Značaj benefitne bakterije Pseudomonas fluorescens na usvajanje fosfora kod biljaka

Stanković, Andrej

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:056883

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

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

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Andrej Stanković

Diplomski studij Agroekonomika

ZNAČAJ BENEFITNE BAKTERIJE *Pseudomonas fluorescens* NA USVAJANJE FOSFORA KOD BILJAKA

Diplomski rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Andrej Stanković

Diplomski studij Agroekonomika

ZNAČAJ BENEFITNE BAKTERIJE *Pseudomonas fluorescens* NA USVAJANJE FOSFORA KOD BILJAKA

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Izv.prof.dr.sc. Brigita Popović, predsjednik
2. Prof.dr.sc. Suzana Kristek, mentor
3. Izv.prof.dr.sc. Drago Bešlo, predsjednik, član
4. Doc. dr. sc. Sandra Rašić, zamjenski član

Osijek, 2018.

SADRŽAJ

1. UVOD 3
2. ZNAČAJ FOSFORA ZA BILJKE 5
2.1. Fosfor topiv u vodi 6
2.2. Fosfor topiv u kiselinama 6
2.3. Fosfor topiv u lužinama 6
2.4. Teško topivi fosfor 6
2.5. Organski fosfor 7
2.6. Usvajanje fosfora 8
3. NEDOSTATAK FOSFORA 9
4. SUVIŠAK FOSFORA 10
5. MIKROORGANIZMI I FOSFOR 11
6. BAKTERIJE KOJE PREVODE FOSFOR U BILJKAMA PRISTUPAČNE OBLIKE 13
6.1. Mineralizacija organskog fosfora 15
6.2. Interakcija bakterija i ostalih mikroorganizama 16
6.3. Utjecaj bakterija na biljnu proizvodnju 17
7. IZGLEDI ZA BUDUĆNOST 19
8. MIKROBIOLOŠKI PREPARATI 20
9. ZAKLJUČAK 21
10. POPIS LITERATURE 22
11. SAŽETAK 27
12. SUMMARY 28
13. POPIS SLIKA 29
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA 30
BASIC DOCUMENTATION CARD 31

1. UVOD

Fosfor je, uz dušik i kalij, najvažniji element u ishrani biljaka. U tlima ga, uz biljku u nepristupačnom obliku, ima od 1,6 do 2,5 t/ha zavisno od pedoloških, fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških svojstava tla. Međutim, unošenjem u tlo bakterija koje su poznate po svojoj sposobnosti otapanja, odnosno prevođenja biljkama nepristupačnih u biljkama pristupačne oblike (phosphorus solubilizing bacteria), taj nepristupačni fosfor prevodi se u biljkama pristupačne oblike.

Fosfor je biogeni makroelement neophodan za razvoj biljke. Njegova najveća uloga je u pravovremenom i pravilnom razvoju korjenovog sustava. Kod nedostatka fosfora slabo se razvija korjenov sustav, cvjetanje i zrioba biljaka kasne, smanjena je tvorba proteina uz povišen sadržaj amida i nizak sadržaj vitamina. Općenito možemo reći da je hranidbena vrijednost poljoprivrednih proizvoda smanjena uz znatno niži prinos kod manjka fosfora. Do blokade fosfora dolazi kod niske reakcije sredine (niski pH), niski sadržaj organske tvari u tlu uzrokuje njegov manjak kao i loš kvalitativni i kvantitativni sastav mikroorganizama u tlu.

Pretjerana gnojidba mineralnim gnojivima dovodi do zakiseljavanja tala. U kiselim tlima dolazi i do ispiranja hraniva, povećanja sadržaja teških metala, te intenziviranja patogenih mikroorganizama, tj. patogenih gljiva, uzročnika bolesti korijena i lista poljoprivrednih kultura (*Rhizoctonia solani, Fusarium* spp.*, Septoria* spp.*, Pythium* spp.*, Aphanomyces* spp.*, Rhynchosporium secalis, Helminthosporium maydis, Alternaria* spp.*, Phomopsis spp*., …..). Mikroorganizmima kao živim zemljišnim organizmima pripada daleko najznačajnija uloga u tlu. Mikroorganizmi humificiraju organske ostatke pri čemu nastaje humus ili organska tvar tla. Mikroorganizmi i mineraliziraju nastali humus pri čemu nastaju mineralna hraniva koje biljke koriste u svojoj ishrani. Mikroorganizmi razgrađuju pesticide i time sprječavaju eutrifikaciju podzemnih voda. Benefitni mikroorganizmi djeluju antagonistički prema patogenim mikroorganizmima te je u neutralnim tlima znatno manja mogućnost infekcije i razvoja bolesti biljaka nego u kiselim tlima.

U neutralnim tlima humifikacijom organskih ostataka nastaje zreli ili blagi humus, koji mineralizacijom daje mineralna hraniva pristupačna biljkama. U neutralnim tlima je također manja zastupljenost spora patogenih gljiva u tlu, a time i mogućnost razvoja biljnih bolesti. Nadalje, nesimbiotske i asocijativne nitrofiksirajuće bakterije u neutralnim tlima svojom aktivnošću omogućuju korištenje atmosferskog dušika kojeg ove bakterije prevode najprije u amonijačni, pa u nitratni oblik. Na taj način omogućuje se redukcija dušične gnojidbe od

30 do 40 %. Također, zastupljenost neutrofilnih bakterija *Pseudomonas fluorescens, Bacillus megaterium* - phosphate solubilizing bacteria, omogućuje oslobađanje tzv. „kamenih fosfata“, odnosno njihovo prevođenje u oblike pristupačne biljkama. Obzirom da su istraživanja dokazala da tla sadrže od 1600 – 2500 kg/ha P2O5, neutralizacijom tala možemo reducirati gnojidbu fosfornim gnojivom od 50 do 100 %. Također, moguća je redukcija gnojidbe kalijevim gnojivima od 20 do 50 %.

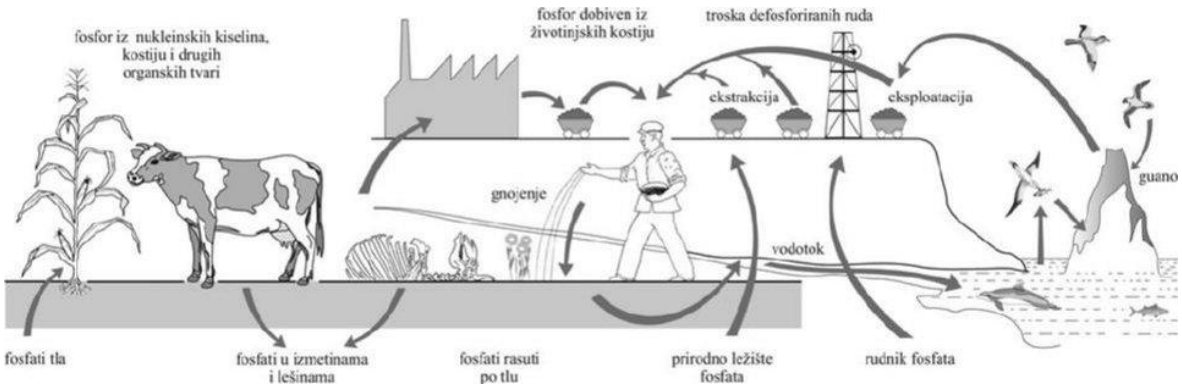
U kiselim tlima humifikaciju vode zemljišne gljive te nastaje tzv. kiseli humus, čijom mineralizacijom nastaje vrlo malo mineralnih hraniva u biljkama pristupačnim oblicima. Također, broj spora u kiselim tlima je veliki te je i mogućnost infekcije kulturnih biljaka, kao i razvoja i intenziteta bolesti velika. Kako patogenim gljivama koje uzrokuju oboljenja biljaka kisela reakcija sredine odgovara, jer se radi o acidofilnim mikroorganizmima, značajno je veća mogućnost oboljenja poljoprivrednih kultura na kiselim tlima. Kako i same kulturne biljke u principu vrlo slabo toleriraju kiselu sredinu, na kiselim tlima bez obzira na visinu gnojidbe nikada ne možemo ostvariti maksimalan biološki prinos, već je on daleko manji, uz višestruko veća ulaganja. Zato je važan unos mikrobioloških preparata.

2. ZNAČAJ FOSFORA ZA BILJKE

Fosfor je nemetal koji se u biljkama i tlu javlja u peterovalentnom obliku. Ovaj element ulazi u sastav važnih organskih spojeva (nukleoproteidi, fosfolipidi, enzimi i dr.). Ciklus fosfora sastoji se iz razgradnje fosfornih spojeva u tlu, njihovog usvajanja biljkama i ponovnog nastanka minerala tla (Slika 1.). Danas je poznato oko 170 minerala koji sadrži fosfor, a nalaze se po svim magmatskim stijenama.

Fosfor nastaje procesom razgradnje matičnih stijena najviše apatita. U litosferi mu je sadržaj promjenjiv (0,02-0,15 %) i ulazi u sastav velikog broja različito topivih minerala. Fosfor je u tlu prisutan u organskom i anorganskom obliku, a količina pristupačnog fosfora u tlu je općenito niska. Razlog tome je to što je fosfor u netopivom obliku i biljke ga ne mogu koristiti (Salehi i Aminpanah, 2015.).

Poljoprivredna tla sadrže između 40 i 80 % anorganski vezanog fosfora i 20 – 60 % organski vezanog fosfora. Oba oblika dijele se u više grupa koje obuhvaćaju prilično raznolike spojeve fosfora. Podjela se temelji na topljivosti tih spojeva u različitim otapalima.



Slika 1. Kruženje fosfora u prirodi

Izvor**:** **https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid**

2.1. Fosfor topiv u vodi

Fosfati topivi u vodi su najmanje zastupljena frakcija fosfora u tlu. U vodenoj fazi tla nalazi se u prosjeku manje od 1 kg/ha fosfora. Porastom njihove koncentracije (nakon gnojidbe) dolazi do prelaska u manje topljive oblike. Za ishranu bilja važna je razina raspoloživog fosfora nakon gnojidbe fosforom.

2.2. Fosfor topiv u kiselinama

Fosfor topiv u kiselinama dijeli se u dvije podfrakcije, ovisno o tome da li se spojevi s fosforom otapaju u slabim ili jakim kiselinama. Spojevi koji se razlažu u slabim kiselinama vrlo su heterogena skupina koja se teško može točno odrediti, a ima veliki značaj u ishrani bilja. Spojevi topivi u jakim kiselinama obuhvaćaju tercijarne fosfate (apatit, fosforit) i aluminijske i željezne fosfate. Takav fosfor spada u teško raspoložive rezerve tla.

2.3. Fosfor topiv u lužinama

Fosfor topiv u lužnatim otopinama je frakcija koja zaostaje u tlu nakon tretmana s kiselinama i djelomično se otapa u lužnatoj sredini. Kod pH > 8 otapaju se djelomično fosfati željeza i aluminija koji pritom grade hidrokside u obliku taloga. Količina fosfora koja se oslobađa u lužnatim otopinama zavisi prije svega od količine kalcija u tlu i kreće se između 50 i 600 ppm.

2.4. Teško topivi fosfor

Teško topivi fosfor je grupa spojeva čiji se sadržaj u tlu neznatno mijenja, a tako vezani fosfor potpuno je neraspoloživ za ishranu bilja. Otapanje je moguće samo u smjesi kiselina HCl i HNO_3 (zlatotopka) ili u fluorovodičnoj kiselini (HF) nakon potpune razgradnje svih minerala tla. Fosfor iz ove frakcije uglavnom zamjenjuje silicij u kristalnim rešetkama minerala.

2.5. Organski fosfor

Organski fosfor tla akumulira se u tlu pretežito nakon razgradnje biljnih ostataka, ali jedan dio nastaje iz mikrobioloških kemosintetskih procesa. Kada organska tvar sadrži < 0,2% fosfora u procesu mineralizacije, sav oslobođeni fosfor koriste mikroorganizmi za svoje potrebe. Ova je pojava biološka imobilizacija fosfora.

Sadržaj organske frakcije fosfora zavisi od tipa tla, a njezino frakcioniranje može se izvesti u kiselinama i lužinama slično mineralnom fosforu tla. Za ishranu bilja povoljnija je organska frakcija fosfora topiva u kiselinama jer brže podliježe procesu mineralizacije. Tla koja su duže vremena u eksploataciji imaju veći sadržaj frakcije topljive u lužinama pa je na njima gnojidba fosforom efikasnija jer je povećanje prinosa veće, bez obzira na količinu pristupačnog fosfora u tlu.

Između sadržaja ugljika u tlu i organske frakcije fosfora postoji uska korelacijska veza. Organski oblici u tlu su fosfolipidi, nukleinske kiseline i heksafosforni ester inozitola fitin. Intenzitet mineralizacije organskog fosfora značajno zavisi od temperature i količine svježe organske tvari u tlu kao neophodnom izvoru energije za razvoj mikroorganizama.

Vrlo je važan omjer između ugljika i fosfora u organskoj tvari. Do imobilizacije fosfora dolazi ako je omjer C/P veći od 300:1, a do mobilizacije tek kada se omjer suzi na 200:1. Stoga se često opravdano smatra da količina raspoloživog fosfora za ishranu bilja zavisi od sadržaja neorganskog fosfora u tlu.

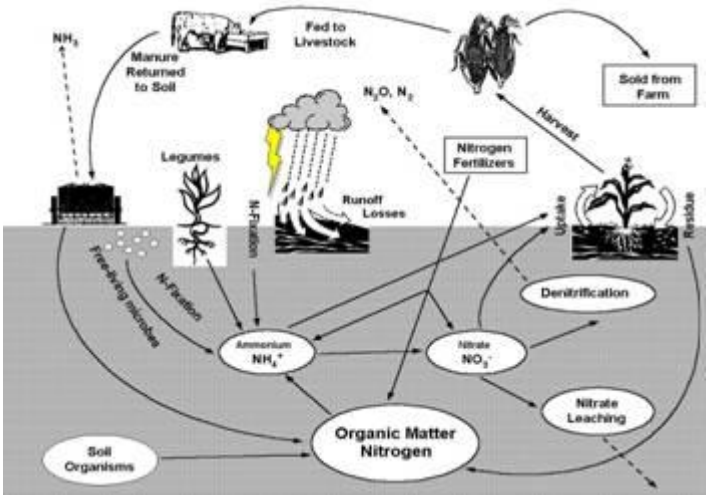
U neutralnim i lužnatim tlima prevladavaju kalcijevi fosfati koji su lakše topivi od fosfata seskvioksida u kiselim tlima. Stoga kalcizacija kiselih tala često snažnije utječe na povećanje prinosa mnogih poljoprivrednih vrsta nego gnojidba fosforom na kiselim tlima. Smatra se da je 1-2 % $CaCO_3$ u tlu najpovoljniji sadržaj kalcija u odnosu na topivost fosfornih spojeva. Raspoloživost fosfora značajno ovisi o stanju vlažnosti tla i brzine obnavljanja fosforne kiseline u vodenoj fazi tla.

2.6. Usvajanje fosfora

Biljke usvajaju fosfor isključivo u anionskom obliku ($H_2PO_4^-$ i HPO_4^{2-}), a ugrađuju ga u organsku tvar bez redukcije. Ortofosfatna kiselina različito disocira zavisno od pH reakcije, ali često je mišljenje da se aktivno usvaja samo ion $H_2PO_4^-$ što objašnjava bolje usvajanje fosfora u slabo kiseloj sredini. Usvajanje fosfora iz vodene faze tla je vrlo brz proces, ali je $H_2PO_4^-$ u tlu vrlo malo, dok je nadoknada iona fosfata iz topivih oblika fosfora, znatno sporiji proces. Procjena raspoloživosti fosfora preko utvrđivanja njegovog hranidbenog potencijala ne daje često dobre rezultate, posebice za biljke kraće vegetacije.

Koncentracija fosfora u biljkama prosječno je 0,3-0,5 %. Reprodukcijski dijelovi i mlađa tkiva sadrže relativno više anorganskog fosfora. Najveće potrebe biljaka za fosforom su u intenzivnom razvoju korijenovog sustava i kod prijelaza iz vegetacijske u reproduktivnu fazu života. Pokretljivost fosfora u biljci je dobra u oba smjera.

Fosfor je sastavni dio važnih organskih spojeva (fosfatida, nukleotida, nukleinskih kiselina, enzima …), a kao rezerva fosfor je najčešće vezan u fitinskoj kiselini (Slika 4.). Neorganski fosfor u biljci sudjeluje i u održavanju osmotskog tlaka. Značaj mu je izuzetan u aktivaciji većine organskih spojeva jer omogućuje savladavanje energetskih prepreka u biokemijsko-fiziološkim reakcijama. Sastavni je dio purinskih, pirimidinskih, nikotinamidnih, flavinskih i drugih koenzima. Sudjeluje u metabolizmu ugljikohidratnih, dušičnih i drugih spojeva.



Slika 2. Usvajanje fosfora u tlu.

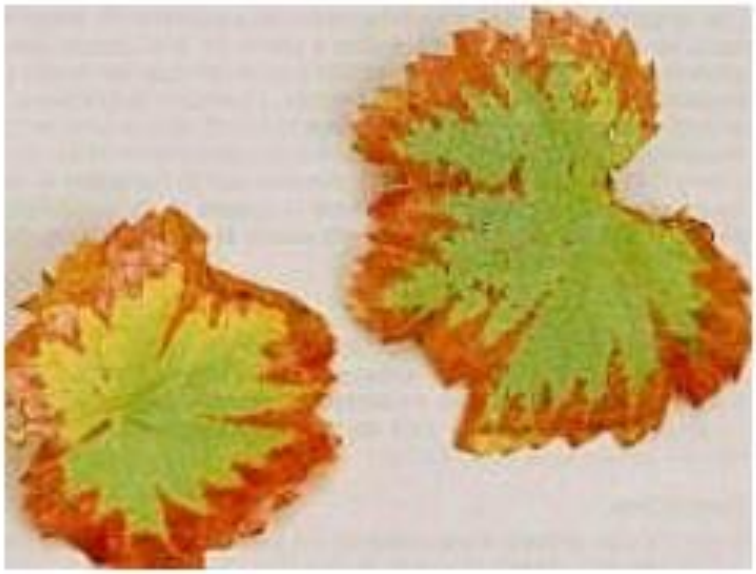
Izvor: https://www.google.hr/search?q=ciklus+fosfora+u+tlu&rlz=1C1AVFC

3. NEDOSTATAK FOSFORA

Nedostatak fosfora vrlo je česta pojava, a prvi simptom je slab rast biljaka. Kod jače izraženog nedostatka fosfora slabo se razvija korijenov sustav, cvjetanje i zrioba kasne, smanjena je tvorba proteina uz povišen sadržaj amida i nizak sadržaj vitamina. Hranidbena vrijednost poljoprivrednih proizvoda je smanjena uz znatno niži prinos kod manjka fosfora.

Simptomi nedostatka fosfora zapažaju se najprije kao tamnozelena boja lišća uz crvenkastu nijansu (Slika 3.). Biljke su manje, lišće kasni u razvoju uz kasnu pojavu kloroze, a starije lišće izumire (Sarić, 1983.). Tamnija boja lišća u prvoj fazi manjka fosfora je posljedica prestanka njihovog rasta uz gotovo normalnu sintezu klorofila. Pojava crvenkaste nijanse uzrokovana je povećanom sintezom antocijana što signalizira duži nedostatak fosfora. Kod strnih žita i kukuruza crvenkasta boja se javlja tipično na rukavcima donjeg lišća.

Fosfor se brzo premješta u biljci iz manje aktivnih tkiva i organa u mlađe i vitalnije dijelove. Zbog toga se kod nedovoljne raspoloživosti fosfora intenzivira aktivnost fosfataza.



Slika 3. Simptomi nedostatka fosfora

Izvor: www.pavin.hr/proizvod/esencijalni-elementi/

4. SUVIŠAK FOSFORA

Suvišak fosfora u prirodnim uvjetima relativno je rijetka pojava. Simptomi viška su usporen rast, tamne pjege na lišću koje se šire prema bazi lista i lišće otpada. Višak fosfora se ne manifestira izrazito na morfološkim osobinama, već se uglavnom odražava na kvalitetu prinosa (Sarić, 1983.). Veće količine fosfora ubrzavaju metabolizam i skraćuju vegetaciju, ubrzavaju cvjetanje i starenje biljaka. Ubrzavanje rasta skraćuje etape organogeneze što pogoduje postrnim usjevima. Kod glavnog usjeva može skratiti period tvorbe plodova ili nalijevanja zrna.



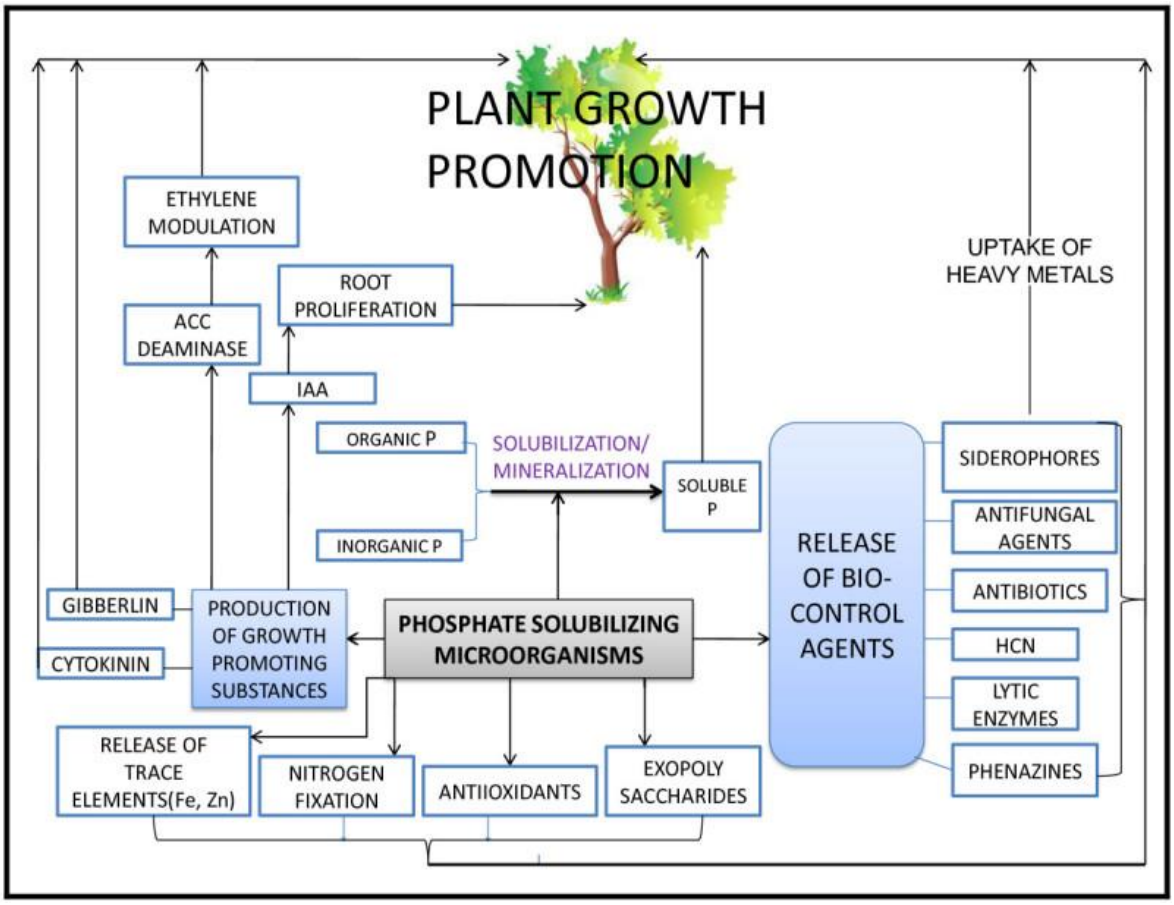
Slika 4. Simptomi suviška fosfora.

Izvor: www.google.hr/search?q=excess+phosphorus+symptoms&rlz=1C1AVFC

5. MIKROORGANIZMI I FOSFOR

Jedan od oblika vezivanja fosfora je i vezivanje fosfora putem mikroorganizama. Mikroorganizmi usvajaju fosfor, ugrađuju ga u svoj organizam, a nakon njihove smrti fosfor postaje dostupan biljkama i mikroorganizmima. U tlu fosfor brzo prelazi iz lako u teže topive spojeve. Na taj način se fosfor veže u tlu – fiksira i postaje teže pristupačan biljkama.

Fosfor se u tlu nalazi i u obliku fosfornih minerala i raznih organska fosfornih spojeva. Iz minerala fosfor se oslobađa njihovim raspadanjem, a iz organskih spojeva mineralizacijom, tj. radom mikroorganizama.



Slika 5. Mehanizmi otapanja fosfora

Izvor: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4320215/figure/Fig3

Zemljišni mikroorganizmi imaju glavnu ulogu po pitanju pristupačnosti fosfora za biljke (Richardson, 2001.). Postoje snažni dokazi da su zemljišne bakterije sposobne transformirati fosfor u oblik pristupačan biljkama (Slika 5.). O tim bakterijama se govori još od 1903.

godine (Goldstein, 2000.). Mikroorganizmi asimiliraju otopljeni fosfor i tako sprječavaju njegovu fiksaciju ili adsorpciju (Khan i Joergesen, 2009.).

Mikroorganizmi utječu na plodnost tla procesom razgradnje, mineralizacije i skladištenjem/otpuštanjem nutrijenata. Stoga su bakterije koje prevode fosfor u biljci pristupačni oblik izvor fosfora za biljke. Na taj se način može smanjiti gnojidba fosforom i do 50% bez da to utječe na smanjenje prinosa (Jilani i sur., 2007., Yazdani i sur., 2009.).

Prisutnost ovih bakterija daje mogućnost proizvodnje usjeva uz optimalnu gnojidbu fosforom. Sposobnost ovih bakterija je u direktnoj vezi s pH tla. Izlučevine korijena isto mogu promijeniti koncentraciju fosfora u otopini tla.

Osim bakterija, veliku ulogu u prevođenju nepristupačnih oblika fosfora u biljkama pristupačne ima i veliki broj korisnih gljiva. Najvažnije među njima su mikorizne gljive (Slika 6.).

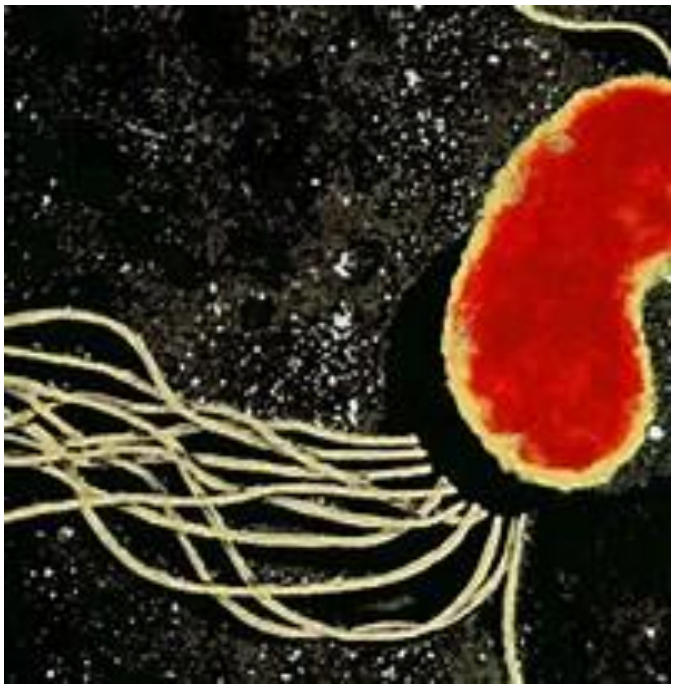


Slika 6. Mikorizne gljive na korijenu biljke.

Izvor: www.google.hr/search?q=mycorrhizae&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816&source

6. BAKTERIJE KOJE PREVODE FOSFOR U BILJKAMA PRISTUPAČNE OBLIKE

Rodovi bakterija koji imaju mogućnost otapanja fosfora su *Pseudomonas, Bacillus, Rhizobium i Enterobacter* (Khan i sur., 2009.). Istu mogućnost imaju i gljive Penicillium i Aspergillus (Whitelaw, 2000.). Veliku važnost imaju bakterije: Bacillus megaterium, Bacillus circulans, Bacillus subtilis, Bacillus polymyxa, Bacillus sircalmous, Pseudomonas striata, Pseudomonas fluorescens i Enterobacter (Subbarao, 1988., Kucey i sur., 1989.).



Slika 7. *Pseudomonas fluorescens*

Izvor: www.en.wikipedia.org/wiki/Pseudomonas_fluorescens

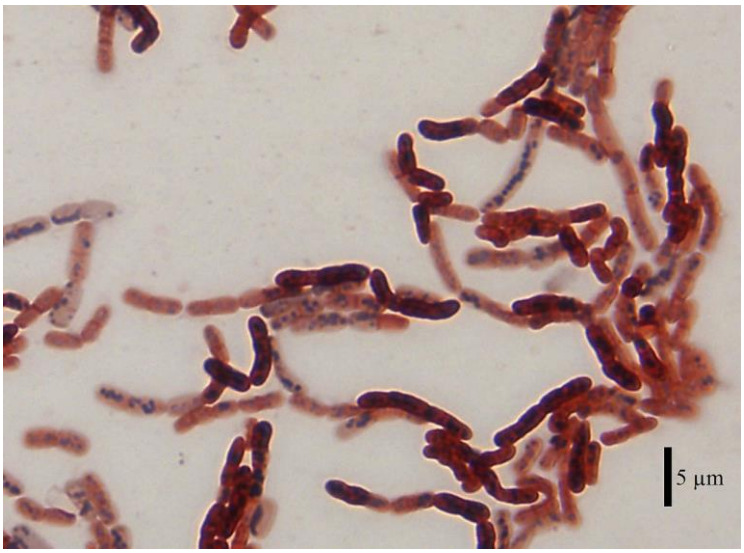
Jedna od najvažnijih bakterija je *Pseudomonas fluorescens* (Slika 7.) koja ne samo da stvara fosfor pristupačnim biljkama, već proizvodi antibiotike i fitohormone (Salehi i Aminpanah, 2015.). *Pseudomonas fluorescens* je Gram-negativna bakterija koja se nalazi u mnogim tlima širom svijeta, ali u malim količinama. Dobar je kandidat za upotrebu kao biofertilizator.

Rizosfera sadržava visoku koncentraciju metabolički aktivnih mikroorganizama (Vazquez i sur., 2000.). Količina bakterija po gramu plodnog tla je između 10^1 i 10^{10}, a njihova masa

iznosi oko 2 000 kg/ha. Količina bakterija ovisi o svojstvima tla (fizikalna i kemijska svojstva, organska tvar i količina P). Velika količina ovih bakterija nalazi se u poljoprivrednim tlima, te u tlima pod prirodnom vegetacijom (Yahya i Azawi, 1998.).

Neke vrste bakterija imaju sposobnost mineralizacije i otapanja organskog i anorganskog fosfora. Aktivnost ovih bakterija određena je mogućnošću otpuštanja metabolita kao što su organske kiseline. Otapanje fosfora provodi veliki broj saprofitskih bakterija i gljiva (Whitelaw, 2000.). Anorganski fosfor se otapa pomoću organskih ili anorganskih kiselina izlučevina bakterija (Stevenson, 2005.). Mogućnost otapanja fosfora bakterijama u direktnoj je korelaciji s pH sredine. Izlučevine korijena također mogu promijeniti koncentraciju fosfora u otopini tla (Hinsinger, 2001.). Anorganske kiseline mogu otapati fosfor ali su manje efikasne u usporedbi s organskim kiselinama pri istom pH (Kim i sur., 1997.).

U biološkoj kontroli biljnih bolesti koriste se različiti benefitni mikroorganizmi, a *Pseudomonas fluorescens*, kao i predstavnici roda *Bacillus* su se pokazali kao učinkoviti u zaštiti tla od gljivičnih bolesti (Kong i sur., 2016.). Istraživanja ovih autora pokazala su da ova bakterija utječe na mikrobnu zajednicu tla pod rajčicom.

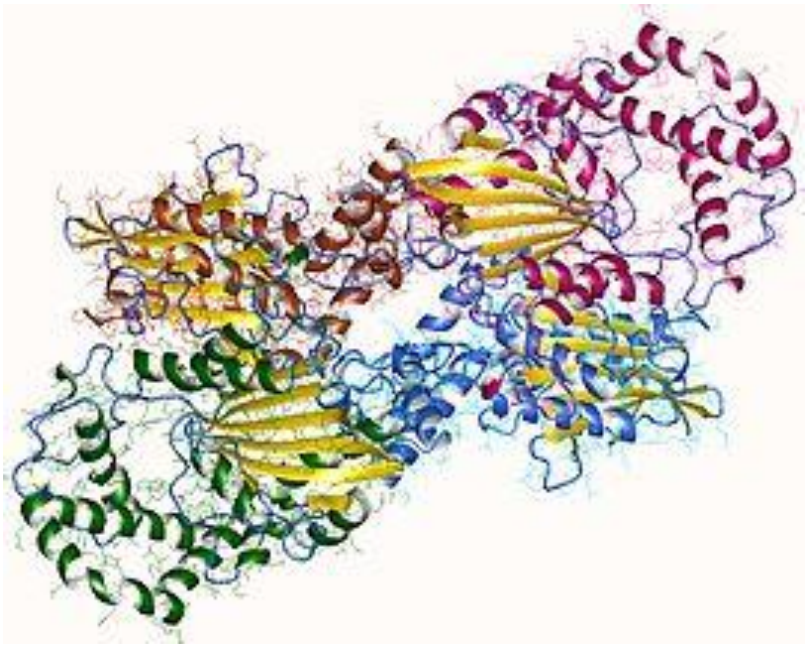


Slika 8. *Bacillus megaterium*

Izvor: www.google.hr/search?q=bacillus+megaterium&rlz=1C1AVFC

6.1. Mineralizacija organskog fosfora

Mineralizacija organskog fosfora tla igra važnu ulogu u kruženju fosfora. Organski fosfor može sačinjavati 4 – 90 % od ukupnog fosfora u tlu. Potencijal mineralizacije fosfora ima gotovo polovina mikroorganizama u tlu i korijenje biljaka. Glavni mehanizam mineralizacije organskog fosfora u tlu je proizvodnja acid fosfataze (Hila i Fraga, 2000.). Otpuštanje organskih aniona pomoću korijena biljke ili mikroorganizama hidrolizira organski fosfor tla ili ga dijeli od organskih rezidua. Mješavine kultura (*Bacillus, Pseudomonas, Streptomyces*…) su najefikasnije u mineralizaciji (Molla i sur., 1984.). Različite bakterije poboljšavaju otapanje fosfora iz tla u različitim količinama (Henri i sur., 2008.).

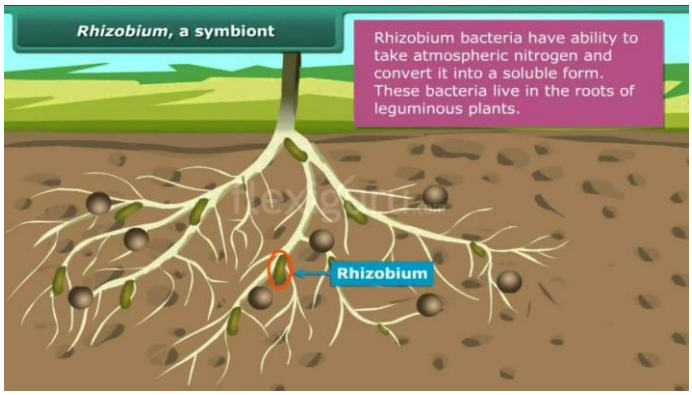


Slika 9. Acid fosfataza

Izvor: www.google.hr/search?q=acid+fosfataze&rlz

6.2. Interakcija bakterija i ostalih mikroorganizama

U prirodi postoji simbiotski odnos između bakterija i biljaka gdje bakterije priskrbljuju otopljeni fosfor za biljku. Ove bakterije skupa s drugim benefitnim mikroorganizmima povećavaju biljnu proizvodnju. Istovremena aplikacija bakterija roda *Rhizobium* (Slika 10.) ili arbuskularnih mikoriznih gljiva stimulira rast biljaka. Sinergijsku interakciju na rast biljaka uočili su i Zaidi i suradnici (2003.) prilikom inokulacije s vrstama rodova *Azospirillum* (Slika 11.) i *Azotobacter* (Slika 12.).



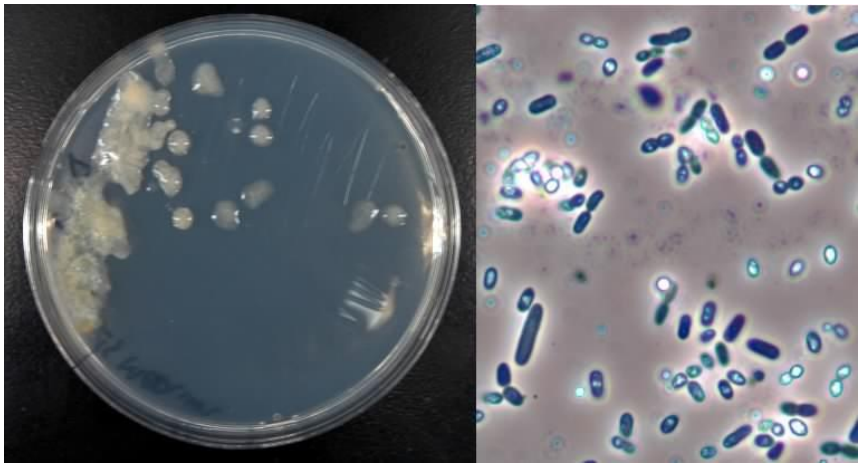
Slika 10. *Rhizobium* spp.

Izvor: www.google.hr/search?q=Rhizobium&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816&source



Slika 11. *Azospirillum* spp.

Izvor: www.google.hr/search?q=Azospirillum&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816&source



Slika 12. *Azotobacter* spp.

Izvor: www.google.hr/search?q=azotobacter&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816

6.3. Utjecaj bakterija na biljnu proizvodnju

Fosfor u tlu često nije u povoljnom obliku za usvajanje od strane biljke. Bakterije mogu povećati prinos i do 70% (Verma, 1993.). Mikroorganizmi s mogućnošću otapanja fosfora povećavaju dostupnost fosfora i bolju fiksaciju dušika, a time bolji rast biljaka. *Pseudomonas* spp. povećava broj nodula, suhu masu nodula i prinos zrna kod soje (Son i sur., 2006.). Isti autori navode da je uz ove benefite povećan i ekonomski učinak, odnosno smanjena je cijena gnojidbe.

Inokulirane biljke (*Pisum sativum* L.) bakterijama rezultiraju većim rastom (Oteino i sur., 2015.). Isto istraživanje je pokazalo da je ovaj način dobra alternativa kemijskoj gnojidbi. Odnosno, sposobnost zemljišnih bakterija da prevedu fosfor biljkama pristupačni oblik, u konačnici, povećava prinos. Istraživanje je pokazalo i mogućnost endofitskih bakterija da proizvode glukonsku kiselinu i stimuliraju rast biljaka. Autori naglašavaju da je *Pseudomonas fluorescens* možda i idealan biofertilizator za komercijalnu upotrebu.

Prinos šećerne trske također raste uz ove bakterije (Sundara i sur., 2002.). Isti autor navode da je moguća redukcija fosfora i do 25% pri gnojidbi šećerne trske, ako se koristi u kombinaciji s bakterijama.

Rezultati istraživanja provedenih na kulturi *Vicia faba* L. (bob) uz prisutnost benefitne bakterije *Pseudomonas fluorescens* pokazuju značajno povećanje u visini biljaka, broju listova i grana, te u suhoj masi (Saeed i sur., 2016.). Bakterija ima važnu ulogu u pogledu pristupačnosti fosfora u tlu. Rezultati ovog istraživanja samo potvrđuju efikasnost ovih bakterija.

Slična istraživanja proveli su Panhwar i suradnici (2011.) na riži (*Oryza sativa* L.). Utjecaj bakterija se pokazao u većem sadržaju klorofila i većem razvoju korijena, a time i na većoj biomasi cijele biljke. Primjena bakterija uz kemijsku gnojidbu mogla bi biti prihvaćena kao održiva u kultivaciji riže.

Dokazano je da primjena kemijskih gnojiva povećava prinos, ali i jako utječe na zdravlje ljudi, tlo i okoliš. Stoga je primjena *Pseudomonas fluorescens* bakterija prihvatljiva alternativa mineralnim gnojivima (Alemu, 2013.).

Pseudomonas vrste pokazuju antimikrobnu aktivnost protiv *Fusarium oxysporum, Alternaria alternata, Collectotrichum sp., Erwin sp*. i *Xanthomonas sp.* (Parani i Saha, 2012.).

Bakterija *Pseudomonas fluorescens* i *Aspergillus awamori* u sinergiji pozitivno utječu na rast i prinos biljaka (Saxena i sur., 2016.). *Pseudomonas* spp. i simbioza korijena i gljiva (mikoriza) zajedno povećavaju sadržaj klorofila u listu ječma (Mehrvarz i sur., 2008.).

Afzal i Bano (2008.) u svom radu ispituju učinak kombinacije roda *Rhizobium* spp. i bakterija odgovornih za otapanje fosfora na prinos pšenice sa ili bez gnojidbe fosforom. Rezultati ovog istraživanja govore o značajnom povećanju mase korijena, visine biljke, prinosu zrna i proteina u listovima. Inokulacija bez gnojidbe nije učinkovita prema istom istraživanju.

7. IZGLEDI ZA BUDUĆNOST

Unatoč različitim ekološkim nišama i višestrukim funkcionalnim svojstvima, ovi mikroorganizmi tek trebaju ispuniti svoja obećanja kao komercijalni bio-inokulanti. Trenutni razvoj našeg razumijevanja funkcionalne raznolikosti, sposobnosti kolonizacije rizoma, načina djelovanja i pravilne primjene vjerojatno će olakšati njihovu upotrebu kao pouzdane komponente u upravljanju održivim poljoprivrednim sustavima. Iako su značajna istraživanja vezana uz PSM i njihovu ulogu u održivoj poljoprivredi učinjena tijekom posljednjih nekoliko desetljeća, potrebna tehnika ostaje još na početku. Ipak, uz svijest o ograničenjima postojećih metoda, može se očekivati ponovna procjena, tako da uporaba PSM-a kao potencijalnih biofertilizatora u različitim uvjetima tla postaje stvarnost.

Poboljšanje korištenja PSM-a jedna je od novonastalih mogućnosti za ispunjavanje poljoprivrednih izazova koje nameće još uvijek rastuća potražnja za hranom. Dakle, više nego ikada, dobivanje visokih prinosa glavni je izazov za poljoprivredu. Osim toga, u posljednjih nekoliko godina i proizvođači i potrošači sve su više usredotočeni na zdravlje i kvalitetu hrane, kao i na njihove organoleptička i nutritivna svojstva. Dakle, biotehnologija također će osigurati očuvanje našeg okoliša.

Međutim, prije nego PSM može doprinijeti takvim koristima, znanstvenici moraju naučiti više o njima i istražiti načine i sredstva za njihovu bolju iskoristivost u poljima poljoprivrednika. Buduća istraživanja trebala bi se usredotočiti na upravljanje međudjelovanjem biljaka i mikroba, osobito s obzirom na njihov način djelovanja i prilagodljivost uvjetima u ekstremnim okruženjima u korist biljaka. Nadalje, znanstvenici se trebaju baviti pitanjima, poput kako poboljšati djelotvornost biofertilizatora, što bi trebao biti idealan i univerzalni sustav isporuke, kako stabilizirati aplicirane mikroorganizme u tlima različitih svojstava, kao i kako dobiti maksimalnu korist od PSM aplikacije.

Biotehnološki i molekularni pristupi mogli bi razviti bolje razumijevanje o načinu djelovanja PSM-a koji bi mogao dovesti do uspješnije interakcije mikroorganizama i biljaka. Nastojanja bi također trebala biti usmjerena na korištenje PSM-a radi smanjenja primjene pesticida. Ukratko, PSM biotehnologija pruža izvrsnu priliku za razvoj ekološki prihvatljivih biofertilizatora fosfora koji će se koristiti kao alternativa kemijskim gnojivima.

8. MIKROBIOLOŠKI PREPARATI

Unos mikrobioloških preparata je važan u poljoprivrednoj proizvodnji. Na tržištu su ponuđena mikrobiološka gnojiva koja sadrže bakterije koje prevode nepristupačne oblike fosfora i dušika u biljkama pristupačne. Te oblike biljke mogu usvajati direktno putem korijena. Na taj način biljci postaju dostupni elementi koji su već prisutni u tlu, a smanjuje se primjena mineralnih gnojiva. Ovi preparati se primjenjuju u organskoj i tradicionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji (ratarstvo, povrćarstvo, cvjećarstvo, voćarstvo). Mikrobiološka gnojiva primjenjuju se zajedno sa sjetvom uz pomoć uređaja za deponiranje mikrogranula na sijačici.

Preparati sadrže rodove bakterija koje proizvode enzime proteaze i fosfataze koji razlažu organske spojeve u biljci pristupačne oblike fosfora. Bakterije su nanijete na specijalne nosače – mikrogranule s kojih se postepeno oslobađaju u dužem vremenskom periodu. Na ovaj način se biljka snabdijeva fosforom u prvim fazama rasta i razvoja, odnosno kada joj je i najpotrebnije. Ovako se postiže korištenje prirodnih resursa tla i smanjuje se upotreba mineralnih fosfornih gnojiva, pojeftinjuje se poljoprivredna proizvodnja i čuva se plodnost tla.

Primjenom ovih preparata dolazi do bržeg i ujednačenijeg rasta biljaka u početnim fazama razvoja. Bolje je ukorijenjivanje biljaka. Te biljke pokazuju veću otpornost na stresne uvjete. Tijekom vegetacije bolja je ishrana biljaka, veća je mikrobiološka aktivnost i plodnost tla. Preparati eliminiraju negativne učinke primjene mineralnih gnojiva. Dovode da bržeg razlaganje žetvenih ostataka. Poboljšavaju vodno-zračni režim tla, te bolje usvajanje fosfora, dušika, kalija i mikroelemenata iz tla.

Pripravci koji sadrže korisne mikroorganizme korisni su s različitih aspekata. Upotreba pripravaka na bazi korisnih mikroorganizama u poljoprivredi bazira se na tretmanima tla, sjemena ili sadnog materijala, uzgoju presadnica i folijarnim tretmanima uzgajanih biljaka u vegetaciji. Ovi preparati nemaju karencu i nisu otrovni za čovjeka i životinje.

9. ZAKLJUČAK

Fosfor je jedan od esencijalnih elemenata potrebnih za rast i razvoj biljaka. Regulira sintezu proteina u biljkama jer je komponenta komplekse strukture nukleinskih kiselina. Važan je kod diobe stanica i stvaranja novih tkiva. Fosfor ima važnu ulogu i kod procesa fotosinteze, disanja, transporta hranjiva kroz biljku …

Topivost fosfornih spojeva u tlu ograničavajući je činitelj raspoloživosti fosfora. Prema tome, osnovni procesi kruženja i transformacije fosfora u tlu agrosfere jesu: organska i mineralna gnojidba, unošenje ostataka biljaka i životinja, razgradnja minerala, mikrobiološka razgradnja organske tvari, mobilizacija fosfora mikrobiološkim aktivnostima, iznošenje fosfora usvajanjem korijenom biljke, imobilizacija fosfora mikrobiološkom fiksacijom, imobilizacija fosfora u obliku fosfata aluminija i željeza u kiselim tlima, imobilizacija fosfora u obliku kalcijevih fosfata u alkalnim tlima, ispiranje fosfata i erozija.

U prirodi fosfor neprestano kruži između tla i živih organizama, pa su uz ukupnu količinu fosfora u tlu vrlo značajni i elementi usvajanja fosfora: oblik u kojem se nalazi mineralni fosfor, topivost fosfora, imobilizacija fosfora i gubitci fosfora iz tla.

Kako bi se prebrodilo manjak fosfora u tlu, gnojidba fosforom mora biti redovita na poljoprivrednim tlima, a to ne samo da košta već je i za okoliš neprihvatljiva jer dolazi do eutrofikacije podzemnih voda. Zato je uporaba mikroorganizama ekonomski i okolišno prihvatljivija opcija za poboljšanje proizvodnje kod manje količine fosfora u tlu.

Mikroorganizmi benefitno utječu na rast i razvoj biljaka. Različite bakterije koloniziraju korijenje biljaka i rizosferu. Mnoge od tih rizobakterija su simbiotske i pomažu rast biljaka, štite ih od biotskih i abiotskih stresova i povećavaju pristupačnost nutrijenata koji bi inače bili nepristupačni. Aplikacija bakterija koje otapaju fosfor utječu benefitno na rast, prinos i kvalitetu.

10. POPIS LITERATURE

1. Afal, A., Bano, A. (2008.): Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). International journal of agriculture and biology. Vol. 10, No. 1: 85-88.

2. Alemu, F. (2013.): Isolation of Pseudomonas fluorescens from rhizospheric soli of faba bean and assessment of their phosphate solubility: in vitro study, Ethiopia. Scholars academic journal of biosciences 1 (7): 346 – 351.

3. Goldstein, A. H. (2000.): Bioprocessing of rock phosphate ore: essential technical considerations for the development of a successful commercial technology. Proc. 4th Int. Fert. Assoc. Tech. Conf. IFA, Paris, p. 220.

4. Henri, F., Laurette, N. N., Annette, D., John, Q., Wolfgang M., Francois-Xavier E., Dieudonne N. (2008.): Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. African J. Microbiol. Res. 2: 171-178.

5. Hilda, R., Fraga, R. (2000.): Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotech. Adv. 17: 319-359.

6. Hinsinger, P. (2001.): Bioavailability of soli inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant soli 237: 173-195.

7. Jilani, G., Akram, A., Ali, R. M., Hafeez, F. Y., Shamsi, I. H., Chaundhry, A. N., Chaundhry, A. G. (2007.): Enhancing crop growth, nutrients availability, economics and beneficial rhizosphere microflora through organic and biofertilizers. Ann. Microbiol. 57: 177-183.

8. Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Naqvi, S. M. S., Rasheed, M. (2009.): Phosphorus solubilizing bacteria: Occurrence, mechanisms and their role in crop production. J. agric. Boil. Sci. 1 (1): 48-58.

9. Khan, K. S., Joergesen, R. G. (2009.): Changes in microbial biomass and P fractions in biogenic household waste compost amended with inorganic P fertilizers. Bioresour. Technol. 100: 303-309.
10. Kim, K. Y., Jordan, D., McDonald, G. A. (1997.): Solubilization of hydroxyapatite by *Enterobacter agglomerans* and cloned *Escherichia coli* in culture medium. Biol. Fert. Soils 24: 347-352.

11. Kong, H. G., Kim, N. H., Lee, S. Y., Lee S-W. (2016.): Impact of a recombinant biocontrol bacterium, *Pseudomonas fluorescens* pc78, on microbial community in tomato rhizosphere. Plant Pathol. J. 32(2): 136-144.

12. Kucey, R. M. N., Janzen, H. H., Legget, M. E. (1989.): Microbial mediated increases in plant available phosphorus. Adv. Agron. 42: 199-228.

13. Mehrvarz, S., Chaichi, M. R., Alikhani, H. A. (2008.): Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of Barely (*Hoedeum vulgare* L.). Am-Euras. J. Agric. and Environ. Sci. 3: 822-828.

14. Molla, M. A. Z., Chowdhury, A. A., Islam, A., Hoque, S. (1984.): Microbial mineralization of organic phosphate in soil. Plant soil 78: 393-399.

15. Oteino, N., Lally, R. D., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K. J., Dowling, D. N. (2015.): Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. Frontiers microbiology 6. Doi: 1.3389/fmicb.2015.00745.

16. Panhwar, Q. A., Radziah, O., Zaharah Rahman, A., Sariah, M., Mohd Razi, I., Naher, U. A. (2011.): Contribution of phosphate-solubilizing bacteria in phosphorus bioavailability and growth enhancement of aerobic rice. Spanih journal of agricultural research 9(3): 810-820.

17. Parani, K., Saha, B. K. (2012.): Prospects of using phosphate solubilizing *Pseudomonas* as bio fertilizer. European journal of biological sciences 4 (2): 40 - 44.

18. Richardson, A. E. (2001.): Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. Aust. J. Plants Physiol. 28:897-906.

19. Salehi, B., Aminpanah, H. (2015.): Effects of phosphorus fertilizer rate and Pseudomonas fluorescens strain on field pea (*Pisum sativum* subsp. *arvense* (L.) Asch.) growth and yield. Acta agriculturae Slovenica, 105-2: 213-224.

20. Sarić, M. R. (1983.): Fiziologija biljaka. Naučna knjiga, Beograd. 570.

21. Saeed, F. H., Alwan, U. A., Suhail, A., Zameil, Q. (2016.): Effects of phospforus fertilization and *Pseudomonas fluorescens* bacteria on the growth and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars. European academic research. Vol. 4, issue 3: 3216 – 3229.

22. Saxena, J., Saini, A., Kushwaha, K., Ariňo, A. (2016.): Sinergistic effect of plant growth promoting bacterium Pseudomonas fluorescens and phospfate solubilizing fungus Aspergillus awamori for growth enhancement of chickpea. Indian journal of biochemistry and biophysics. Vol. 53: 135 – 143.

23. Son, T. T. N., Diep, C. N., Giang, T. T. M. (2006.): Effect of bradyrhizobia and phosphate solubilizing bacteria on the germination of soybean in rotational system in the Mekong delta. Omonrice. 14: 48-57.

24. Stevenson, F. J. (2005.): Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients. John Wiley and sons. New York.

25. Subbarao, N. S. (1988.): Phosphate solubilizing micro-organism. In: Biofertilizer in agriculture and forestry. Regional Biofert. Dev. Centre, Hissar, India. Pp. 133-142.

26. Sundara, B., Natarajan, V., Hari, K. (2002.): Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane yields. Field crops res. 77: 43-49.

27. Vazquez, P., Holguin, G., Puente, M., Cortes A. E., Bashan, Y. (2000.): Phosphate solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semi arid coastal lagoon. Biol. Fert. Soils 30: 460-468.

28. Verma, L. N. (1993.): Biofertiliser in agriculture. In: P. K. Thampan (ed.) Organics in soil health and crop production. Peekay tree crops development foundation, Cochin, India. 152-183.

29. Whitelaw, M. A. (2000.): Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. Adv. Agron. 69: 99-151.

30. Yahya, A., Azawi, S. K. A. (1998.): Occurrence of phosphate solubilizing bacteria in some Iranian soils. Plant Soil 117: 135-141.

31. Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H., Esmaili, M. A. (2009.): Effects of Phosphate solubilisation microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mays* L.). Proc. World Acad. Science, Eng. Technol. 37: 90-92.

32. Zaidi, A., Khan, M. S., Amil, M. (2003.): Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Eur. J. Agron. 19: 15-21.

https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid

https://www.google.hr/search?q=ciklus+fosfora+u+tlu&rlz=1C1AVFC

www.pavin.hr/proizvod/esencijalni-elementi/

www.google.hr/search?q=excess+phosphorus+symptoms&rlz=1C1AVFC

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4320215/figure/Fig3

www.google.hr/search?q=mycorrhizae&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816&source

www.en.wikipedia.org/wiki/Pseudomonas_fluorescens

www.google.hr/search?q=bacillus+megaterium&rlz=1C1AVFC

www.google.hr/search?q=acid+fosfataze&rlz

www.google.hr/search?q=Rhizobium&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816&source

www.google.hr/search?q=Azospirillum&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816&source

www.google.hr/search?q=azotobacter&rlz=1C1AVFC_enHR816HR816

11. SAŽETAK

Biljke dobivaju fosfor iz otopine tla kao fosfatnog aniona. Bakterije koje otapaju fosfor igraju ulogu u opskrbi fosforom pojačavajući dostupnost fosfora biljkama i to oslobađanjem iz anorganskog i organskog fosfora tla otapanjem i mineralizacijom. Glavni mehanizam u tlu za otapanje mineralnih fosfata je snižavanje pH tla mikrobiološkom proizvodnjom organskih kiselina i mineralizacijom organskog fosfora fosfatazom. Upotreba bakterija koje otapaju fosfor kao inokulanata povećava unos fosfora. Ove bakterije također povećavaju mogućnost uporabe fosfatnih stijena u proizvodnji usjeva. Veća učinkovitost ovih bakterija je prikazana kroz koinokulaciju s drugim korisnim bakterijama i mikorizama.

Značaj benefitnih bakterija u poljoprivrednoj proizvodnji od esencijalnog je značaja. Osim što se koriste kao biofungicidi i bioinsekticidi, sve veća je njihova uloga u kojoj oni proizvodima svog metabolizma prevode biljkama nepristupačne oblike hraniva u biljkama pristupačne. Zahvaljujući tom svojstvu omogućena je redukcija kemijskih pesticida i mineralnih gnojiva, što je s ekološkog i ekonomskog gledišta od iznimnog značaja.

12. SUMMARY

Plants acquire phosphorus from soil solution as phosphate anion. Phosphorus solubilizing bacteria play role in phosphorus nutrition by enhancing its availability to plants through release from inorganic and organic soil P pools by solubilization and mineralization. Principal mechanism in soil for mineral phosphate solubilization is lowering of soil pH by microbial production of organic acids and mineralization of organic P by acid phosphatase. Use of phosphorus solubilizing bacteria as inoculants increases P uptake. These bacteria also increase prospect of using phosphatic rocks in crop production. Greater efficiency of P solubilizing bacteria has been shown through co-inoculation with other beneficial bacteria and mycorrhiza.

The importance of beneficial bacteria in agricultural production is of crucial importance. Besides being used as biofungicides and bioinsecticides, their role is ever greater where they products of their metabolism translates plants inaccessible forms of nutrients in plants affordable. Thanks to this ability it is enabled reduction of chemical pesticides and mineral fertilizers, which is of utmost importance from an ecological and economic point of view.

13. POPIS SLIKA

Redni broj	Opis	Stranica
Slika 1.	Kruženje fosfora u prirodi	5
Slika 2.	Usvajanje fosfora u tlu	8
Slika 3.	Simptomi nedostatka fosfora	9
Slika 4.	Simptomi suviška fosfora	10
Slika 5.	Mehanizmi otapanja fosfora	11
Slika 6.	Mikorizne gljive na korijenu biljke.	12
Slika 7.	*Pseudomonas fluorescens*	13
Slika 8.	*Bacillus megaterium*	14
Slika 9.	Acid fosfataza	15
Slika 10.	*Rhizobium* spp.	16
Slika 11.	*Azospirillum* spp.	16
Slika 12.	*Azotobacter* spp.	17

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku **Diplomski rad**
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Diplomski sveučilišni studij, smjer

ZNAČAJ BENEFITNE BAKTERIJE PSEUDOMONAS FLUORESCENS
NA USVAJANJE FOSFORA KOD BILJAKA

Andrej Stanković

Sažetak:

Biljke dobivaju fosfor iz otopine tla kao fosfatnog aniona. Bakterije koje otapaju fosfor igraju ulogu u opskrbi fosforom pojačavajući dostupnost fosfora biljkama i to oslobađanjem iz anorganskog i organskog P tla otapanjem i mineralizacijom. Glavni mehanizam u tlu za otapanje mineralnih fosfata je snižavanje pH tla mikrobiološkom proizvodnjom organskih kiselina i mineralizacijom organskog P fosfatazom. Upotreba bakterija koje otapaju fosfor kao inokulanata povećava unos P. Ove bakterije također povećavaju mogućnost uporabe fosfatnih stijena u proizvodnji usjeva. Veća učinkovitost ovih bakterija je prikazana kroz koinokulaciju s drugim korisnim bakterijama i mikorizama.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Mentor: prof. dr. sc. Suzana Kristek

Broj stranica: 31
Broj grafikona i slika: 12
Broj tablica: 0
Broj literaturnih navoda: 44
Broj priloga: 0
Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: *Pseudomonas fluorescens*, fosfor, biljka, usvajanje fosfora, korisne bakterije

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. Izv.prof.dr.sc. Brigita Popović, predsjednik

2. Prof.dr.sc. Suzana Kristek, mentor

3. Izv.prof.dr.sc. Drago Bešlo, predsjednik, član

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek **Graduate thesis**
Faculty of Agrobiotehnical Sciensis Osijek
Graduate University Studies,

THE SIGNIFICANT OF BENEFIT BACTERIA *PSEUDOMONAS FLUORESCENS*
THE ADOPTION OF PHOSPHORUS IN PLANTS

Andrej Stanković

Abstract:

Plants acquire phosphorus from soil solution as phosphate anion. Phosphorus solubilizing bacteria play role in phosphorus nutrition by enhancing its availability to plants through release from inorganic and organic soil P pools by solubilization and mineralization. Principal mechanism in soil for mineral phosphate solubilization is lowering of soil pH by microbial production of organic acids and mineralization of organic P by acid phosphatase. Use of phosphorus solubilizing bacteria as inoculants increases P uptake. These bacteria also increase prospect of using phosphatic rocks in crop production. Greater efficiency of P solubilizing bacteria has been shown through co-inoculation with other beneficial bacteria and mycorrhiza.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotehnical Sciensis Osijek

Mentor: Suzana Kristek , Ph.D., full professor

Number of pages: 31
Number of figures: 12
Number of tables: 0
Number of references: 44
Number of appendices: 0
Original in: Croatian

Key words: *Pseudomonas fluorescens,* phosphorus, solubilization, plant, adoption of phosphorus, useful bacteria

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. Izv.prof.dr.sc. Brigita Popović, predsjednik

2. Prof.dr.sc. Suzana Kristek, mentor

3. Izv.prof.dr.sc. Drago Bešlo, predsjednik, član

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotehnical Sciensis Osijek, Vladimira Preloga 1, Osijek, Hrvatska