

Značaj i efekat primene PGPR na mikrobiološku aktivnost u rizosferi kukuruza

Nastasija Mrkovački • Mirjana Jarak • Ivica Đalović • Đorđe Jocković

received: 7 May 2012, accepted: 6 December 2012

© 2012 IFVC

doi:10.5937/ratpov49-1915

Izvod: Mikroorganizmi učestvuju u stvaranju plodnosti zemljišta, kako potencijalne tako i efektivne. Mikroorganizmi omogućavaju odvijanje procesa humifikacije i dehumifikacije i zauzimaju centralno mesto u kruženju neophodnih hranljivih makro i mikroelemenata. Zona zemljišta koja okružuje korenov sistem biljaka i pod uticajem je njegovih izlučevina može se definisati kao rizosfera. Svojim korenskim izlučevinama kukuruz može značajno da utiče na sastav i brojnost mikroorganizama u rizosferi. Biofertilizatori su mikrobiološka đubriva koja sadrže selekcionisane visoko efektivne sojeve bakterija, algi i gljiva izolovane iz zemljišta. Njihovim unošenjem u zemljište aktiviraju se odgovarajući mikrobiološki procesi koji omogućavaju bolje i ravnomernije snabdevanje biljaka azotom, fosforom i kalijumom, kao i nekim mikroelementima. Primenom biofertilizatora koji sadrže rizobakterije promotore biljnog rasta - PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) smanjuje se upotreba skupih azotnih đubriva, omogućava se biljci lakše usvajanje fosfora i utiče na pravac i dinamiku mikrobioloških procesa.

Ključne reči: biodubriva, đubrenje, fosfor, izlučevine, koren, kukuruz, mikroorganizmi, promotori biljnog rasta, rizosfera, zemljišta

Uvod

U zemljištu kao prirodnom višekomponentnom sistemu živi veliki broj različitih grupa mikroorganizama. Mikroorganizmi učestvuju u stvaranju plodnosti zemljišta, kako potencijalne, tako i efektivne. Mikrobiološkim procesima omogućena je mineralizacija složenih organskih jedinjenja do pristupačnih biljnih asimilativa (Jarak & Čolo 2007).

Brojna istraživanja u svetu su pokazala da postoji uska veza između zemljišnih mikroorganizama, korena biljaka i zemljišnih agregata-čestica. Funkcionisanje ove zajednice se odigrava u dinamičnom okruženju koje je poznato pod nazivom rizosfera. Razlike

u pogledu fizičkih, hemijskih i bioloških karakteristika rizosfernog zemljišta uslovljavaju promene u mikrobnom diverzitetu, brojnosti i enzimatskoj aktivnosti mikroorganizama.

Brojnost, aktivnost i bioraznovrsnost mikroorganizama u zemljištu činioци su koji određuju nivo biogenosti, odnosno njegovu plodnost (Stenberg 1999, Jarak & Đurić 2008). Na zastupljenost pojedinih grupa mikroorganizama i njihovu enzimatsku aktivnost utiče veliki broj faktora (tip zemljišta, način obrade/korišćenja, primena organskih i mineralnih đubriva, pesticida, agromeliorativne mere, i dr.) (Hoffmann et al. 2006). Mikroorganizmi omogućavaju odvijanje procesa humifikacije i dehumifikacije zauzimajući centralno mesto u kruženju neophodnih hranljivih makro i mikroelemenata. Azotofiksacija je proces biološkog vezivanja azota od strane

N. Mrkovački • I. Đalović • Đ. Jocković
Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30,
21000 Novi Sad, Serbia
e-mail: nastasija.mrkovacki@ifvns.ns.ac.rs

M. Jarak
University of Novi Sad, Faculty of Agriculture,
Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

Acknowledgment: This study is a part of the project TR31073 „Improvement of maize and sorghum production under stress conditions“ financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

mikroorganizama, te na taj način obogaćuje zemljište azotnim jedinjenjima (Bashan 1998). Pored toga, mikroorganizmi oslobađaju pojedine hranljive elemente koji se nalaze u organskoj materiji (N, P, S, C).

Efektivnost primene mikroorganizama u biljnoj proizvodnji zavisi od biljne vrste, vrste mikroorganizama, količine mineralnih đubriva, vremena i mesta uzorkovanja (Govedarica 1986). Eksperimentalna i teorijska saznanja ukazuju na opravdanost primene mikroorganizama u biljnoj proizvodnji s ciljem što boljeg iskorišćenja potencijala biljaka i mikroorganizama. Nakon primene, većina ovih mikroorganizama dospeva u rizosferu zemljište, tu se umnožavaju i intenziviraju mikrobiološke procese. Intenziviranjem mikrobioloških procesa ubrzava se mineralizacija i stvara veća količina biljnih hraniva.

Cilj ovog rada je bio da se ukaže na značaj primene PGPR mikroorganizama na mikrobiološku aktivnost u rizosferi kukuruza.

Rizosfera kukuruza i mikrobiološka aktivnost zemljišta

Rizosfera je dinamičan sistem koji se odlikuje fizičkim, hemijskim i biološkim svojstvima. Rizosfera se može definisati kao zona zemljišta koja okružuje korenov sistem biljaka. Biološku komponentu čine biljni koren i rizosferni mikroorganizmi koji naseljavaju zemljište. Brojnost i mikrobiološka aktivnost u rizosferi zavise od količine i sastava korenskih izlučevina, habitusa i starosti korena (Dobbelaere et al. 2003). Mikroorganizmi koji naseljavaju ovu složenu sredinu utiču na zdravstveno stanje useva i prinos (Welbaum et al. 2004).

Termin rizosfera još je 1904. godine predložio *Hiltner*. Ona predstavlja interakciju zemljišta, biljke i mikroorganizama, odnosno zonu intenzivne mikrobiološke aktivnosti. Na osnovu istraživanja u oblasti fiziologije biljaka utvrđeno je da korenske izlučevine čine oko 5% od biljne mase, što značajno utiče na kvantitativnu i kvalitativnu zastupljenost mikroorganizama. Izlučevine korena razlikuju se po hemijskom sastavu u zavisnosti od biljne vrste i kao takve ugrađuju u mikrobnu biomasu (Das & Debnath 2005). Količina i sastav organske materije utiču na formiranje mikrobioloških zajednica u zemljištu. S obzirom da većina mikroorganizama koji žive u zemljištu za svoje potrebe zahtevaju organske

izvore hranljivih materija i energije, opšte je pravilo da zemljišta s većim sadržajem organske materije sadrže i veći broj mikroorganizama (Bo et al. 2007).

Kukuruz, kao poljoprivredna kultura, svojim korenskim izlučevinama može značajno da utiče na sastav i brojnost mikroorganizama ne samo u rizosferi, već i u okolnom zemljištu. Biljka kukuruza stimuliše razvoj velikog broja mikroorganizama: amonifikatora, odnosno proteolitičkih bakterija, celulolitičkih bakterija, gljiva i azotobaktera. Međutim, zastupljenost ovih mikroorganizama u rizosferi je različita. Najveći je broj amonifikatora, zatim celulolitičkih bakterija, nešto manji gljiva i najmanji azotobaktera. Broj ovih mikroorganizama se smanjuje ukoliko je zona udaljenija od korena biljke. Dinamika ispitivanih grupa mikroorganizama u pojedinim zonama ukazuje na postojanje specifičnih odnosa između mikroorganizama različitih grupa, kako u istoj zoni, tako i između različitih zona (korenska, prikorenska, rizosfera, zemljište) (Hu et al. 1999).

Brojnost i raznolikost mikroorganizama u zemljištu pod usevom kukuruza, pored toga što zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta i klimatskih faktora, zavisi i od sistema gajenja, načina obrade zemljišta, hibrida, sastava korenskih eksudata i dr.

Tabela 1.

U tabeli 1 prikazana je brojnost mikroorganizama početkom i krajem vegetacije kukuruza u zavisnosti od đubrenja u dugogodišnjoj monokulturi. Uočava se povećanje ukupnog broja mikroorganizama, broja azotobaktera i fosfomobilizatora krajem vegetacije na svim varijantama oglada. Broj celulolitskih mikroorganizama i aktinomiceta opada u toku vegetacije na đubrenim varijantama, u slučaju celulolitskih i na kontroli. Dehidrogenazna aktivnost blago raste na neđubrenoj varijanti krajem vegetacije, što je u korelaciji sa ukupnim brojem mikroorganizama, brojem azotobaktera, aktinomiceta i fosfomobilizatora.

Singh & Ram (1987) ističu da postoji pozitivna korelacija između ukupnog broja mikroorganizama u zemljištu i aktivnosti enzima dehidrogenaze. Beese et al. (1994) su ispitivali enzimatsku aktivnost zemljišta na kome je gajena pšenica u plodoredu i monokulturi i uporedili je sa enzimatskom aktivnošću zemljišta bez vegetacije.

U zemljištu na kojem se odvija smena useva bila je veća aktivnost enzima nego u zemljištu pod monokulturom, a izrazito slaba aktivnost je bila u nekultivisanom zemljištu. Dobijene vrednosti DHA na kontrolnoj varijanti bez primene đubriva ukazuju da je u momentu uzorkovanja na njima takođe bila nešto veća mikrobiološka aktivnost usled povoljnih ekoloških uslova. Odnosno, brojnost i enzimatska aktivnost mikroorganizama ne moraju uvek biti u pozitivnoj korelaciji, jer faktori spoljne sredine daleko više utiču na brojnost nego na samu aktivnost mikroorganizama (Singh & Rengel 2007). Međutim, aktivnost mikroorganizama na monokulturi može doprineti intenzivnijoj mineralizaciji hraniva što može biti jedan od razloga očuvanja prinosa (Pan et al. 2009). Istovremeno, oni mogu predstavljati konkurenciju biljkama, što može objasniti značajan pad prinosa na monokulturi pri nepovoljnim uslovima sredine. Naši rezultati su u skladu sa istraživanjima Liang et al. (2003) koji su izučavali brojnost i kvalitativni sastav mikroorganizama u rizosferi kukuruza gajenog u monokulturi, posle graška na zemljištu tipa černoziem. Utvrdili su da je najveća brojnost celulolitskih mikroorganizama, aminoheterotrofa, gljiva i miksobakterija bila u rizosferi kukuruza gajenog u monokulturi i da im brojnost raste na kraju vegetacije. Dugogodišnjim gajenjem biljaka bez đubrenja smanjuje se prinos (Milošev 1990) i mikrobiološka aktivnost, ali je u plodoredu ipak viša nego u monokulturi. Pored toga utvrđeno je da variranje brojnosti pojedinih grupa mikroorganizama u zemljištu zavisi od godine, što pokazuje da i vremenski uslovi tokom uzimanja uzorka i tokom vegetacije mogu značajno doprineti njihovoj aktivnosti (uticaj godine).

Azot i mikroorganizmi

Azot je ključni elemenat prinosa i najčešće je ograničavajući faktor ostvarivanja visokih i stabilnih prinosa. Veoma često se ističe da je azot najvažniji među neophodnim hranljivim elementima, jer u značajnom stepenu utiče na rast i produkciju biljaka (Ubavić & Bogdanović 2001). Specifično za azot je što se u zemljištu ne mogu stvoriti trajne rezerve pristupačnih oblika ovog elementa. Mikroorganizmi imaju najznačajniju ulogu u kruženju azotnih formi

u prirodi. Pored toga što aktivno učestvuju u procesima mobilizacije i imobilizacije azotnih formi, posebna grupa mikroorganizama (diazotrofi) sposobna je da vezuje atmosferski azot i da ga predaje biljci. Vezivanje atmosferskog azota u procesu biološke fiksacije azota je najvažnija komponenta u ciklusu kruženja azota u prirodi sa posebnim značajem za poljoprivredu (Mrkovački & Milić 2001).

Fosfor i mikroorganizmi

Pored azota, rast biljaka direktno zavisi i od fosfora, koji je najčešće prisutan u zemljištu u formama koje su nepristupačne biljkama. Bakterije iz rodova *Bacillus* i *Azotobacter* mogu sintetisati organske kiseline i fosfataze koje će nepristupačan fosfor prevesti u biljkama pristupačnu formu (Cherr et al. 2006, Wilhelm et al. 2007).

Velike rezerve organskog fosfora u zemljištu ne mogu se usvojiti od strane biljaka, pa je uloga mikroorganizama u njihovom razlaganju nezamenjiva. Deo ciklusa fosfora koji je značajan za biljke i zemljišne organizme zavistan je i od rastvaranja lako rastvorljivih jedinjenja fosfora. Intenzitet kruženja fosfora u zemljištu je tesno povezan sa intenzitetom biološkog ciklusa u kojem mikroorganizmi imaju centralnu ulogu (Corrales et al. 2007). Značajniji procesi iz ciklusa fosfora su proces usvajanja fosfora od strane biljaka, kao i mineralizacija i imobilizacija. Mikroorganizmi utiču na stepen snabdevenosti biljke fosforom putem mineralizacije organskih jedinjenja fosfora, imobilizacijom pristupačnog fosfora, kao i rastvaranjem nerastvorljivih mineralnih oblika fosfora (helatni agensi). Mineralizacija i imobilizacija su dva procesa koji se istovremeno odvijaju u zemljištu, a koji proces će biti dominantan zavisi pre svega od sadržaja fosfora u organskoj materiji koja se razlaže (Lucy et al. 2004).

Mikrobiološka biomasa fosfora predstavlja mali, ali veoma labilni rezervoar potencijalno pristupačnih biljnih asimilativa u zemljištu. Mikrobiološki fosfor ima centralnu ulogu u procesima kruženja fosfora u zemljištu, jer održava nivo imobilizacije fosfora od strane mikroorganizama. Mikroorganizmi koji rastvaraju organske i neorganske fosfate pripadaju grupi koja je označena kao PSM (*Phosphate Solubilization Microorganisms*, PSM) (Rodriguez & Fraga 1999).

Primena PGPR kod kukuruza

Bakterije koje žive slobodno u zemljištu a pozitivno utiču na rast biljaka najčešće se karakterišu kao bakterije koje pospešuju biljni rast, a sposobne su da to čine time što koloniziraju koren biljaka. Istraživanja ovih bakterija su se bitno proširila od uvođenja termina PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) i ukazuju na njihov značaj (Kloepper & Schroth 1978). PGPR se takođe nazivaju rizobakterije koje pospešuju zdravlje biljaka (PHPR, *Plant Health Promoting Rhizobacteria*) ili bakterije koje pospešuju nodulaciju (NPR, *Nodule Promoting Rhizobacteria*) (Mrkovački & Bjelić 2011).

U tom smislu korišćenje PGPR pronašlo je potencijalnu ulogu u razvoju održivih sistema biljne proizvodnje (Sturz & Nowak 2000, Shoebitz et al. 2009). Različiti PGPR se danas koriste širom sveta u cilju povećanja biljne produkcije (Burd et al. 2000). Nalaze se u rizosferi koja je veoma važna zemljišna zona za interakcije biljke i mikroorganizama. Povećanje prinosa primenom PGPR limitirano je varijabilnošću između rezultata dobijenih u laboratoriji, u staklari i u polju (Bashan & Holguin 1998, Milošević et al. 2006).

Primenom biofertilizatora koji sadrže PGPR smanjuje se upotreba skupih azotnih đubriva, omogućava se biljci lakše usvajanje fosfora, zatim se utiče na pravac i dinamiku mikrobioloških procesa koji posredno utiču na održavanje i povećanje plodnosti zemljišta (Mrkovački et al. 2012). Primenom azotofiksatora u proizvodnji kukuruza izvesne količine mineralnog azota mogu biti zamenjene biološkim azotom (Govedarica i sar. 1998, Milić i sar. 2004). U proizvodnji ratarskih i povrtarskih kultura najviše se primenjuje rod *Azotobacter* (Mrkovački & Milić 2001).

Najčešći diazotrofi u rizosferi kukuruza su *Enterobacter* spp., *Rahnella aquatilis*, *Paenibacillus azotofixans*, *Azospirillum* spp., *Bacillus circulans* i *Klebsiella* sp. *A. brasilense* i *A. irakenzei* koriste se kao inokulanti u proizvodnji kukuruza. *Azospirillum lipoferum* i *Azospirillum indigenes* su vrste bakterija koje takođe mogu da utiču na povećanje prinosa.

Gholami et al. (2009) su ispitali uticaj šest sojeva PGPR na klijanje, rast ponika i prinos biljaka kukuruza. Svi sojevi izuzev *Azospirillum lipoferum* povećali su klijavost semena za 18,5%

u odnosu na neinokulisanu varijantu – kontrolu. Poljski i laboratorijski ogledi su pokazali da diazotrofi značajno utiču na povećanje kvaliteta zrna, biomasa, sadržaj azota u zemljištu i na kraju na prinos.

U tabeli 2 prikazana je brojnost mikroorganizama u rizosferi kukuruza inokulisanog sa *Azotobacter chroococcum*. Inokulacija je pokazala pozitivan efekat na brojnost mikroorganizama. Na varijantama primene đubriva i inokulacije došlo je do povećanja ukupnog broja mikroorganizama, slobodnih azotofiksatora, aktinomiceta i fosfomobilizatora. Takođe je inokulacijom povećan i broj azotobaktera na neđubrenoj – kontrolnoj varijanti.

U istraživanjima Govedarice i sar. (1998) utvrđeno je da je inokulacija sa *Azotobacter chroococcum* uticala na povećanje prinosa zrna kukuruza i da je efekat zavisio od soja, hibrida i primenjenih količina NPK đubriva. Takođe je utvrđen istovetan uticaj inokulacije na prinos zrna po jedinici površine, odnosno hektaru. Ovi rezultati pokazuju mogućnost zamene određene količine mineralnih azotnih đubriva sa biofertilizatorima koji bi sadržali visoko efektivne proizvodne sojeve diazotrofa (Milošević & Govedarica 2001, Govedarica i sar. 2002). Bakterizacijom kukuruza sa sojevima *A. chroococcum*, *Azotobacter vinelandii*, *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus megatherium*, *Bacillus subtilis* i dr. u zavisnosti od doze primenjenog mineralnog azota dobijeno je povećanje ukupnog broja mikroorganizama, broja azotobaktera i bakterija iz ciklusa kruženja fosfora, kao i prinosa zrna kukuruza (Cvijanović et al. 2007).

Jarak et al. (2011) su u svojim istraživanjima utvrdili da se inokulacijom sa sojevima *Azotobacter-a* može uticati na povećanje prinosa kukuruza za više od 10%, kao da se povećala ukupna mikrobiološka aktivnost (Tab. 3).

Za proizvodnju biofertilizatora koriste se prethodno selekcionisane i aktivne kulture gljiva i bakterija, najčešće *Bacillus subtilis* i *Bacillus megatherium* var. *phosphaticus*. Ove bakterije takođe proizvode vitamine i druga biološki aktivna jedinjenja koja stimulatивно deluju na rast biljke (Compant et al. 2010). Od velikog značaja su i mikroorganizmi koji vrše razlaganje nerastvornih i za biljku nepristupačnih fosfata do pristupačnih, kao što je bakterija *Pseudomonas fluorescens* čijom se aplikacijom u zemljištima sa visokim sadržajem trikalcijum-fosfata postižu

Tabela 1. Brojnost mikroorganizama u rizosferi kukuruza početkom i krajem vegetacije (2010)
 Table 1. Number of microorganisms at beginning in maize rhizosphere and at the end of growing season (2010)

Varijanta ogleda Variant of experiment	Vreme uzimanja uzoraka* Time of sampling	Ukupan broj mikroorganizama (10 ⁷) Total number of microorganisms	Broj azotobaktera (10 ²) Number of Azotobacter	Celulolitski mikroorganizmi (10 ⁵) Cellulolytic microorganisms	Gljive (10 ⁴) Fungi	Aktino-micete (10 ⁴) Actinomycetes	Fosfomo- bilizatori (10 ⁴) P – mobilizing microorganisms	DH ($\mu\text{g TPF/g}^{-1}$ zemljišta/soil)
Kontrola Control	I	133,1	59,36	28,86	14,99	19,14	135,87	188
	II	142,0	120,80	19,28	12,05	27,66	151,22	236
NPK NPK	I	34,41	70,05	24,29	7,18	48,56	86,11	268
	II	189,49	95,33	13,72	14,32	22,09	189,54	206
NPK + stajnjak NPK + manure	I	67,24	108,5	50,83	15,10	34,89	146,86	166
	II	213,78	134,05	18,68	14,46	31,31	209,61	189
NPK + kukuruzovina NPK + crop residue	I	223,57	87,43	40,10	12,59	19,66	190,00	199
	II	128,02	126,00	16,77	17,37	28,32	217,63	179
Prosek/Average		141,45	100,19	26,57	13,51	28,95	165,86	203,88

*I – početak vegetacije/at beginning of the growing season

II – kraj vegetacije/the end of growing season

Tabela 2. Brojnost mikroorganizama u rizosferi kukuruza inokulisanog sa *Azotobacter chroococcum* (2011)
 Table 2. Number of microorganisms in maize rhizosphere inoculated with *Azotobacter chroococcum* (2011)

Varijanta ogleda Variant of experiment	Inokulacija* Inoculation	Ukupan broj mikroorganizama (10 ⁷) Total number of microorganisms	Broj azotobacteria (10 ²) Number of Azotobacter	Celulolitski mikroorganizmi (10 ⁵) Cellulolytic microorganisms	Gljive (10 ⁴) Fungi	Aktinomicete (10 ⁴) Actinomycetes	Fosfomo- bilizatori (10 ⁵) P – mobilizing microorganisms
Kontrola	–	156,92	32,95	94,01	6,39	13,93	186,05
	+	167,52	85,28	83,71	7,08	13,52	226,93
NPK	–	156,28	36,62	112,45	9,45	10,46	222,30
	+	204,05	47,45	103,28	12,32	14,02	265,28
NPK + stajnjak	–	107,95	66,42	116,08	10,51	4,28	178,38
	+	140,36	47,30	119,55	9,77	3,92	199,75
NPK + kukuruzovina	–	140,38	81,69	100,69	7,46	6,32	162,54
	+	170,64	84,51	128,15	6,30	7,60	196,13
Prosek/Average	–	140,38	54,42	105,81	8,45	8,75	187,32
	+	170,63	66,14	108,67	8,87	9,78	222,02

* – bez inokulacije/without inoculation
 + sa inokulacijom/with inoculation

Tabela 3. Uticaj *Azotobacter chroococcum* na prinos zrna kukuruza (Jarak et al., 2011)Table 3. Effect of *Azotobacter chroococcum* strains on maize yield (t ha⁻¹)

Hibridi (A) Hybrids	Prinos zrna/Maize yield (t ha ⁻¹)		
	Kontrola Control	<i>Azotobacter chroococcum</i>	Razlika između tretmana i kontrole Difference between inoculation and control
NS 444 ultra	9,898	10,294	0,396
NS 5010	9,008	9,649	0,641
Tisa	9,496	9,889	0,403
Prosek/Average	9,467	9,959	0,492

LSD		
0,05	0,484	0,395
0,01	0,669	0,546

dobri rezultati. Utvrđeno je da je ovo razlaganje direktno povezano sa produkcijom organskih kiselina (Vyas & Gulati 2009). Primenom PSM postižu se pozitivni efekti kod svih biljnih vrsta, a najviše se primenjuju u proizvodnji kukuruza. U istraživanjima Yazdani et al. (2009) utvrđeno je da inokulacija sa PSM i PGPR kod kukuruza značajno povećava porast kukuruza i prinos zrna, te da može smanjiti upotrebu fosfornih mineralnih đubriva do 30%. Inokulacija semena kukuruza mikroorganizmima koji produkuju fosfataze (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Streptomyces*) utiče na aktivnost fosfomonoesteraza u njihovoj rizosferi, kao i na sadržaj ukupnog azota i fosfora i na taj način na povećanje pristupačnog fosfora i prinosa biljaka.

U cilju primene mikrobnih inokulanata u poljoprivrednoj proizvodnji neophodno je izvršiti selekciju sojeva prema genotipu biljke. U tom cilju dalja proučavanja treba izvesti u tačno definisanim ekološkim uslovima, korišćenjem mešanih populacija mikroorganizama (azotofiksatora, fosfominalizatora i stimulatora), proučavanjem uzajamnog odnosa između biljaka i mikroorganizama koji su prisutni u zemljištu. Njihova primena kao biološkog đubriva mogla bi da utiče na racionalizaciju primene mineralnih đubriva, jer je poznato da diazotrofi mogu da vežu 60-90 kg N ha⁻¹ u zavisnosti od soja, pa je neophodno razvijati naučnu bazu za njihovu primenu (Govedarica i sar. 1998).

Biođubriva - biofertilizatori - mikrobnii inokulanti

Biođubrivo se definiše kao proizvod koji sadrži žive mikroorganizme koji koloniziraju rizosferu ili unutrašnjost biljke i poboljšavaju njen rast povećanjem usvajanja i dostupnosti hraniva biljci domaćinu. Ovi mikroorganizmi se nanose na seme, nadzemni deo biljke ili se inkorporiraju u zemljište. Biođubrivo treba da sadrži žive organizme koji u asocijaciji sa biljkom povećavaju pristupačnost hraniva. Ova definicija odvaja biođubriva od organskih đubriva koja sadrže organske komponente koje direktno ili indirektno povećavaju plodnost zemljišta (Vessey 2003).

Biofertilizatori su mikrobiološka đubriva koja sadrže selekcionisane visoko efektivne sojeve bakterija, algi i gljiva. Njihovim unošenjem u zemljište sa semenom aktiviraju se odgovarajući mikrobiološki procesi, koji omogućavaju bolje i ravnomernije snabdevanje biljaka azotom, fosforom i kalijumom, kao i nekim mikroelementima.

Mogućnost primene mikrobnih inokulanata se u svetu kontinuirano istražuje s ciljem selekcije što efektivnijih sojeva mikroorganizama, koji bi doprineli povećanju prinosa i kvaliteta proizvoda gajenih biljaka. U tu svrhu ispituje se njihova efektivnost u proizvodnim uslovima na različitim genotipovima gajenih biljaka, utvrđuje najbolja kombinacija genotipa biljke i soja mikroorganizama, a od najboljih kombinacija se proizvode mikrobiološki preparati. Mikrobnii inokulanti koji se najčešće primenjuju pospešuju snabdevanje biljke azotom i fosforom i mineralizuju organsku materiju, a kao rezultat toga dolazi do povećanja količine

pristupačnih asimilativa biljkama (Mrkovački et al. 2012). U novije vreme pažnja se posvećuje tzv. multipnim ili polivalentnim inokulantima koji sadrže više različitih vrsta mikroorganizama, pa se njihovom primenom istovremeno aktivira veći broj korisnih mikrobioloških procesa. U našoj zemlji se rade slična istraživanja. Ispituje se biodiverzitet simbioznih azotofiksatora u različitim tipovima zemljišta. Selekcionisan je veliki broj efektivnih sojeva koji se primenjuju u proizvodnji soje i drugih leguminoza. Pravci istraživanja se usmeravaju i na selekciju i primenu mikrobnih inokulanata u proizvodnji neleguminoznih biljaka, uključujući najznačajnije ratarske i povrtarske biljke.

Zaključna razmatranja

Imajući u vidu značaj primene PGPR mikroorganizama na mikrobiološku aktivnost u rizosferi kukuruza možemo zaključiti sledeće:

- U zemljištu kao prirodnom višekomponentnom otvorenom sistemu živi veliki broj različitih grupa mikroorganizama;
- Mikroorganizmi učestvuju sa 60–90% u ukupnoj biohemijskoj aktivnosti zemljišta i pripada im glavna uloga u procesima humifikacije i dehumifikacije, stvaranju i održavanju proizvodnih sposobnosti zemljišta;
- Rizosfera je dinamičan sistem čiju biološku komponentu čine biljni koren i rizosferni mikroorganizmi koji naseljavaju zemljište pod direktnim uticajem korenskih izlučevina;
- Brojnost i mikrobiološka aktivnost u rizosferi zavise od količine i sastava korenskih izlučevina;
- Inokulacijom semena ili korena mikroorganizmima može se uticati na povećanje sadržaja pristupačnih hraniva i prinosa gajenih biljaka. Uspeh inokulacije zavisi od opstanka bakterija u zemljištu za vreme vegetacije, a to je uslovljeno njihovim umnožavanjem u rizosferi, mobilnošću i kolonizacijom korena;
- Biofertilizatori su mikrobiološka đubriva koja sadrže selekcionisane visoko efektivne sojeve bakterija, algi i gljiva. Njihovim unošenjem u zemljište sa semenom aktiviraju se odgovarajući mikrobiološki procesi, koji omogućavaju bolje i ravnomernije snabdevanje biljaka azotom, fosforom i kalijumom, kao i nekim mikroelementima.

Literatura

- Bashan, Y. (1998). Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology Advances*, 16, 729-770.
- Bashan, Y., & Holguin, G. (1998). Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria) and PGPB. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1225-1228.
- Beese, F., Hartman, A., Beck, T., Rackwitz, R., & Zelles, L. (1994). Microbial community structure and activity in agricultural soils under different management. *Z. Pflanz. Bodenk.* 157, 187-195.
- Bo, L., Gumpertz, M. L., Shuijin, H., & Ristaino, J. B. (2007). Long-term effects of organic and synthetic soil fertility amendments on soil microbial communities and the development of Southern blight. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(9), 2302-2316.
- Burd, G., Dixon, D. G., & Glick, B. R. (2000). Plant growth promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Can. J. Microbiol.* 46, 237-245.
- Cherr, C. M., Scholberg, J. M. S., & McSorley, R. (2006). Green manure approaches to crop production. *Agronomy Journal*, 98, 302-319.
- Compant, S., Clement, C., & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biol. Biochem.* 42, 669-678.
- Corrales, I., Amenó, M., Poschenrieder, C., & Barceló, J. (2007). Phosphorus efficiency and root exudates in two contrasting tropical maize varieties. *Journal of Plant Nutrition*, 30, 887-900.
- Cvijanović, G., Milošević, N., Jarak, M. (2007). The importance of diazotrophs as biofertilisers in the maize and soybean production. *Genetika*, 39(3), 395-404.
- Das, A. C., & Debnath, A. (2005). Effect of systemic herbicides on N₂-fixing and phosphate solubilizing microorganisms and relation to availability of nitrogen and phosphorus in paddy soils of West Bengal. *Chemosphere*, 65, 211-217.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2), 107-149.
- Gholami, A., Shahsavani, S., & Nezarat, S. (2009). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Intern. J. Biol. Life Sci.* 5, 35-40.
- Govedarica, M. (1986). *Azotofiksatori i njihova aktivnost kod kukuruza*. (Doctoral dissertation). Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Serbia.
- Govedarica, M., Jeličić, Z., Jarak, M., Milošević, N., Stojnić, N., & Rašković, D. (1998). Značaj asocijativne azotofiksacije u proizvodnji kukuruza. *Zbornik naučnih radova PKB INI Agroekonomik*, 4(1), 95-102.
- Govedarica, M., Milošević, N., Jarak, M., Đurić, S., Jeličić, Z., Kuzevski, J., & Đorđević, S. (2002). Primena biofertilizatora, biostimulatora i biopesticida u poljoprivrednoj proizvodnji. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 37, 85-95.
- Hoffman, S., Shultz, E., Csitari, G., & Banko, L. (2006). Influence of mineral and organic fertilizers on soil organic carbon pools. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 6, 627-635.

- Hu, S., van Bruggen, A. H. C., & Grünwald, N. J. (1999). Dynamics of bacterial populations in relation to carbon availability in a residue-amended soil. *Appl. Soil Ecol.* 13, 21-30.
- Jarak, M., & Čolo, J. (2007). *Mikrobiologija zemljišta*. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Jarak, M., & Đurić, S. (2008). Mikroorganizmi u zemljištu u funkciji održive poljoprivrede. In: M. Manojlović (ed.), *Dubrenje u održivoj poljoprivredi*. (pp. 98-117). Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia.
- Jarak, M., Jeličić, Z., Kuzevski, J., Mrkovački, N., & Đurić, S. (2011). The use of *Azotobacter* in maize production: the effect on microbiological activity of soil, early plant growth and grain yield. *Contemporary Agriculture*, 60(1-2), 80-85.
- Klopper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. In: Angers (Ed.) *Proceedings of the Fourth International Conference on Plant Pathogenic Bacteria*. Gibert-Clarey Tours, pp. 879-882.
- Liang, B. C., McConkey, B. G., Schoenau, J., Curtin, D., Campbell, C. A., Moulin, A. P., & Lafond, G. P. (2003). Effect of tillage and crop rotations on the light fraction organic carbon and carbon mineralization in Chernozemic soils of Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 83(1), 65-72.
- Lucy, M., Reed, E., & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria, *Antonie van Leeuwenhoek*, 86, 1-25.
- Milić, V., Jarak, M., Mrkovački, N., Milošević, N., Govedarica, M., Đurić, S., & Marinković, J. (2004). Primena mikrobioloških đubriva i ispitivanje bioloških aktivnosti u cilju zaštite zemljišta. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 40, 153-169.
- Milošev, D. (1990). *Utjecaj sistema ratarenja na dinamiku formiranja organske materije, prinosa i komponente prinosa ozime pšenice*. (Doctoral dissertation), Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Serbia.
- Milošević, N., & Govedarica, M. (2001). Microbial inoculants: biofertilizers to replace and/or amend mineral fertilizers? *1st International Symposium Food in the 21st Century*, Subotica, pp. 92-93.
- Milošević, N., Jarak, M., Milić, V., & Mrkovački, N. (2006). Mikrobiološka istraživanja od teorijskih osnova do preparata (1966–2005). *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 42, 327-338.
- Mrkovački, N., & Milić, V. (2001). Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. *Annals of Microbiology*, 51(2), 145-158.
- Mrkovački, N., & Bjelić, D. (2011). Rizobakterije koje promoviraju biljni rast (PGPR) i njihov efekat na kukuruz. *Ratar. Povrt.* 48, 305-312.
- Mrkovački, N., Đalović, I., & Jocković, D. (2012). PGPR as bio-fertilizers and their application in maize. *I International Symposium and XVII Scientific Conference of Agronomists of Republic of Srpska*, Book of Abstracts, p. 302. March 19–22, Trebinje, Bosnia and Herzegovina.
- Pan, G., Smith, P., & Pan, W. (2009). The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture & Ecosystem and Environment*, 129, 344-348.
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17, 319-339.
- Shoebitz, M., Ribaud, C. M., Pardo, M. A., Cantore, M. L., Ciampi, L., & Cura, J. A. (2009). Plant growth promoting properties of a strain of *Enterobacter ludwigii* isolated from *Lolium perenne* rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* 41, 1768-1774.
- Singh, B. N., & Ram, H. (1987). Seasonal changes in dehydrogenase activity in cultivated pond and virgin soil. *Current Science*, 56(13), 651-654.
- Singh, B., & Rengel, Z. (2007). The Role of Crop Residues. In: P. Marschner, Z. Rengel (Eds), *Improving Soil Fertility in Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystem Soil Biology*, 10, 183-214.
- Stenberg, B. (1999). Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Acta Agricultura Scandinavica*, 49, 1-24.
- Sturz, A. V., & Nowak, J. (2000). Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops. *Appl. Soil Ecol.* 15, 183-190.
- Ubavić, M., & Bogdanović, D. (2001). *Agrobemija*. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586.
- Vyas, P., & Gulati, A. (2009). Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. *BMC Microbiology*, 9, 174.
- Welbaum, G., Sturz, A. V., Dong, Z., & Nowak, J. (2004). Fertilizing soil microorganisms to improve productivity of agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23, 175-193.
- Wilhelm, J., Johnson, M. F., Karlen, L., & David, T. (2007). Corn stover to sustain soil organic further constrains biomass supply. *Agronomy Journal*, 99, 1665-1667.
- Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H., & Esmaili, M. A. (2009). Effect of phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49, 90-92.

Importance of PGPR Application and Its Effect on Microbial Activity in Maize Rhizosphere

Nastasija Mrkovački • Mirjana Jarak • Ivica Đalović • Đorđe Jocković

Summary: Microorganisms are involved in the formation of soil fertility, both potential and effective. They facilitate the processes of humification and dehumification and play a key role in the cycling of nutrients - macro and microelements. Rhizosphere is the soil in direct contact with plant roots and influenced by plant exudates. Root exudates of maize significantly affect the composition and abundance of microorganisms in the rhizosphere. Biofertilizers are microbial fertilizers composed of highly effective strains of bacteria, algae and fungi isolated from soil. Their application activates microbial processes that secure a better and steadier supply of plants with nitrogen, phosphorus, potassium and some micronutrients. The application of PGPR-containing biofertilizers reduces the need for expensive nitrogen fertilizers, facilitates phosphorus uptake by plants and affects the direction and dynamics of microbial processes.

Key words: biofertilizers, exudates, fertilizing, maize, microorganisms, phosphorus, plant growth stimulants, rhizosphere, roots, soils