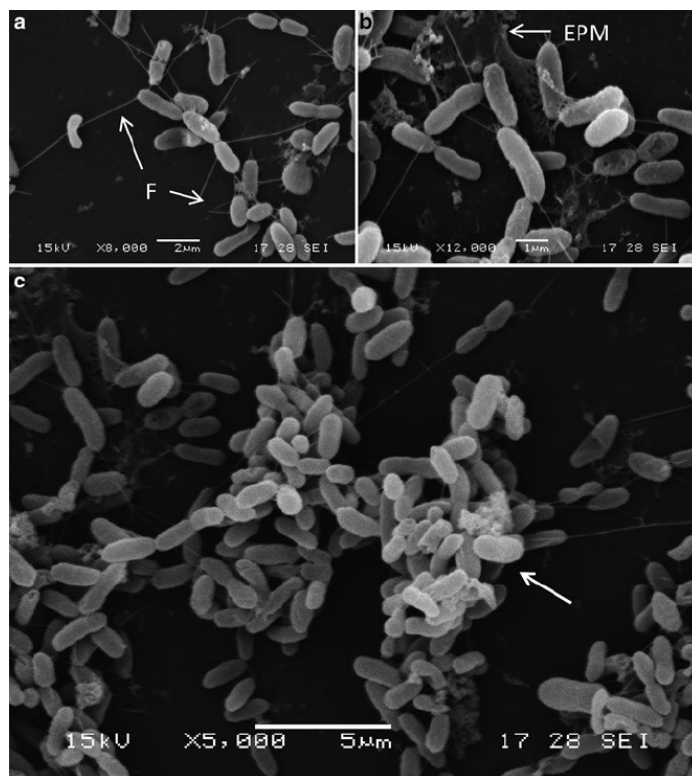
Kao i kod simbiozne fiksacije dušika, i u asocijativnoj fiksaciji dušika oba organizma, i bakterija i biljka imaju pogodnosti iz njihovog odnosa. Bakterije kao izvor energije koriste različite tvari koje biljka otpušta, a biljke zauzvrat dobivaju mogućnost korištenja fiksiranog dušika koji pomaže u obogaćivanju rizosfere oko korijena same biljke.

Najvažnije bakterije koje imaju funkciju asocijativnih fiksatora dušika jesu bakterije iz roda *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* i *Klebsiella* (Di Benedetto i sur., 2017.). Ove se bakterije mogu koristiti za proces inokulacije neleguminoznih biljaka poput kukuruza, pšenice, krumpira, šećerne repe te suncokreta (Milošević i Govedarica, 2001).

#### **2.2.3.1. Opća svojstva roda *Azospirillum***

Bakterije roda *Azospirillum* karakterizira njihova pokretljivost, a također i činjenica da su Gram-negativne, aerobne te da imaju najviše štapićasti oblik koji ima promjer 1  $\mu\text{m}$ , te su dužine 2,1-3,8  $\mu\text{m}$  i imaju zašiljene krajeve tijela (Tarrand i sur., 1978.). Za ove je bakterije značajno da se pokreću pomoću bičeva, te se u tekućem okolišu kreću uz pomoć jednog biča, dok u čvrstoj okolini na temperaturi od 30° C formiraju nove bočne bičeve uz koje se kreću (Tarrand i sur., 1978.). Optimalna životna temperatura za bakterije roda *Azospirillum* kreće se od 35° C do 37° C (Tarrand i sur., 1978.).

Najveći pozitivan učinak na rast i razvoj biljaka dobiva se kada se kombiniraju inokulanti *Azospirillum* i *Rhizobium*. Prikaz primjera *Azospirillum* bakterija nalazi se na Slici 6.



Slika 6. *Azospirillum* bakterije

Izvor: F., Pereyra, C. M., Arruebarrena Di Palma, A., Lamattina, L., Creus, C. M. (2015.): Methods for studying biofilms in *Azospirillum* and other pgprs. Handbook for *Azospirillum*, 199–229.

Trenutačno je identificirano 10 vrsta bakterija iz roda *Azospirillum*:

- *Azospirillum lipoferum*,
- *Azospirillum brasilense*,
- *Azospirillum amazonense*,
- *Azospirillum halopraeferens*,
- *Azospirillum irakense*,
- *Azospirillum largimobile*,
- *Azospirillum doebereinae*,
- *Azospirillum oryzae*,
- *Azospirillum melinis* i
- *Azospirillum canadensis* (Mehnaz i sur., 2007.).

Bakterije iz roda *Azospirillum* imaju iznimno važna svojstva u kontekstu fiksiranja dušika, no također i u kontekstu usvajanja fosfora i kalija kod biljaka poput kukuruza, pšenice i riže (Ravnjak, 2016.). Osim fiksacije dušika pomažu u produkciji hormona rasta auksina i citokinina koji su iznimno važni za rast korijena biljke, te se na ovaj način povećava mogućnost upijanja hranjivih tvari iz tla od strane biljke (Barea i sur., 2005.).

### 2.3. Mikroorganizmi u kruženju fosfora

Fosfor je esencijalni element koji je prisutan u anorganskom obliku u tlu, ali je i sastavni dio živih stanica biljaka, životinja, mikroorganizama i to: nukleinskih kiselina, ATP-a, fosolipida, kloroplasta. Biljke imaju mogućnost korištenja samo malog dijela fosfora u tlu upravo zato što se većina fosfora nalazi u obliku netopivog anorganskog fosfata apatita, ili u obliku organskih spojeva poput koje biljke ne mogu koristiti (Hajnal Jafari i sur., 2020.). Iz ovih je razloga opskrba biljaka fosforom u poljoprivredi jedna od ključnih mjera brige za rast i razvoj biljaka.

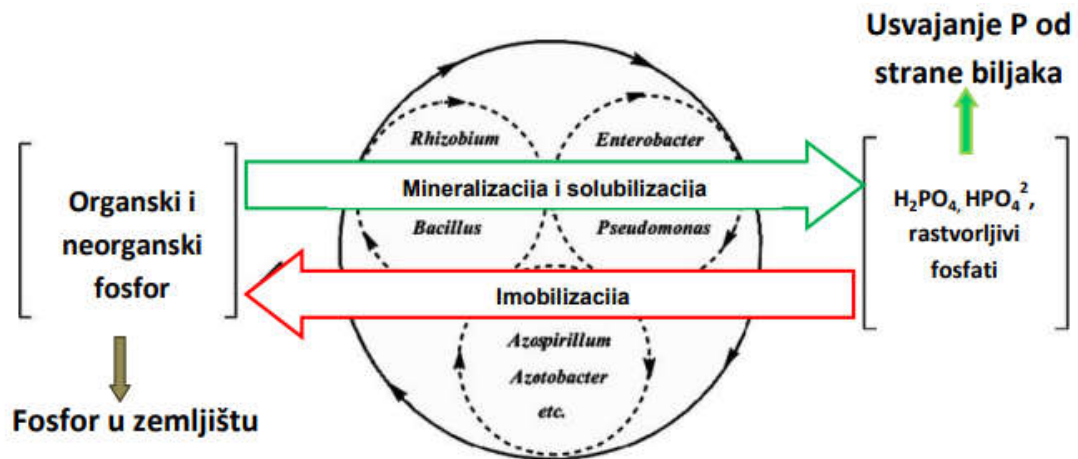
No, čak i kada se fosfor pokušava unijeti u tlo, najčešće dolazi do imobilizacije većine fosfora od strane različitih minerala ili taloženja, to jest precipitacije fosfora sa ionima ili željeza ili aluminija u kiselim tlima, te ionima kalcija u lužnatim tlima (Hajnal Jafari i sur., 2020.). Na ovaj način fosfor biva nedostupan biljkama, te se čak 80 % fosfora ne iskoristi od strane biljaka zbog navedenih reakcija (Hajnal Jafari i sur., 2020.). Biljke su u mogućnosti usvojiti fosfor samo ako je ovaj element u obliku iona ortofosforne kiseline ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  i  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

Mikroorganizmi pomažu u opskrbljivanju biljke fosforom putem procesa:

- Mineralizacije organskih spojeva fosfora
- Imobilizacije pristupačnog fosfora

- Otapanjem neotopivih minerala fosfora.

Mikroorganizmi koji obavljaju navedene funkcije nazivaju se mikroorganizmi koji otapaju fosfate ili eng. *Phosphate Solubilizing Microorganisms* (PSM) (Liu i sur., 2020). Na Slici 7. prikazana je uloga mikroorganizama u opskrbi biljaka fosfatom.



Slika 7. Uloga mikroorganizama u opskrbi biljaka fosforom

Izvor: Hajnal Jafari i sur.(2020.);, Proizvodnja i primena biopreparata.

Bakterije koje su najznačajnije za opskrbu biljke fosforom jesu bakterije iz rodova:

- *Pseudomonas*,
- *Azospirillum*,
- *Bacillus*,
- *Rhizobium*,
- *Burkholderia*,
- *Arthrobacter*,
- *Alcaligenes*,
- *Serratia*,
- *Enterobacter*,
- *Acinetobacter*,
- *Azotobacter*,
- *Flavobacterium*,

- *Proteus*,
- *Staphylococcus*,
- *Streptomyces* i
- *Erwinia* (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

Uz navedene bakterije, bakterije koje imaju mogućnost otapanja fosfora su također i *Bacillus megaterium*, *Bacillus circulans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus sircalmous*, *Pseudomonas striata*, i *Pseudomonas fluorescens* (Perez i sur., 1993.).

### 3. PRIPREMA MIKROBIOLOŠKIH PREPARATA

Mikrobiološki preparati postali su popularni te su se samim time i počeli više proizvoditi zbog vidljivih pozitivnih utjecaja mikroorganizama poput gljivica i bakterija na biljke i tlo. Također, mikroorganizmi koji služe kao fertilizatori dobili su na popularnosti i zbog modernizacije poljoprivredne proizvodnje, u smislu da se poljoprivreda sve više okreće korištenju prirodnih tvari i mikroorganizama kako bi se izbjegao štetni utjecaj na okoliš, a također i kako bi se fokus stavio na zaštitu prirode (Kour i sur., 2020.). Mikrobiološki se preparati proizvode kako bi se poboljšao rast i razvoj biljnih kultura i tla, ali također kako bi se i preventivno i suzbijajuće utjecalo na štetočine koje mogu naštetiti biljkama. Proizvodnja mikrobioloških preparata bazirana je na tome da sadrže jednu ili više vrsta mikroorganizama kao svoju aktivnu tvar (Klokočar-Šmit i sur., 2006.).

Proizvodnja mikrobioloških preparata sastoji se od sljedećih koraka:

1. Izolacija mikroorganizama
2. Ispitivanje svojstava mikroorganizama
3. Ispitivanje djelotvornosti mikroorganizama u kontroliranim uvjetima
4. Ispitivanje djelotvornosti mikroorganizama u polukontroliranim uvjetima
5. Ispitivanje djelotvornosti mikroorganizama u poljskim uvjetima te *in-situ* evaluacija
6. Standardizacija proizvodnje
7. Proizvodnja komercijalnog mikrobiološkog preparata i stavljanje tog mikrobiološkog preparata na tržište (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

Kako bi se dobio najbolji mogući mikrobiološki preparat, tijekom proizvodnje određenog proizvoda potrebno je razmišljati o pojedinim postupcima te preduvjetima koji se trebaju ispuniti. Neki od tih preduvjeta su:

- Kontroliranje postupka proizvodnje od početka uzgajanja mikroorganizama
- Postupak fermentacije kojem je osigurana adekvatna kvaliteta
- Oslobađanje mikroorganizama nakon postupka fermentacije

- Osigurana kvaliteta formulacije konačnog proizvoda (Warrior, 2000.).

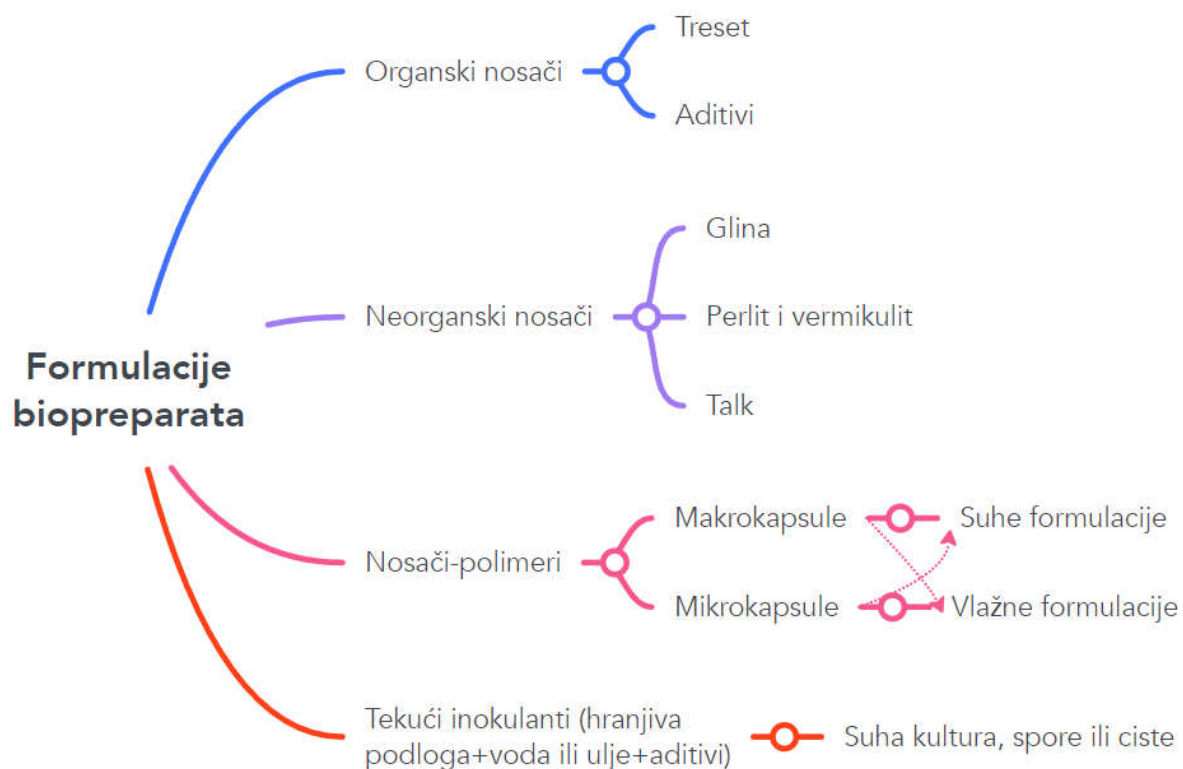
### **3.1. Formulacija mikrobioloških preparata**

Jedan od glavnih preduvjeta za dobivanje kvalitetnog mikrobiološkog preparata jest formulacija tog proizvoda. Kako bi se osigurala kvaliteta proizvoda i kako bi se on uopće mogao prodavati na tržištu, potrebno je u formulaciju mikrobiološkog preparata introducirati različite sastojke poput treseta i gline (Hajnal Jafari i sur., 2020.). Biopreparati se mogu koristiti i primjenjivati u različitim oblicima, krutim poput granula topivih u vodi, peleta, mikrokapsula, prašaka, topivih prašaka ili tekućih, ili emulzija (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

Formulacija mikrobioloških preparata može se odvijati na četiri načina (Saif i sur., 2021.), ovisno o prirodi inokulanta i njegovim svojstvima. Kako bi se omogućilo primjenjivanje mikrobioloških preparata u njihovim različitim oblicima, potrebno je odabrati adekvatni nosač, te je prema mnogim autorima najkvalitetniji nosač – treset. Nosač mikrobiološkog preparata nosi mikrobne stanice, i mora sadržavati hranjive tvari za mikroorganizme, nadalje prevenira mikroorganizme od isušivanja, a također i osigurava postepeno oslobađanje mikroorganizama (Hajnal Jafari i sur., 2020.). Nosači se biraju po kriterijima dostupnosti, prirodnosti i biorazgradivosti, te se najčešće koriste i organski i anorganski prirodni materijali poput:

- vermikulita
- perlita
- talka i
- alginata (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

Tekuće formulacije pripremaju se zbog lakoće korištenja, a također i zbog poboljšanja djelotvornosti mikroorganizama. Najmoderniji način formulacije mikrobioloških preparata je bioinkapsulacija stanica, za koju je važno navesti da su svi nedostaci dosad navedenih formulacija minimizirani.



Slika 8. Različite formulacije biopreparata

Izvor: Hajnal Jafari i sur., *Proizvodnja i primena biopreparata*, 2020.

Na Slici 2. prikazani su različiti oblici putem kojih mikrobiološki preparati mogu biti formulirani, te je važno napomenuti kako se sve formulacije osim tekućih inokulanata primjenjuju putem praha, granula ili kapsula, a tekući se inokulanti primjenjuju putem prskanja, potapanja sjemena ili rasada te se aktiviraju putem navodnjavanja, ili se unose u tlo.

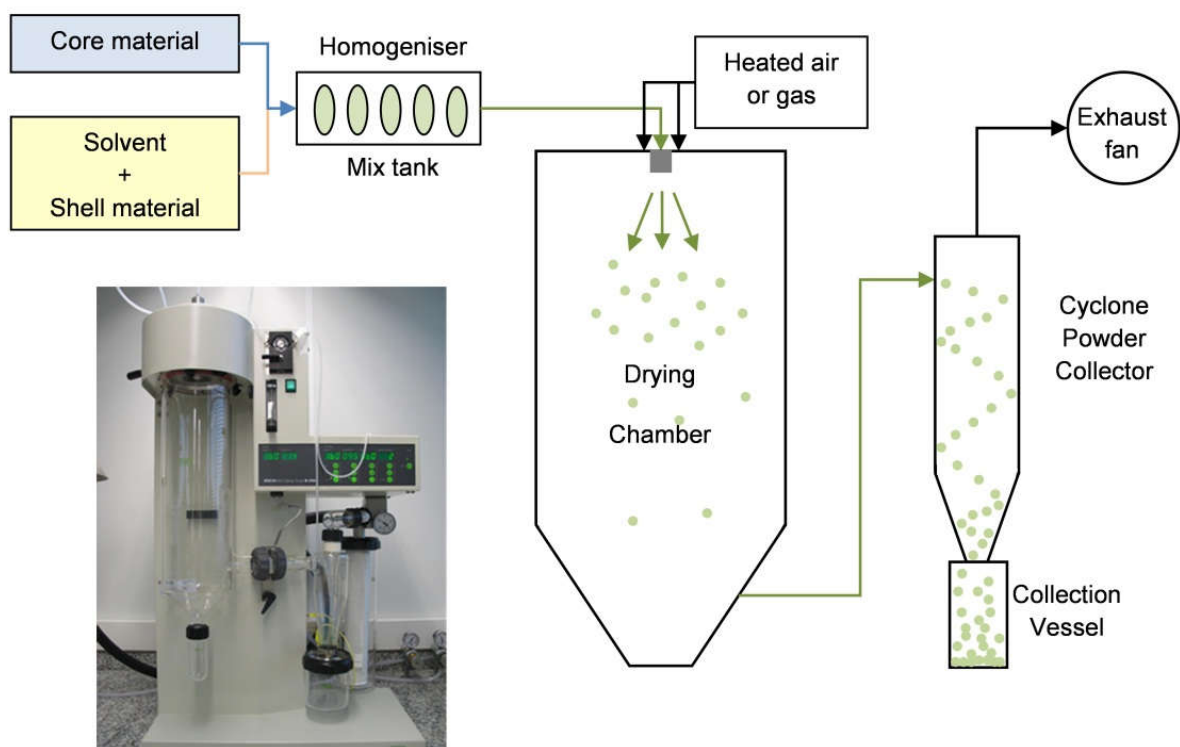
### 3.2. Bioinkapsulacija

Bioinkapsulacija predstavlja jednu od modernijih tehnologija proizvodnje mikrobioloških preparata, te se bazira na tome da se mikroorganizmi inkapsuliraju, to jest smještaju u kapsulu koja služi tome da ih fizički zaštićuje od različitih nepogodnosti iz okoline.



Kapsula se može napraviti od polimernih hidrogelova, kao i putem metoda sušenja koje koriste fluidizirani sloj ili FBD (Mitter i sur., 2021.).

Polimerni hidrogelovi se sastoje od međusobno povezanih polimernih hidrofilnih lanaca, te se koriste za bioinkapsulaciju iz dva razloga: predstavljaju vodeno okruženje koje pomaže u očuvanju bioloških funkcija mikroorganizama u kapsuli, a također i predstavljaju difuzijsku barijeru koja dozvoljava prolazak molekula određene veličine. Novija metoda bioinkapsulacije putem fluidiziranog sloja koristi se kako bi se povećala stopa preživljavanja inokulanata, a također i kako bi se smanjila kontaminacija (Mitter i sur., 2021.). U ovom se procesu mikroorganizmi održavaju u struji zraka tako da prkose gravitaciji kako bi se ponašali kao tekućina. Zatim se mikroorganizmi prskaju s materijalom za oblaganje, te se takav pripravak suši pomoću električnih grijača (Mitter i sur., 2021.).



Slika 9. Shematski prikaz bioinkapsulacije bakterija putem emulzifikacije

Izvor: Chavarri, M., Maranon, I., Villaran, M. C. (2012.): Encapsulation technology to protect probiotic bacteria. U: Rigobelo, E. C. (ur.) Probiotics. Intechopen.

Kako bi se mikroorganizmi podvrgnuli procesu bioinkapsulacije mogu se koristiti i prirodni i sintetički polimeri poput: alginata, agara i agaroze, škroba, kukuruznog sirupa u čvrstom stanju, poliakrilamida, polistirena i poliuretana (Hajnal Jafari i sur., 2020.). Najčešća tvar korištena za bioinkapsulaciju mikrobioloških preparata jest natrijev alginat, putem kojih se proizvodi preparat sa imobiliziranim mikroorganizmima. Mikroorganizmi se inkapsuliraju tako da se otopina alginata pomiješa sa stanicama mikroorganizama, te se ova smjesa ubacuje u otopinu  $\text{CaCl}_2$ , koncentracije između 0.05 i 0.1 M. Nakon 20 do 30 minuta u otopini će se pojaviti gelirane loptice koje sadrže imobilizirane mikroorganizme (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

Kapsula također služi i postepenom i usporenom oslobađanju mikroorganizama u tlo. Važno je napomenuti kako će se mikroorganizmi iz kapsule oslobađati ovisno o tome kolika je njihova biološka aktivnost (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

Kapsule proizvedene bioinkapsulacijom se mogu skladištiti na sobnoj temperaturi, a vrijeme očuvanja mikroorganizama u kapsuli se može produžiti tako da se hranjive tvari dodaju u kapsulu (Hajnal Jafari i sur., 2020.). Također, kapsule služe i smanjenju mogućnosti kontaminacije mikroorganizama (Hajnal Jafari i sur., 2020.).

## 4. ZAKLJUČAK

Uzgoj biljaka te njihov rast i razvoj iznimno su važni za ljude, okoliš, prirodu i životinje, te je iz tog razloga ključno proizvoditi različite preparate koje će biljkama pomoći da što bolje napreduju. No, u današnjem svijetu postoji iznimno velik broj umjetnih preparata poput pesticida i gnojiva koji potpomažu rastu biljaka, no također i zagađuju okoliš, te pokazuju toksična svojstva koja mogu naštetiti ljudima. Fertilizacijski preparati na bazi mikroorganizama mnogo su blaži od umjetnih preparata, a također nemaju štetne posljedice po ljude niti okoliš.

Mikrobiološki preparati se sastoje od različitih mikroorganizama koji produktima svojeg metabolizma pomažu biljkama u njihovom rastu i razvoju. U ovom su radu posebice proučavane bakterije kao mikrobiološki fertilizacijski preparati, te je analizirano njihovo svojstvo fiksiranja dušika i opskrbljivanja biljaka fosforom. Bakterije mogu fiksirati dušik na tri načina: simbiozno putem stvaranja kvržica na korijenju biljaka, slobodno ili asimbiozno tako da djeluju u tlu koje okružuje biljku, ili asocijativno putem stvaranja opne oko korijena biljke.

Biljke samostalno ne mogu upiti fosfor koji se nalazi u tlu, već ga različite bakterije moraju preraditi u nove kemijske spojeve kako bi biljke imale ikakve koristi od njega. Iznimno je važno proučavati mikroorganizme kao način na koji se može doprinijeti rastu i razvoju različitih biljaka upravo zbog toga što mikroorganizmi ne štete okolini i ljudima, već imaju samo korisna svojstva za biljke i okoliš.

## 5. POPIS LITERATURE

Barea, J.-M., Pozo, M. J., Azcón, R., Azcón-Aguilar, C. (2005.): Microbial Co-operation in the Rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56: 1761–1778.

Beringer, J. E., Brewin, N., Johnston, A. W., Schulman, H. M., Hopwood, D. A. (1979.): The Rhizobium-legume symbiosis. *Proc. R. Soc. Lon.* 204: 219-233.

Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., Tuteja, N. (2014.): Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(66): 1-10.

Buscot, F., A. Varma (ur.) (2010.): *Micro-Organisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. Springer, Lexington.

Castagno, L. N., Sannazzaro, A. I., Gonzalez, M. E., Pieckenstain, F. L., Estrella, M. J. (2021.): Phosphobacteria as key actors to overcome phosphorus deficiency in plants. *Annals of Applied Biology*, 178: 256–267.

Di Benedetto, N. A., Corbo, M. R., Campaniello, D., Cataldi, M. P., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., Flagella, Z. (2017.): The role of Plant Growth Promoting Bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS Microbiol.*, 3(3): 413-434.

Fox, J. E., Gullledge, J., Engelhaupt, E., Burow, M. E., McLachlan, J. A. (2007): Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proceedings of the National Academy of Science of the United State of America* 104: 10282-10287.

Gray, E. J., Smith, D.L. (2005.): Intracellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 395-412.

Hajnal Jafari, T., Stamenov, D., Đurić, S. (2020.): *Proizvodnja i primena biopreparata*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

Kantachote, D., Torpee, S., Umsakul, K. (2005.): The potential use of anoxygenic phototrophic bacteria for treating latex rubber sheet wastewater. *Electron. J. Biotechnol.* 8: 314-323.

Klokočar-Šmit, Z., Šovljanski, R., Indić, D. (2006.): Biopreparati- alternativa u zaštiti plodovitog povrća. *Biljni lekar*, 34(1): 19-30.

Kobayashi, M. (1995.): Waste remediation and Treatment Using Anoxygenic Phototrophic Bacteria. U: Blankenship, R. E., Madigan, Michael T. i Bauer, C. E. (ur.) *Anoxygenic Photosynthetic Bacteria*. Springer, Nizozemska.

Komesarović, B., Redžepović, S., Blažinkov, M., Sudarić, A., Uher, D., Sikora, S. (2007.): Simbiozna učinkovitost autohtonih sojeva *Bradyrhizobium japonicum*. *Mlijekarstvo*, 57: 289-302.

Kour, D., Rana, K.L., Yadav, A.N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H.S., Saxena, A.K. (2020.): Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23: 1-27.

Liu, J., Qi, W., Li, Q., Wang, S., Song, C., Yuan, X. (2020.): Exogenous phosphorus-solubilizing bacteria changed the rhizosphere microbial community indirectly. *Biotech*, 10(4): 164.

Lončarić, Z., Karalić, K. (2015.): Mineralna gnojiva i gnojidba ratarskih usjeva. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.

Mehnaz, S., Weselowski, B., Lazarovits, G. (2007.): *Azospirillum Canadense* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium isolated from corn rhizosphere. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57: 620–624.

Milošević, N., Govedarica, M. (2001.): Mogućnost primene biofertilizatora u proizvodnji ratarskih neleguminoznih biljaka. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 35: 53-65.

Mitter, E. K., Tosi, M., Obregon, D., Dunfield, K. E., Germinda, J. J. (2021.): Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: innovative biofertilizer technologies. *Front. Sustain. Food Syst.*, 1-23.

Mylona, P., Pawlowski, K., Bisseling, T. (1995): Symbiotic Nitrogen Fixation. *The Plant Cell*. American Society of Plant Physiologists. 7: 869-885.

Narula, N. (2000.): *Azotobacter in Sustainable Agriculture*. CBS, New York.

Novak, M., Pavlečić, M., Harutyunyan, B., Goginyan, V., Horvat, P., Šantek, B. (2017.): Characteristic and selection of culture of photosynthetic purple non-sulphur bacteria as a potential 5-aminolevulinic acid producers. *Croat. J. Food Technol. Biotechnol. Nutr.* 12: 113-119.

OECD (2015.): *Biofertilisers: Present and future use of transgenic micro-organisms. U Biosafety and the Environmental Uses of Micro-Organisms: Conference Proceedings*. OECD Publishing, Pariz.

Perez, C., Suarez, C., Castro, G. R. (1993.): Antimicrobial activity determined in strains of *Bacillus circulans* cluster. *Folia Microbiol*, 38(1): 25-28.

Perkunić, I. (2021.): *Primjena mikrobioloških pripravaka u proizvodnji povrća*. Diplomski rad. Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek.

Postgate, J. R. (1982): Biological nitrogen fixation: fundamentals, *Philos. Trans. R. Soc. B* 296: 387–375.

Rai, M. K. (2006.): *Handbook of Microbial Biofertilizers*. Haworth Press, New York.

Ravnjak, B. (2016.): *Uloga nitrofikirajućih bakterija Azotobacter spp. i Azospirillum spp. u biljnoj proizvodnji*. Diplomski rad. Poljoprivredni fakultet, Osijek.

Saif., S., Abid, Z., Ashiq, M. F., Altaf, M., Ashraf, R. S. (2021.): *Biofertilizer Formulations. U: Inamuddin, M. I. A., Boddula, R., Rezakazemi, M. (ur.) Biofertilizers: Study and Impact*. Scrivener Publishing, Salem.

Sellstedt, A., Richau, K. H. (2013.): Aspects of nitrogen-fixing Actinobacteria, in particular free-living and symbiotic Frankia. *FEMS Microbiol Lett.*, 342(2): 179-186.

Sirnivas, T. N. R., Kumar, P. A., Sasikala, Ch., Ramana, Ch. V., Imhoff, J. F. (2007.): *Rhodobacter vinaykumarii* sp. nov., a marine phototrophic alphaproteobacterium from tidal waters, and emended description of the genus *Rhodobacter*. *Int. J. Syst. Evol. Micr.* 57: 1984-1987.

Spasenić, L. (2018.): Značaj asocijativnih i endofitskih fiksatora dušika u održivoj poljoprivrednoj proizvodnji. Diplomski rad. Agronomski fakultet, Zagreb.

Ševar, M., Novaković, V., Ivić, D. (2015.): Ekološka proizvodnja. U Hamel, D. i Novaković, V. (ur.) Priručnik za sigurno rukovanje i primjenu sredstava za zaštitu bilja. Ministarstvo poljoprivrede, Zagreb.

Tarrand, J. J., Krieg, N. R., Dobereiner, J. (1978.). A taxonomic study of the Spirillum lipoferum group, with descriptions of a new genus, Azospirillum. gen. nov. and two species, Azospirillum lipoferum (Beijerinck) comb. nov. and Azospirillum brasilense sp. nov. Canadian Journal of Microbiology, 24(8): 967-980.

Tate, R. L. (1995): Soil microbiology. Symbiotic nitrogen fixation, 307–333. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Topol, J., Kanižai Šarić, G. (2013.): Simbiotska fiksacija dušika u ekološkoj poljoprivrednoj proizvodnji. Agronomski glasnik, 2-3: 117-134.

Topolovec-Pintarić, S., Cvjetković, B. (2003.): Biofungicidi - nova rješenja za suzbijanje biljnih bolesti. U Maceljki, M. (ur.) Glasilo biljne zaštite. Hrvatsko društvo biljne zaštite, Zagreb.

Warrior, P. (2000.): Living system as natural crop-protection agents. Pest Manag. Sci., 56: 681-687.

Xu, J., Feng, Y., Wang, Y., Lin, X. (2013.): Characteristics of purple nonsulfur bacteria grown under Stevia residue extractions. Lett. Appl. Microbiol. 57: 420-426.

Zahran, H. H. (1999.): Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate, Microbiology and molecular biology reviews, 63(4): 968–989.

### Internet izvori

Britannica. Nitrogen-fixing bacteria. <https://www.britannica.com/science/nitrogen-fixing-bacteria>. 30.5.2022.

Schoolzone: the nitrogen cycle. [https://microbiologysociety.org/resource\\_library/knowledge-search/schoolzone-the-nitrogen-cycle.html#:~:text=The%20nitrogen%20cycle%20is%20the%20movement%20of%20nitrogen%20between%20the,the%20decomposers%20and%20other%20bacteria](https://microbiologysociety.org/resource_library/knowledge-search/schoolzone-the-nitrogen-cycle.html#:~:text=The%20nitrogen%20cycle%20is%20the%20movement%20of%20nitrogen%20between%20the,the%20decomposers%20and%20other%20bacteria). 30.5.2022.



## 6. SAŽETAK

Mikrobiološki fertilizacijski preparati predstavljaju proizvode koji sadržavaju različite skupine mikroorganizama, a koje se koriste za fertilizaciju i pomažu u rastu biljaka. U svrhu unaprijeđenja ishrane bilja koriste se različiti mikroorganizmi koji sudjeluju u kruženju dušika i fosfora ali i drugih elemenata. Najznačajniji fiksatori dušika su simbiotske bakterije predstavnici roda *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*, ali i asocijativni i asimbiozni fiksatori dušika poput roda *Azotobacter*, *Azospirillum* i *Clostridium*. Za mobilizaciju fosfata zaslužni su predstavnici roda *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas* i *Flavobacterium*. Mikrobiološki preparati na temelju navedenih kultura mikroorganizama formuliraju se putem različitih nosača ili bioinkapsulacijom. Mikrobiološki preparati mogu se koristiti ne samo u ekološkoj poljoprivredi već i u drugim sustavima proizvodnje s ciljem poticanja rasta biljaka, a njihova primjena je okolišno prihvatljiva.

Ključne riječi: kruženje dušika, kruženje fosfora, biološka fiksacija dušika, mobilizacija fosfora

## 7. SUMMARY

Microbiological fertilization preparations are products that contain different groups of microorganisms, which are used for fertilization and help plant growth. Various organisms that participate in the circulation of nitrogen, phosphorus, and other elements, are used to improve plant nutrition. The most crucial nitrogen fixers are symbiotic bacteria representing the genera *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, but also associative and symbiotic nitrogen fixators such as the genera *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Clostridium*. Representatives of the genera *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas* and *Flavobacterium* are responsible for the mobilization of phosphatases. Microbiological preparations based on these cultures of microorganisms are formulated by various carriers or encapsulation. Microbiological preparations can be used not only in organic agriculture but also in other production systems to stimulate plant growth, and their application is environmentally friendly

Key words: nitrogen cycle, phosphorus cycle, biological nitrogen fixation, phosphorus mobilization

## 8. POPIS SLIKA

Slika 1. <i>Trichoderma harzianum</i> , najpoznatiji biofungicid.....	3
Slika 2. Prikaz važnih mehanizama mikroorganizama koji služe fertilizaciji biljaka.....	5
Slika 3. Kvržice na korijenu biljke nastale u simbiozi s bakterijama roda <i>Rhizobium</i> .....	9
Slika 4. Kvržice koje formiraju bakterije roda <i>Frankia</i> .....	10
Slika 5. Kolonije roda <i>Azotobacter</i> bakterija.....	12
Slika 6. <i>Azospirillum</i> bakterije.....	14
Slika 7. Uloga mikroorganizama u opskrbi biljaka fosfatom.....	16
Slika 8. Različite formulacije biopreparata.....	20
Slika 9. Shematski prikaz bioinkapsulacije bakterija putem emulzifikacije.....	21

## 9. POPIS TABLICA

Tablica 1. Mikroorganizmi koji pomažu u opskrbi biljaka dušikom.....7

Tablica 2. Fiksacija dušika u kg/ha kod pojedinih biljaka koje su u simbiozi sa simbioznim fiksatorima dušika.....8

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij, smjer Ekološka poljoprivreda

Diplomski rad

## Bakterijski fertilizacijski biopreparati

Ivan Jurić

**Sažetak:** Mikrobiološki fertilizacijski preparati predstavljaju proizvode koji sadržavaju različite skupine mikroorganizama, a koje se koriste za fertilizaciju i pomažu u rastu biljaka. U svrhu unaprijeđenja ishrane bilja koriste se različiti mikroorganizmi koji sudjeluju u kruženju dušika i fosfora ali i drugih elemenata. Najznačajniji fiksatori dušika su simbiotske bakterije predstavnici roda *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*, ali i asocijativni i asimbiozni fiksatori dušika poput roda *Azotobacter*, *Azospirillum* i *Clostridium*. Za mobilizaciju fosfata zaslužni su predstavnici roda *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas* i *Flavobacterium*. Mikrobiološki preparati na temelju navedenih kultura mikroorganizama formuliraju se putem različitih nosača ili bioinkapsulacijom. Mikrobiološki preparati mogu se koristiti ne samo u ekološkoj poljoprivredi već i u drugim sustavima proizvodnje s ciljem poticanja rasta biljaka, a njihova primjena je okolišni prihvatljiva

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić

**Broj stranica:** 32

**Broj grafikona i slika:** 9

**Broj tablica:** 2

**Broj literaturnih navoda:** 42

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** kruženje dušika, kruženje fosfora, biološka fiksacija dušika, mobilizacija fosfora

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof. dr. sc. Brigita Popović, predsjednik
2. prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić, mentor
3. prof. dr. sc. Irena Rapčan, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
University Graduate Studies, Organic agriculture

Master degree

Bacterial fertilization biopreparations

Ivan Jurić

**Summary:** Microbiological fertilization preparations are products that contain different groups of microorganisms, which are used for fertilization and help plant growth. Various organisms that participate in the circulation of nitrogen, phosphorus, and other elements, are used to improve plant nutrition. The most crucial nitrogen fixers are symbiotic bacteria representing the genera *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, but also associative and symbiotic nitrogen fixators such as the genera *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Clostridium*. Representatives of the genera *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas* and *Flavobacterium* are responsible for the mobilization of phosphatases. Microbiological preparations based on these cultures of microorganisms are formulated by various carriers or encapsulation. Microbiological preparations can be used not only in organic agriculture but also in other production systems to stimulate plant growth, and their application is environmentally friendly

**Thesis performed at:** Faculty of Agriculture in Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić

**Number of pages:** 32

**Number of figures:** 9

**Number of tables:** 2

**Number of references:** 42

**Original in:** Croatian

**Key words:** nitrogen cycle, phosphorus cycle, biological nitrogen fixation, phosphorus mobilization

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. prof. dr. sc. Brigita Popović, predsjednik
2. prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić, mentor
3. prof. dr. sc. Irena Rapčan, član

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.