

MIKROORGANIZMI U RIZOSFERI: ULOGA I ZNAČAJ U ODRŽIVOJ POLJOPRIVREDI

Mrkovački, Nastasija^{*}, Đalović, I.^{*}, Jarak, Mirjana^{}, Bjelić, Dragana^{*}, Adamović, D.^{*}**

IZVOD

Dat je pregled biologije rizosfere, definicija rizosfere, značaj korenskih izlučevina, interakcija mikroorganizama, njihova dinamika u rizosferi sa posebnim naglaskom na bakterije. Istaknut je značaj korisnih mikroorganizama za održivu poljoprivrednu proizvodnju primenom biofertilizatora i rizobakterija promotora biljnog rasta (PGPR). Mikroorganizmi koji žive u kompleksnom staništu – rizosferi utiču na zdravlje biljaka, njihov prinos i kvalitet. Proučavanje rizosfere vodi do mnogih korisnih interakcija. Neki metaboliti mikroorganizama kao što su antibiotici i toksini su osnovni faktori u determinaciji interakcija biljka-mikroorganizam. Mikrobnim enzimima takođe igraju značajnu ulogu. Odnosi između korena biljaka i mikroorganizama predmet su interesovanja molekularnih biologa, mikrobiologa i biohemičara širom sveta.

Ključne reči: mikroorganizmi, rizosfera, održiva poljoprivreda

BIOLOGIJA RIZOSFERE

Rizosfera je zona oko korena biljaka, uključuje koren, zemljište na samom korenu i okolno zemljište koje je pod uticajem korena (Wallace, 2001). To je gusto naseljena oblast u kojoj koren jedne biljke mora da se takmiči sa korenskim sistemima susednih biljaka za prostor, vodu i mineralne materije, kao i sa mikroorganizmima koji tu žive, uključujući bakterije, gljive i insekte koji se hrane bogatim izvorima organske materije (Ryan, Delhaize, 2001). Stoga su interakcije koren-koren, koren–mikroorganizmi i koren–insekti u kontinuiranim procesima u ovoj biološki aktivnoj zemljišnoj zoni (Bachman, Kinzel, 1992). Interakcije koren–koren i koren-mikroorganizmi mogu biti pozitivne (simbiotske) za biljku, kao što su asocijacije epifita, mikorizne gljive i azotofiksirajuće bakterije na korenu ili negativne za biljku uključujući interakcije sa parazitskim biljkama i patogenima (bakterije, gljive, insekti). Termin rizosfera u novije vreme uključuje endofitne mikroorganizme koji su sposobni da kolonizuju koren (Sturz, Novak, 2000).

^{*} Dr Nastasija Mrkovački, MSc. Ivica Đalović, MSc. Dragana Bjelić, dr Dušan Adamović, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad; e-mail: nastasija.mrkovacki@nsseme.com

^{**} Prof. dr Mirjana Jarak, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad

Definicija rizosfere

Rizosfera se definiše kao deo zemljišta u blizini korenovog sistema na koju utiču izlučevine korena. Koren utiče na različite vrste mikroorganizama. Stimulativni uticaj na mikroorganizme poznat je kao „rizosferni efekat“ i ukazuje na interakcije zemljišta i mikroorganizama u rizosferi i njihov odnos. Termin „rizosfera“ je u literaturu uveo Hiltner (1904), dok je fenomen akumulacije mikroorganizama oko zone korena uočen davno (Starkey, 1958; Sadasivan, 1965; Sorensen et al., 1997). Prema Pinton et al. (2001), rizosfera predstavlja slabo definisanu zonu zemljišta sa mikroorganizmima u njoj, u kojoj su zabeležene intenzivne promene u populaciji mikroorganizama u blizini korena, koje opadaju udaljavanjem od njega (Newman, 1978; Bowen, 1991; Mukerji, 2002). Interesantno je da različite grupe mikroorganizama kao što su gljive, bakterije, virusi i nematode mogu biti u interakciji sa istom biljkom istovremeno ili pojedinačno kao sinergisti ili antagonisti. Na ove odnose utiču tip zemljišta, vlaga, temperatura, pH i niz drugih faktora.

Koren – mikroorganizmi

Uzimajući u obzir kompleksnost i biodiverzitet podzemnog sveta, koren nije pasivna meta za zemljišne mikroorganizme. Pored toga što obezbeđuje mehaničku podršku i omogućava usvajanje vode i hraniva, koren ima specijalizovanu ulogu uključujući sposobnost sinteze, akumulacije i izlučivanja velikog spektra različitih materija (Clegg, Murray, 2002).

Korenske izlučevine

Poznavanje sastava i količine organskih jedinjenja koja se oslobađaju putem korena pruža uvid u hemijske i biološke procese koji se dešavaju u rizosferi. Kvalitativni i kvantitativni sastav korenskih izlučevina varira u zavisnosti od različitih ekoloških faktora. Na korenske izlučevine utiču i mikroorganizmi, kao i biljna vrsta i starost biljke. U korenske izlučevine spadaju različiti primarni metaboliti kao što su šećeri, amino kiseline, organske kiseline, kao i različiti sekundarni metaboliti (Gupta, Mukerji, 2002). Između 5 i 23% od celokupnog fotosintetisanog C prenosi se u rizosferu putem korenskih izlučevina (Marschner, 1995; Walker et al., 2003). Kroz ove izlučevine, vrlo raznolike, rastvorljive i lako difuzibilne komponente (celuloza, lignin i proteini) biljke utiču na strukturu zajednice i raznolikost mikroorganizama u rizosferi. Priroda i kvalitet snabdevanja ugljenikom sa korena do rizosfere glavni su faktori uticaja na kolonizaciju rizosfere.

Interakcija mikroorganizama

Zemljišni mikroorganizmi mogu uticati na materije koje koren izlučuje, kreirajući tako povoljniju sredinu za sebe (Lynch, Brown, 2001). Bakterije i gljive žive oko korena i hrane se korenskim izlučevinama i mrtvim ćelijama korena. Kompeticija između raznih vrsta mikroorganizama u ovoj oblasti je višestruka. U borbi za ugljenikova jedinjenja (organske materije), bakterije koriste nekoliko strategija uključujući produkciju antibiotika i otrovnih jedinjenja koja uklanjaju kompetitore. Bakterije takođe proizvode materije koje stimulišu biljke da povećaju rast korena (Sturtz, Nowak, 2000), povećavaju površinu korena za kolonizaciju i povećaju korenske izlučevine (Wallace, 2001). Ukupna biološka zajednica igra važnu ulogu u rizosfernim

interakcijama sa korenom biljke i mikroorganizmima i taj odnos između korena i mikroorganizama je regulisan kompleksom „molekularnih signala“. Stoga postoji koevolucija između biljaka i zemljišnih mikroorganizama a rezultat toga su mikrobnih odgovori na biljne izlučevine i odgovor biljke lučenjem u prisustvu mikroorganizama (Atkinson, Watson, 2000). Izlučevine korena igraju simbiotsku ili defanzivnu ulogu u zavisnosti od drugih elemenata u rizosferi. Istraživanja su pokazala da postoji i sinergizam između pojedinih bakterija (*Azotobacter* sp. i *Streptomyces* sp.), te se pospešuje klijanje i porast pšenice (Aly et al., 2012). Različiti sojevi bakterije *Bacillus subtilis* sintetišu više od 12 antibiotika koji deluju na gram pozitivne i gram negativne bakterije, kao i na različite patogene gljive (Maksimov et al., 2011). Bakterije *Azospirillum* i *Pseudomonas* spp. produkuju citokinine i gibereline, hormone koji potpomažu deobu ćelija (Stefan et al., 2012).

Dinamika mikroorganizama u rizosferi

Jedna od važnih uloga u određivanju kvantitativne i kvalitativne slike mikroorganizama u rizosferi pripada biljnoj vrsti, tj. uticaju koji biljna vrsta ima na različit sastav mikroorganizama u rizosferi biljaka gajenih na istom zemljištu (Nehl et al., 1997; Grayston et al., 1998; Miethling et al., 2000; Berg et al., 2002; Mrkovački i sar., 2012a, 2012b, 2012c) (Tab. 1).

Tab. 1 Uticaj biljne vrste na brojnost mikroorganizama u rizosferi (Mrkovački i sar., 2012c)

Tab. 1 Effect of plant species on number of microorganisms in rhizosphere (Mrkovački et al., 2012c)

Biljna vrsta <i>Plant species</i>	Brojnost mikroorganizama (g^{-1} apsolutno suvog zemljišta) <i>Number of microorganisms (g^{-1} absolutely dry soil)</i>				
	Ukupan broj mikroorganizama <i>Total number</i> $\times 10^7$	Azotobakter <i>Azotobacter</i> $\times 10^2$	Slobodni azotofiksatori <i>Free N-fixers</i> $\times 10^6$	Gljive <i>Fungi</i> $\times 10^4$	Aktinomicete <i>Actinomycetes</i> $\times 10^4$
Neven <i>Marigold</i>	230,7	97,2	192,8	10,2	22,7
Menta <i>Mint</i>	289,7	155,8	302,3	14,6	27,1
Bosiljak <i>Basil</i>	180,7	78,9	130,9	9,8	33,5
Mirođija <i>Dill</i>	188,3	115,1	157,1	8,9	34,3

Sastav mikroorganizama u rizosferi je specifičan za biljku i zavisi od razlika u kvalitetu i kvantitetu izvora ugljenikovih jedinjenja oslobođenih u korenskim izlučevinama (Merbach et al., 1999). Iako male, modifikacije koje se mogu javiti između različitih sorti iste biljne vrste, mogu dovesti do selekcije različitih mikrobni zajednica u rizosferi (Rengel et al., 1998) (Tab. 2).

Tab. 2 Uticaj genotipa kukuruza na brojnost mikroorganizama u rizosferi
 Tab. 2 Effect of maize genotype on number of microorganisms in rhizosphere

Genotip <i>Genotype</i>	Brojnost mikroorganizama (g^{-1} apsolutno suvog zemljišta) <i>Number of microorganisms (g^{-1} absolutely dry soil)</i>				
	Ukupan broj mikroorganizama <i>Total number</i> $\times 10^7$	Azotobakter <i>Azotobacter</i> $\times 10^2$	Slobodni azotofiksatori <i>Free N-fixers</i> $\times 10^6$	Gljive <i>Fungi</i> $\times 10^4$	Aktinomicete <i>Actinomycetes</i> $\times 10^4$
3014	322,9	94,3	211,9	9,1	5,7
4015	250,2	158,4	229,2	15,3	3,5
5043	335,4	125,0	328,4	15,1	10,5
6010	197,1	85,7	130,1	3,6	2,3
6030	209,4	103,0	95,3	9,4	8,2

Različite populacije mikroorganizama izolovane su u različitim vrstama biljaka kao što je pšenica, detelina, ljulj i trave (Neal et al., 1970, 1973). Tako su aktinomicete zastupljene u visokom procentu u mikrobnjoj populaciji u rizosferi pšenice, dok su pseudomonasi dominantni u rizosferi kukuruza i trava. Sa različitih hibrida kukuruza zaraženih *Verticillium* sp. izolovani su genotipski i fenotipski različite antagonističke rizobakterije (Berg et al., 2002). Proporcija izolata sa antagonističkim osobinama bila je najveća u rizosferi jagode (9,5%) zatim u uljanoj repici (6,3%) i krompiru (3,7%) u poređenju sa kontrolnim zemljištem (3,3%). Brojnost i sastav antagonista *Verticillium*-a bila je zavisna od biljne vrste.

Populacija bakterija u rizosferi

Svaka biljna vrsta odabira svoju specifičnu bakterijsku zajednicu iz rezervoara bakterija prisutnih u obradivom zemljištu ili na semenu. Proučavanjem tehnikom rRNA-gena pokazano je da je biljna vrsta važnija u selekciji bakterija svoje rizosfere nego drugi faktori kao što su supstrat, odnosno zemljište i primenjene agrotehničke mere (Miethling et al., 2000). Efekti starosti biljke na bakterijsku zajednicu su takođe konstatovani u rizosferi gajenih biljaka u zemljištu (Gomes et al., 2001; Mrkovački i sar., 2012a) (Tab. 3). Ove modifikacije su uzrokovane različitim kompozicijama ili količinom korenskih izlučevina tokom različitih faza rasta biljaka.

Sastav rizosfernih zajednica mikroorganizama tj. bakterija, varirao je u zavisnosti od genotipa biljke (Carelli et al., 2000) mada ima izuzetaka. Tako populacije fluorescentnih pseudomonasa izolovane sa neobradivog zemljišta i sa korena dve biljne vrste (lan i paradajz) su bile različite i genotipski i fenotipski (Lemanceau et al., 1995).

Tab. 3 Uticaj datuma uzorkovanja na brojnost mikroorganizama u rizosferi soje (Mrkovački i sar., 2012a)

Tab. 3 Effect of date of sampling on number of microorganisms in soybean rhizosphere (Mrkovački et al., 2012a)

Datum uzimanja uzoraka <i>Date of sampling</i>	Brojnost mikroorganizama (g^{-1} apsolutno suvog zemljišta) <i>Number of microorganisms (g^{-1} absolutely dry soil)</i>				
	Ukupan broj mikroorganizama <i>Total number</i> $\times 10^7$	Azotobakter <i>Azotobacter</i> $\times 10^2$	Slobodni azotofiksatori <i>Free N-fixers</i> $\times 10^6$	Gljive <i>Fungi</i> $\times 10^4$	Aktinomicete <i>Actinomycetes</i> $\times 10^4$
1. jun 2012.	185,8	163,5	155,4	6,8	21,3
18. jul 2012.	225,2	6,6	186,1	26,1	5,2

Rengel et al. (1998) pokazali su da se genotipovi pšenice razlikuju po stepenu bakterijske kolonizacije korena zbog uticaja statusa hraniva u zemljištu na kvalitet i kvantitet oslobođenih korenskih izlučevina kod različitih genotipova. Korenske izlučevine se lako asimilišu od zemljišne mikroflore. Povećana primena N–đubriva povećava količinu izlučevina na korenu pšenice i povećava broj bakterija u rizosferi. Veći broj i raznolikost pseudomonasa pronađen je u unutrašnjosti korena *Brassica napus* cv. *Excel* (30 izolata) ili *Brassica rapa* cv. *Parkland* (15 izolata). Kompozicija endofita i rizosferne populacije bakterija se menja u toku vegetacije biljaka (Mahaffee, Kloepper 1997; Mrkovački i sar., 2012a) (Tab. 4).

Tab. 4 Uticaj datuma uzorkovanja na brojnost mikroorganizama u rizosferi kukuruza (Mrkovački i sar., 2012a)

Tab. 4 Effect of date of sampling on number of microorganisms in maize rhizosphere (Mrkovački et al., 2012a)

Datum uzimanja uzoraka <i>Date of sampling</i>	Brojnost mikroorganizama (g^{-1} apsolutno suvog zemljišta) <i>Number of microorganisms (g^{-1} absolutely dry soil)</i>				
	Ukupan broj mikroorganizama <i>Total number</i> $\times 10^7$	Azotobakter <i>Azotobacter</i> $\times 10^2$	Slobodni azotofiksatori <i>Free N-fixers</i> $\times 10^6$	Gljive <i>Fungi</i> $\times 10^4$	Aktinomicete <i>Actinomycetes</i> $\times 10^4$
1. jun 2012.	133,1	79,4	97,1	10,0	45,6
18. jul 2012.	174,8	52,1	133,9	13,1	30,7

ODRŽIVA POLJOPRIVREDA

Danas se pod održivom poljoprivrednom proizvodnjom smatra ona proizvodnja koja je ekološka i koja u kvalitativnom i kvantitativnom smislu ne menja hemijske, fizičke i biološke izvore, te kod koje ne postoji negativna povratna sprega u interakciji ovih izvora između sadašnjih i budućih generacija. Poljoprivredna proizvodnja je održiva samo ukoliko je osmišljena da obezbeđuje održivost biosfere u uslovima konstantnog povećanja brojnosti humane populacije.

Treba imati u vidu da je održiva poljoprivreda termin za ekološku proizvodnju hrane za čoveka sa aspekta zaštite životne sredine i biodiverziteta, kao i sa etičkog i ekonomskog aspekta (Milošev, Šeremešić, 2008). Održiva poljoprivredna proizvodnja podrazumeva smanjenje ili izostavljanje mineralnih đubriva i pesticida. Ovo je moguće i zbog toga što ogromna populacija mikroorganizama u zemljištu ima sposobnost da u toku svog metabolizma razlaže i najsloženije organske materije i bez utroška energije fosilnih goriva, te biljku obezbeđuje neophodnim hranivima.

Uticaj korisnih mikroorganizama na biljku

Korišćenje prirodnih potencijala mikroorganizama u održivoj poljoprivrednoj proizvodnji bazira se na umnožavanju najaktivnijih vrsta i sojeva mikroorganizama u veštačkim uslovima i ponovnom vraćanju u njihovu prirodnu sredinu – zemljište, gde intenziviraju odgovarajuće procese, stvaraju veću količinu biljnih asimilata, stimulišu rast biljaka, štite ih od patogena i toksičnih materija. Ovi mikroorganizmi mogu delimično ili u potpunosti zameniti mineralna đubriva i pesticide.

Biofertilizatori

Biofertilizatori su preparati koji sadrže odabrane kulture mikroorganizama. Koriste se za inokulaciju semena i rasada ili se unose u zemljište kako bi se intenzivirali određeni mikrobiološki procesi kojima se povećava sadržaj pristupačnih hraniva za biljku (Jarak, Đurić 2008; Mrkovački i sar., 2012b). U biofertilizatore spadaju biofertilizatori koji pospešuju azotofiksaciju (NS-Nitragin za soju, lucerku, pasulj, kikiriki, detelinu, grašak), slobodni i asocijativni azotofiksatori (*Azotobacter* – NS Betafiksin), cijanobakterije, te biofertilizatori koji pospešuju snabdevanje biljaka fosforom (*Bacillus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Pseudomonas*) i PGPR. Pozitivan efekat na prinos i snabdevanje biljaka azotom i fosforom postignut je u proizvodnji pšenice, pirinča, kukuruza i drugih ratarskih i povrtarskih biljnih vrsta, primenom multipnih inokulanata koji su sadržavali smešu azotobaktera i fosfomineralizatora i taj efekat bio je veći nego u slučaju njihove pojedinačne primene (Bashan, 1998; Govedarica i sar., 1999). U radovima Mrkovački i sar. (2002, 2010) i Kuzevski i sar. (2011) opisani su različiti načini primene NS Betafiksina.

Rizobakterije promotori biljnog rasta (Plant Growth Promoting Rhizobacteria – PGPR)

Nedavno su izolovane rizobakterije koje promovišu biljni rast (PGPR) kod niza ekonomski važnih biljaka kao što su ječam, pasulj, pamuk, kukuruz, kikiriki, pirinač, različito povrće, žito i drvenaste biljke. Pored povećanja prinosa biljaka sojevi PGPR mogu takođe uticati na patogene gljive smanjujući njihovu populaciju (Mrkovački i sar., 2001; Mrkovački, Bjelić, 2011). Brojni istraživači sugerišu da se biljke tretirane huminima razlikuju u rastu i morfologiji od kontrolnih biljaka. Mikroorganizmi u asocijaciji sa korenom biljaka su vezani za biljne materije rasteња koristeći prekursore oslobođene na korenu. Dosta je urađeno na stimulaciji populacije mikroorganizama antagonista patogena, manipulacijom rizosferne populacije korišćenjem programa oplemenjivača biljaka. Takođe, degradacija polutanata putem rizosfernih mikroorganizama otvoriće više mogućnosti za efikasniju dekontaminaciju zemljišta. Povećana upotreba transgenih

biljaka i oslobađanje u spoljnu sredinu genetski modifikovanih mikroorganizama može prome-
niti biljno-bakterijske interakcije i potencijal mikroorganizama. Četiri grupe signalnih organskih
molekula – flavonoidi, antibiotici, lipohitooligosaharidi i vitamini imaju različite funkcije u pro-
mociji biljnog rasta, odbrani od patogena i biljnoj simbiozi. Produktivnost ekosistema i procesi u
njemu, zavisni su od mineralizacije i imobilizacije čiji su glavni akteri mikroorganizmi.

Zahvalnica

*Ovaj rad je deo projekta TR 31073 pod nazivom “Unapređenje proizvodnje kukuruza i sirka
u uslovima stresa” i projekta TR 31025 pod nazivom: “Razvoj novih sorti i poboljšanja novih
tehnologija proizvodnje uljanih biljnih vrsta za različite namene”, koji se finansiraju od strane
Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.*

LITERATURA

Aly, M.M., El Sayed, A., Jataniah, S.D. (2012): Synergistic Effect between *Azotobacter vi-
nelandii* and *Streptomyces* sp. Isolated From Saline Soil on Seed Germination and Growth of
Wheat Plant. Journal of American Science 8, 5, 667–676.

Atkinson, D., Watson, C.A. (2000): The beneficial rhizosphere: a dynamic entity. Applied
Soil Ecology 15, 99-104.

Bachman, G., Kinzel, H. (1992): Physiological and ecological aspects of the interaction be-
tween plant roots and rhizosphere soil. Soil Biology and Biochemistry 24, 543-552.

Bashan, Y. (1998): Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. Bio-
technology Advances 16, 729-770.

Berg, G., Nicotte, R., Anette, S., Leo, E., Angela, Z., Korndia, S. (2002): Plant dependent
genotype and phenotypic diversity of antagonistic rhizobacteria isolated from different verticil-
lium host plants. Applied and Environmental Microbiology 68, 3328-3338.

Bowen, G.D. (1991): Microbial dynamics in the rhizosphere: possible strategies in manag-
ing rhizosphere population. In: Keister DL, Cregan B (eds) The rhizosphere and plant growth.
Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 25-32.

Carelli, M., Gnocchi, S., Fancelli, S., Mengoni, A., Paffetti, D., Scotti, C., Bazzicalupo, M.
(2000): Genetic diversity and dynamics of *Sinorhizobium meliloti* populations nodulating dif-
ferent alfalfa cultivars in Italian soils. Applied and Environmental Microbiology 66, 4785-4789.

Clegg, C., Murray, P. (2002): Soil microbial ecology and plant root interactions. In: Gordon,
A. J. (ed.) IGER Innovations No 6, 36-39.

Gomes, N.C.M., Hauer, H., Schonfeld, J., Costa, R., Mendonca-Hagler, L., Smalla, K.
(2001): Bacterial diversity of the rhizosphere of maize (*Zea mays*) grown in tropical soil studied
by temperature gradient gel electrophoresis. Plant and Soil 232, 167-180.

Govedarica, M., Jeličić, Z., Jarak, M., Milošević, N., Stojnić, N., Rašković, D., Pavlović,
M. (1999): Uticaj azotofiksatora i fosfomineralizatora na mikrobiološku aktivnost pod usevom
kukuruza. Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik 5, 1, 115-121.

Grayston, S.J., Wang, S.Q., Campbell, C.D., Edwards, A.C. (1998): Selective influence of plant
species on microbial diversity in the rhizosphere. Soil Biology & Biochemistry 30, 369-378.

Gupta, R., Mukerji, K.G. (2002): Root exudate – biology. In: Mukerji, K.G. et al. (eds) Techniques in mycorrhizal studies. Kluwer Academic, Dordrecht, 103-131.

Hiltner, L. (1904): Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. Arb DLG 98, 59–78.

Jarak, M., Đurić, S. (2008): Mikroorganizmi u zemljištu u funkciji održive poljoprivrede. U monografiji: „Đubrenje u održivoj poljoprivredi“ Ur.: M. Manojlović. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 98–117.

Kuzevski, J., Mrkovački, N., Čačić, N., Bjelić, D., Marinković, J., Filipović, V. (2011): Uticaj primene *Azotobacter chroococcum* na proizvodne osobine i mikroorganizme u rizosferi šećerne repe. Ratar. Povrt. / Field Veg. Crop Res. 48, 2, 383–390.

Lemanceau, P., Corberand, T., Gardan, L., Labour, X., Laguette, G., Boeufgras, J., Alabouvette, C. (1995): Effect of two plant species, flax (*Linum usitatissimum* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) on the diversity of soil-borne populations of fluorescent pseudomonads. Applied and Environmental Microbiology 61, 1004-1012.

Lynch, J.P., Brown, J. (2001): Topsoil foraging: an architectural adaptations of plant to low phosphorus availability. Plant and Soil 37, 225-237.

Maksimov, L., Abizgildina, R., Pusenkova, L. (2011): Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens. Applied Biochemistry and Microbiology 47, 333–345.

Mahaffee, W.F., Klopper, J.W. (1997): Bacterial communities of the rhizosphere and endo-rhizosphere associated with field-growth cucumber plants inoculated with a plant growth-promoting rhizobacterium or its genetically modified derivative. Canadian Journal of Microbiology 43, 344-353.

Marschner, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.

Merbach, W., Mirus, E., Knof, G., Remus, R., Ruppel, S., Russow, R., Gransee, A., Schulze, J. (1999): Release of carbon and nitrogen compounds by plant roots and their possible ecological importance. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 162, 373-383.

Miethling, R., Wieland, G., Backhaus, H., Tebbe, C.C. (2000): Variation of microbial rhizosphere communities in response to crop species, soil origin and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L33. Microbial Ecology 40, 43-56.

Milošev, D., Šeremešić, S. (2008): Agroekološke osnove održivih sistema biljne proizvodnje. U Monografiji: „Đubrenje u održivoj poljoprivredi“. Ur.: M. Manojlović, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 24-34.

Mrkovački, N., Milić, V. (2001): Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. Annals of Microbiology 51, 2, 145-159.

Mrkovački, N., Čačić, N., Kovačev, L., Mezei, S. (2002): Response of sugar beet to inoculation with *Azotobacter* in field trials. Agrochimica XLVI, 1-2, 18-26.

Mrkovački, N., Čačić, N., Kuzevski, J., Kovačev, L., Mezei, S., Nagl, N., Bjelić, D. (2010): Uticaj načina primene *Azotobacter chroococcum* na mikroorganizme u rizosferi i prinos šećerne repe. Ratar. Povrt. / Field Veg. Crop Res. 47, 2, 599-606.

Mrkovački, N., Bjelić, D. (2011): Rizobakterije koje promovišu biljni rast (PGPR) i njihov efekat na kukuruz. Ratar. Povrt. / Field Veg. Crop Res. 48, 2, 305-312.

Mrkovački, N., Đalović, I., Marinković, J., Červenski, J., Najvirt, B. (2012a): Microbial abundance in the rhizosphere of maize and soybean: conventional and organic system production. III International Scientific Symposium „Agrosym Jahorina 2012“, Jahorina, November 15–17, 241–244.

Mrkovački, N., Jarak, M., Đalović, I., Jocković, Đ. (2012b): Značaj i efekat primene PGPR na mikrobiološku aktivnost u rizosferi kukuruza. Ratar. Povrt. / Field Veg. Crop Res. 49, 3, 335–344.

Mrkovački, N., Adamović, D., Đalović, I., Najvirt, B. (2012c): Brojnost mikroorganizama u rizosferi nevena i mente pri konvencionalnom i organskom sistemu gajenja. 19. naučnostručni skup »Proizvodnja i plasman lekovitog, začinskog i aromatičnog bilja«. Bački Petrovac, 28.9.2012. Izvodi radova, 2–3.

Mukerji, K.G. (2002): Rhizosphere biology. In: Mukerji, K.G. et al. (eds) Techniques in mycorrhizal studies. Kluwer Academic, Dordrecht, 87-101.

Neal, J.L., Atkinson, T.G., Larson, R.I. (1970): Changes in the rhizosphere microflora of spring wheat induced by disomic substitution of a chromosome. Canadian Journal of Microbiology 16, 153-158.

Neal, J.L., Larson, R.I., Atkinson, T.G. (1973): Changes in the rhizosphere populations of selected groups of physiological groups of bacteria related to substitution of specific pairs of chromosomes in spring wheat. Plant and Soil 39, 209-212.

Nehl, D.B., Allen, S.J., Brown, J.F. (1997): Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective. Applied and Environmental Microbiology 5, 1-20.

Newman, E.I. (1978): Root microorganisms: their significance in the ecosystem. Biological Reviews 53, 511-554.

Pinton, R., Varanini, Z., Nannipieri, P. (2001): The rhizosphere-biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Marcel Dekker, New York - Basel.

Rengel, Z., Ross, G., Hirsch, P. (1998): Plant genotype micro-nutrient influence colonization of wheat roots by soil bacteria. Journal of Plant Nutrition 21, 99-113.

Ryan, P.R., Delhaize, E. (2001): Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52, 527-560.

Sadasivan, T.S. (1965): Root and its environment. *Journal of Scientific & Industrial Research* 24, 11-113.

Sorensen, J., van Elsas, J.D., Trevors, J.T. (1997): The rhizosphere as a habitat for soil microorganisms. In: Wellington EMH (ed) Modern soil microbiology. Marcel Dekker, New York, pp 21-45.

Starkey, R.L. (1958): Inter relation between microorganisms and plant roots in rhizosphere. Bacteriological Reviews 22, 154-172.

Stefan, M., Munteanu, N., Dunca, S. (2012): Plant–microbial interactions in the rhizosphere – strategies for plant growth-promotion. Analele Științifice ale Universității ”Alexandru Ioan Cuza”, Secțiunea Genetică și Biologie Moleculară 13, 87–96.

Sturz, A.V., Novak, J. (2000): Endophytic communities of rhizobacter and the strategies to create yield enhancing associations with crops. Applied Soil Ecology 15, 183-190.

Walker, T.S., Bais, H.P., Grotewold, E., Vivanco, J.M. (2003): Root exudation and rhizosphere biology. Plant Physiology 132, 49-51.

Wallace, J. (2001): Organic field crop handbook, 2nd edn. Canadian Organic Growers, Mothersill Printing, Canada.

MICROORGANISMS IN RHIZOSPHERE: ROLE AND IMPORTANCE IN SUSTAINABLE AGRICULTURE

Nastasija Mrkovački, I. Đalović, Mirjana Jarak, Dragana Bjelić, D. Adamović

SUMMARY

Rhizosphere is the zone around the plant root, including the root, the soil on the root and the surrounding soil that is influenced by the roots. Microorganisms that live in that complex habitat affect the health of plants and their yield. Knowledge of the composition and quantity of organic compounds that are released by roots provides insight into the chemical and biological processes that occur in the rhizosphere. Each plant species selects its own specific bacterial community from a reservoir of bacteria present in the soil or on the seed. Using natural resources in a sustainable microbial agricultural production is based on the multiplication of active species and strains of microorganisms in artificial conditions and returning in their natural environment – soil where these microorganisms intensify the appropriate processes, produce more plant nutrients, stimulate the growth of plants and protect them from pathogens and toxic substances. These microorganisms may partially or completely replace mineral fertilizers and pesticides.

Key words: microorganisms, rhizosphere, sustainable agriculture