



Mikroorganizmi kao bioindikatori zagađujućih materija u zemljištu

Nada Milošević^{1*}, Petar Sekulić¹, Gorica Cvijanović²

¹Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad

²Fakultet za biofarming Megatrend Univerziteta, Maršala Tita 39, 24000 Bačka Topola

Izvod: Mikroorganizmi kao najzastupljeniji deo biološke komponente daju informativnu ocenu zdravlja i kvaliteta zemljišta. Mikroorganizmi zemljišta a) učestvuju u degradaciji organskih i neorganskih jedinjenja, b) njihova enzimatska aktivnost, brojnost i raznovrsnost su bioindikatori toksičnih efekata zagađujućih materija na biološku aktivnost zemljišta, c) pojedine vrste mikroba mogu se primeniti u bioremedijaciji ali i d) pojedine bakterije i alge su na osnovu inhibicije luminiscencije ili rasta ćelija biosenzori toksičnosti zemljišta. Tolerantnost mikroorganizama na pesticide i teške metale, pored smanjenja biodiverziteta, omogućava da se pojedine vrste i rodovi koriste u procesima bioremedijacije zemljišta.

Cljučne reči: ekotoksičnost, mikroorganizmi, zagađujuće materije, zemljište

Uvod

U životnu sredinu dospevaju različite zagađujuće materije (polutanti) koji se mogu klasifikovati u pet kategorija: organske i neorganske zagađujuće materije, organo-metalik komponente, radioaktivni izotopi i gasovi (Kohan & Morgan 2007).

Prisustvo zagađujućih materija u zemljištu u zavisnosti od hemijskog svojstva i količine izazivaju stres po organizme. Mikroorganizmi kao najbrojnija grupa organizama u zemljištu (Lee 1994) daju informativnu ocenu zdravlja i kvaliteta zemljišta (Milošević 2008), kao i ekotoksičnosti zemljišta (Milošević i sar. 2007, Milosevic et al. 2008).

Mikroorganizmi zemljišta a) učestvuju u degradaciji organskih i neorganskih jedinjenja, b) njihova enzimatska aktivnost, brojnost i raznovrsnost su bioindikatori toksičnih efekata zagađujućih materija na biološku aktivnost zemljišta, c) pojedine vrste mikroba mogu se primeniti u bioremedijaciji ali i d)

pojedine bakterije i alge su na osnovu inhibicije luminiscencije ili rasta ćelija biosenzori toksičnosti zemljišta (Vaajasaari 2005, Govedarica i sar. 1997, Milošević i sar. 2007, Milosevic et al. 2008).

Imajući u vidu rastući problem sve većeg prisustva zagađujućih materija u ekosistemu, cilj rada je bio prikazivanje mogućnost indikacije ekotoksičnosti zemljišta na osnovu brojnosti i aktivnosti mikroorganizama.

Ekotoksičnost zemljišta

Prva istraživanja o ekotoksičnosti sredine započeta su u vodenim sistemima, da bi se ova problematika kasnije takođe počela izučavati u zemljištu. Zagađujuće materije u zemljištu mogu biti neorganskog porekla (hraniva-dubriva, kiseline, baze, teški metali, metaloidi i radionukledi) i organskog porekla (uglјovodonici tipa nafte i njenih derivata, zatim halogene organske komponente, pesticidi i slično). Takođe, zemljište mogu da zagađuju i materije neprirodnog porekla - ksenobiotici, koji se skoro ne uključuju u

*autor za kontakt / corresponding author
(nadam@ifvns.ns.ac.rs)

kruženje ugljenika, azota, sumpora i fosfora jer su mikrobiološki nerazgradive, te predstavljaju veliku opasnost za zdravlje, odnosno kvalitet zemljišta.

Održivost životne sredine značajno zavisi od prognoze ali i preventivnih mera koje se preduzimaju prilikom unosa hemikalija u ekosistem. U zavisnosti od izvora i sastava, zagađujuće materije poseduju individualni toksični nivo, ali primena više hemikalija utiče na stvaranje različitih interakcija i mogućnost za stvaranje toksičnih efekata koji pokazuju povećanje rizika za ekosistem sa refleksijom na zdravlje ljudi (Michaelidou et al. 2000). Pojedine zagađujuće materije (npr. pesticidi) mogu izazvati akutnu i genetsku toksičnost za živi svet u ekosistemu. Ekotoksikološki efekti organskih i neorganskih

zagađujućih materija pojačavaju se međusobnom interakcijom kada se nađu zajedno, te izazivaju genetske promene organizama u zemljištu.

Primena mikroorganizama u ekotoksikološkim metodama i testovima

Za praćenje ekotoksičnosti zemljišta koriste se pojedine bakterije i alge, ali i aktivnost enzima (Michaelidou et al. 2000, Vaajasaari 2005). Najčešće se kao test ekotoksičnosti koristi bakterija *Vibrio fischeri* kao biosenzor jer ona poseduje sposobnost bioluminiscencije, tj. odavanja svetlosti. Prisustvo toksina u zemljištu smanjuje bioluminiscenciju bakterije, a svetlost je direktno proporcionalna metaboličkoj aktivnosti biosenzora.

Tab. 1. Pregled standardizovanih ekotoksikoloških metoda na osnovu mikrobiološke aktivnosti (Kördel & Römbke 2001, Vaajasaari 2005)

Tab. 1. A review of ecotoxicological methods based on soil microbiological activity (Kördel & Römbke 2001, Vaajasaari 2005)

Standard /Standard	Godina /Year	Metode / Methods
ISO 10381-6	1993	Rukovanje i čuvanje zemljišta za praćenje aerobnih mikrobnih procesa u laboratoriji
ISO SFS-EN 28692	1993	Inhibicija rasta alge <i>Pseudokirchneriella subcapita</i>
ISO 10712	1995	Umnožavanje ćelija <i>Pseudomonas putida</i>
ISO 15685	2002	Određivanje potencijalne nitrifikacije-brzi test
ISO 16072	2002	Laboratorijski metod za određivanje mikrobne respiracije u zemljištu
ISO 17155	2002	Određivanje rasta i aktivnosti mikroflora zemljišta
ISO 23753-1	2003	Određivanje dehidrogenazne aktivnosti u zemljištu. 1. Metoda sa trifeniltetrazolium hloridom (TTC)
ISO 23753-2	2003	Određivanje dehidrogenazne aktivnosti u zemljištu. 2. Metoda sa iodotetrazolium hloridom (ITT)

Test MetPLATE™ daje korelativnu informaciju o ekotoksičnosti na osnovu inhibicije enzima galaktozidaze mutanta bakterije *Escherichia coli* (Vaajasaari, 2005). Dehidrogenazna aktivnost merena preko resazurina kao oksido-redukcionne boje koristi se za determinaciju toksičnosti teških metala i PAH-ova (Liss & Ahlf 1997).

Komercijalizovani su testovi za ekotoksičnost na osnovu luminiscentne inhibicije bakterije *Vibrio fischeri*: za akutnu toksičnost se koristi Microtox™ a za genotoksičnost Mutatox™ (Vaajasaari 2005). Za primenu metoda ne treba predznanje o prirodi toksi-

čnosti zagađivača kao što je potrebno kod upotrebe standardnih hemijskih analiza.

Mikrobi kao indikatori ekotoksičnosti zemljišta

Mikroorganizmi kao najzastupljeniji deo biološke komponente daju informativnu ocenu zdravlja i kvaliteta zemljišta. Zdravlje zemljišta je prvenstveno ekološka svojstvo u kome su sadržane biotičke komponente zemljišta (Doran & Safley 1997).

Ekotoksični efekti organskih i neorganskih zagađivača pojačavaju se međusobnom interakcijom kada se nađu zajedno, te izazivaju genetske promene organizama u

zemljištu. Mikrobi imaju najznačajniju ulogu u biološkoj degradaciji hemijskih zagađivača. Smanjena brojnost, enzimatska aktivnost i bioraznovrsnost mikroorganizama jesu indikacija degradacije i niske korisnosti zemljišta, kao staništa za mikrobe, biljke i faunu (Lee 1994, Higa & Parr 1994, Milošević et al. 2007). Niske vrednosti brojnosti pojedinih grupa mikroorganizama (npr. azotofiksatori) i dehidrogenazne aktivnosti upućuju na smanjenu biogenost, odnosno plodnost zemljišta (Milošević et al. 1999, Milošević & Jarak 2005).

Pesticidi

U zavisnosti od hemijskog jedinjenja, doze, ekoloških faktora ali i grupe mikroorganizama, pesticidi utiču inhibitory ili stimulatory na mikrobiološku aktivnost zemljišta (Milošević i sar. 2001, Milošević & Govedarica 2002). Primarna populacija mikroorganizama razgrađuje herbicide već posle nekoliko dana od dospevanja u zemljište, dok sekundarna populacija produkuje indukovane enzime i razgrađuje ova hemijska jedinjenja posle perioda adaptacije. Pojedine grupe mikroba su indiferentne na primenjene herbicide.

Pesticidi poseduju individualni toksični nivo, ali primena većeg broja hemikalija utiče na stvaranje različitih interakcija i mogućnost stvaranja toksičnih efekata za ljude i ekosistem (Michaelidou et al. 2000). Primena pesticida može izazvati akutnu i genetsku toksičnost na živi svet u ekosistemu. Poluvreme razgradnje pojedinih pesticida se kreće od 9 do 116 godina, te bi u zemljištu bez mikroorganizama primena ovih jedinjenja imala nesagledive posledice po celokupni živi svet (Vrochinskiy & Makovskiy 1979).

Razgradnja herbicida u zemljištu zavisi od hemijskog sastava i količine (doze) primenjenog preparata, zatim od fizičko-hemijskih svojstava i obrade zemljišta, vlažnosti, temperature, biljnog pokrivača, kao i brojnosti, aktivnosti i diverziteta mikroorganizama (Milošević i sar. 2001, Milošević i sar. 2004, Milošević & Govedarica 2000, Milošević & Govedarica 2002).

Naša dugogodišnja istraživanja (Milosevic et al. 2006) pokazuju da su *Actinomyces*, *Azotobacter* sp. i aktivnost dehidrogenaze

pouzdati indikatori uticaja herbicida na biogenost zemljišta. Većina mikroorganizama zemljišta ima sposobnost da razlažu herbicide koristeći ih najčešće kao izvor ugljenika (Radosevich et al. 1995) ili azota (Cook & Hutter 1981). Primena većih i manjih doza atrazina i alahlora (Milošević et al. 2004 a) u suzbijanju korova u proizvodnji kukuruza utiče na smanjenje ukupnog broja bakterija, amonifikatora i asimbioznih azotofiksatora uz značajno povećanje aktinomiceta i gljiva.

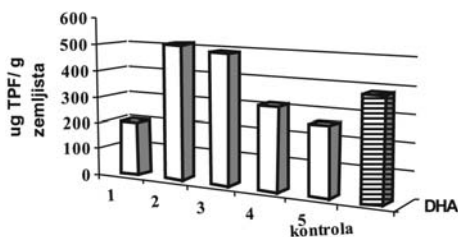
Dugogodišnja istraživanja pokazuju da herbicidi značajno redukuju dehidrogenaznu aktivnost naročito između 14. i 30. dana posle primene (Milošević et al. 2002, Milošević et al. 2006, Milošević & Govedarica 2002). Međutim, posle perioda oko 3 meseca oksido-redukциони procesi se vraćaju na nivo kontrolne varijante. Aktivnost dehidrogenaze je senzitivn indikator dugoročne primene herbicida (Schuster & Schröder 1990). Istraživanja Schuster & Schröder (1990) u poljskim uslovima pokazuju smanjenje dehidrogenazne aktivnosti u zemljištu posle primene dihloropropana (13 %) i glifosata (5 %).

Prema autorima Greaves i Malkomes (1980) zastupljenost većine grupa mikroorganizama ponovo se vraća na prethodni nivo 30 dana posle primene herbicida. Poremećaj ekološke ravnoteže nastaje ako se ustanovi inhibicija mikrobiološke aktivnosti u zemljištu posle 60 dana od primene herbicida.

Teški metali

Uticao težkih metala na aktivnost mikroorganizama zavisi od elementa, koncentracije, vrste mikroba i fizičko-hemijskih svojstava zemljišta (Ehrlich 1997, Govedarica et al. 1997). Mikroba aktivnost je dobar indikator prisustva ovih zagađivača (Banger 2003). Teški metali su toksični za mikroorganizme, ali su pojedini elementi u malim koncentracijama biogeni Fe, Mn, Cu, Co, Ni i Zn (Govedarica et al. 1997). Gvožđe, bakar i kobalt su uključeni u metabolizam mikroorganizama, dok su cink, mangan i nikal katalizatori enzimatskih reakcija. Visoke koncentracije težkih metala utiču negativno na mikrobiološku aktivnost zemljišta, a stepen inhibicije zavisi od grupe ili vrste mikroorganizama (Milosevic et al. 2002a, Milošević & Jarak 2005, Banger 2003). Po autoru Froster-

gård (1997) bakterije su osetljivije na prisustvo teških metala u zemljištu u odnosu na gljive. Međutim, istraživanja autora Pennanen (2001) pokazuju da je bakar relativno više toksičan na gljive u odnosu na bakterije.



1. Pšenica/Wheat; 2. Kukuruz/Maize; 3. Suncokret/Sunflower; 4. Šećерна repa/Sugarbeet; 5. Soja/Soybean

Graf. 1. Uticaj nikla na dehidrogenaznu aktivnost zemljišta (Milošević i sar. 2005a)

Graph. 1. Effect of Ni on dehydrogenase activity of soil

Nikal je u koncentraciji 2,0 mg Ni kg⁻¹ zemljišta uglavnom inhibitorno uticao na većinu mikrobioloških parametara, sem na zastupljenost *Azotobacter* sp. (Milošević et al. 2002a, Milošević et al. 2005a). Nivo enzim-

atske aktivnosti je dobar indikator biološke aktivnosti zemljišta. Aktivnost dehidrogenaze je neujednačena u zavisnosti od biljne vrste (Graf. 1).

Nivo enzimatske aktivnosti je dobar indikator biološke aktivnosti zemljišta. U svojim istraživanjima, mnogi autori ističu nepovoljan uticaj teških metala na aktivnost dehidrogenaze (Reddy & Faza 1989, Govedarica i sar. 1997). Po autorima Milošević i sar. (1997) olovo i kadmijum su smanjili dehidrogenaznu aktivnost, ali Mo i Ni nisu uticali na aktivnost ovog enzima (Govedarica i sar. 1997).

Industrijske zone i deponije

Istraživanja autora Milošević i sar. (2008a) pokazuju da je u poljoprivrednim zemljištima u blizini industrijskih zona Novog Sada ustanovljen visok ukupan broj mikroorganizama (prosek 4 do 5 x 10⁸ po gramu zemljišta), ali je brojnost azotobaktera zavisila od biljne vrste. Vrednosti dehidrogenazne aktivnosti su niske na lokaciji industrijskih zona Sever i Jug (Novi Sad) u odnosu na zemljišta industrijske zone Šangaj (TETO i NIS Rafinerija).

Tab. 2. Uticaj olova i nikla za brojnost *Azotobacter* sp. i dehidrogenaznu aktivnost zemljišta (Milošević et al. 2008)

Tab. 2. Effect of lead and nickel contents on *Azotobacter* sp. and dehydrogenase activity of soil

Lokalitet / Location	Uzorci / Samples	<i>Azotobacter</i> sp. (x 10 ⁻¹ g zemljišta / soil)	Dehidrogenazna aktivnost / Dehydrogenase activity (gTPF g zemljišta / soil)	Teški metali / Heavy metals (mg ⁻¹ kg zemljišta / soil)
Sombor "Black horse"	1	0,00	169	
	2	3,50	429	
	3	1,50	245	Pb
	4	9,00	442	
	5	17,56	481	
Beočin "BFC Lafarž"	1	6,50	860	
	2	14,50	227	
	3	43,00	990	Ni
	4	16,00	431	
	5	15,00	602	
	6	27,00	283	

Aktivnost nitrifikacionih bakterija je senzitivniji indikator uticaja policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAH) na mikroorganizme zemljišta. Istraživanja pokazuju da

pojedine vrste mikroorganizama koriste nizak nivo PAH-ova u zemljištu kao izvor ugljenika. Međutim, mnogi autori nisu dobili stimulaciju mikrobiološke aktivnosti u uslo-

vima kontaminacije ovim zagađivačem (Mali-szewska-Kordybach et al. 2007).

Prema autorima Milošević et al. (2008) visok sadržaj olova u zemljištu u blizini fabrike "Black horse" na lokalitetu Sombor ihinbirao je rast azotobaktera ($0,00$ do $17,56 \times 10^1$ na g zemljišta). Utvrđene su niske vrednosti zastupljenosti azotobaktera i aktivnost dehidrogenaze na lokalitetu Beočinu (BFC Lafarž) gde je utvrđen sadržaj nikla od 23 mg kg^{-1} do 75 mg kg^{-1} zemljišta (Tab. 2).

Istraživanja mikrobiološke aktivnosti u okviru projekta rekultivacije deponija isplake na više lokaliteta u Vojvodini pokazuju da su brojnost mikroorganizama i dehidrogenazna aktivnost pouzdani indikatori sa aspekta davanja ocene o kvalitetu i zdravlju zemljišta (Kastori i sar. 2006, Milošević 2008). Na lokalitetu Mokrin (Milošević i sar. 2006) hemijska svojstva zemljišta deponija (na dubini do 50 cm) utiču na smanjenje ukupnog broja mikroorganizama, ali i na značajno povećanje aktinomiceta, gljiva i dehidrogenazne aktivnosti.

Tolerantnost mikroba na pesticide i teške metale

Poremećaji fizičko-hemijskih svojstava zemljišta, visoke koncentracije teških metala, pesticida i ostalih zagađujućih materija predstavljaju stresne činioce koji mogu da uzrokuju inhibiciju aktivnosti mikroorganizama. Međutim, u nepovoljnim uslovima mikroorganizmi imaju sposobnost da prežive u zemljištu u neaktivnom stanju, ali se njihova aktivnost obnavlja u povoljnim uslovima. Siromašna i/ili degradirana zemljišta imaju veoma sužen opseg rodova i vrsta mikroorganizama.

Po autorima Shafiani i Malik (2003) tolerantnost bakterija *Pseudomonas* spp., *Azotobacter* sp. i *Rhizobium* sp. na pesticide endosulfan, karbofuran i maltion zavisi od koncentracije. *Pseudomonas* spp. je tolerantan na koncentraciju endosulfana od $800 \mu\text{g ml}^{-1}$. Na koncentraciju od $1600 \mu\text{g ml}^{-1}$ malationa $12,5 \%$ izolata *Pseudomonas* spp. je tolerantno, ali je najmanje izolata ($7,5 \%$) tolerantno na karbofuran. *Azotobacter* sp. i *Rhizobium* sp. imaju viši prag tolerancije na primenjene pesticide (1.600 gml^{-1}).

Istraživanja pokazuju da prisustvo teških metala može u zavisnosti od elementa i koncentracije uticati na povećanu tolerantnost pojedinih mikrobnih zajednica u zemljištu (Báath 1989, Blanck 2002). Mikroorganizmi koji su dugo vremena bili izloženi teškim metalima tolerantniji su na prisustvo ovih zagađivača od onih iz nezagađenih zemljišta. Naime, tolerantne grupe zamenjuju u velikom stepenu druge grupe mikroorganizama, te dolazi do smanjenja biodiverziteta u datom ekosistemu.

Mogućnost primene mikroorganizama u smanjenju ekotoksičnosti zemljišta

Pojedini mikroorganizmi su veoma efikasni kao biopesticidi i njihova primena ne zagađuje životnu sredinu. Protiv korova se uspešno mogu koristiti preparati sa gljivama (*Beauveria bassiana*, *Paecilomyces litacinus*, *Verticillium chlamydosporum*) i virusima. Ustanovljeno je da gljiva *Sphacelotheca halepense* potencijalni mikroherbicid u biokontroli *Sorgum halepense* (Milanova & Karadjova 1997, cit. prema Milošević i sar. 2001).

Poznato je oko 1500 vrsta mikroorganizama i njihovih metabolita koji se koriste za uništavanje 100 vrsta insekata. Za zaštitu biljaka od insekata koriste se *Bacillus thuringiensis*, *B. popillae*, *B. lentimorbus*, *B. sphaericus*, *Micrococcus pseudoflacidifex*, *Pseudomonas fluorescens* (Concannon & Wade-witz 1983, Chiang et al. 1986, Krisances & Lewis 1986, cit. prema Milošević i sar. 2001).

Prema autorima Mishustim i Emsev (1978) *Pseudomonas* je sposoban da razloži micelijum nekih fitopatogenih gljiva. Antibiotici koje proizvode aktinomicete, mogu da smanje negativan uticaj *Helminthosporium sativum*. Gljiva *Trichoderma viride* kada parazitira na hifama ovih i drugih patogena štiti seme od infekcije *Helminthosporium* (Grey & Williams 1971), a bakterije iz roda *Pseudomonas*, soj 40 RNF mogu se uspešno koristiti u biokontroli *Pythium ultimum* na šećernoj repi (Burns 1995).

Po autorima Diels et al. (2007) bakterija *Alcaligenes eutrophus* CH34 utiče na rastvorljivost Zn, Cd, Cu i Pb ili povećava njihovu biodostupnost preko produkcije sideropora i

adsorbovanjem metala u biomasu. *Alcaligenes eutrophus* CH34 smanjuje koncentraciju kadmijuma sa 21 mg Cd kg⁻¹ na 3,3 mg Cd kg⁻¹ zemljišta i cinka sa 1.070 mg Zn kg⁻¹ na 172 mg Zn kg⁻¹ zemljišta. Primenom bakterije koncentracija olova u zemljištu je smanjena sa 459 mg Pb kg⁻¹ na 74 mg Pb kg⁻¹ zemljišta.

U bioremedijaciji zemljišta koriste se bakterije *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, zatim aktinomicete *Streptomyces*, gljive *Aspergillus* i *Penicillium*. Oni učestvuju u degradaciji pojedinih jedinjenja ugljenovodonika (nafte i naftinih derivata (Zlotnikov et al. 2007). Poslednjih dvadeset godina u bioremedijaciji zagađenih staništa koriste se i genetički modifikovani sojevi *Pseudomonas* i *Escherichia coli* (Menn et al. 2002).

Zaključak

Mikroorganizmi su osetljivi bioindikatori ekotoksičnosti i daju informativnu ocenu o zdravlju i kvalitetu zemljišta. Oni reaguju na prisustvo zagađivača promenom enzimatske aktivnosti, zastupljenošću ali i bioluminescencijom. Pored smanjenja biodiverziteta, tolerantnost mikroorganizama na pesticide i teške metale omogućava da se pojedine vrste i rodovi koriste u procesima bioremedijacije zemljišta.

Literatura

Bååth E (1989): Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *Water, Air and Soil Pollution* 47: 335-379

Blanck H (2002): A critical review of procedures and approaches used for assessing pollution-induced community tolerance (PICT) in biotic communities. *Hum. Ecol. Risk Assess* 8: 1003-1034

Banger K C (2003): Soil microbial biomass and microbial activities as indicators of heavy metal pollution. *J of the Indian Soc of Soil Sci.* 51: 473-483

Burns R G (1995): Enumeration, Survival, and Beneficial Activities of Microorganisms Introduced into Soil. In: Uang P M et al. (eds.) *Environmental impact of soil component interactions, Metals, Other Inorganics, and Microbial Activities* Press. Inc.

Cook A M, Hutter R (1981): S-Triazines as nitrogen sources for bacteria. *J of Agricul and Food Chemis.* 29: 1135-1143

Diels L, de Smet M, Hooyberghs L, Corbisier P (1999): Heavy metals bioremediation of soil. *Mol Biotech.* 2: 1073-6085

Doran J W, Saffley M (1997): Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: Pankhurst C E (ed.) *Biological Indicators of Soil Health*, CAB International, New York, 1-28

Frostergård Å, Tunlid A, Bååth E (1996): Changes in microbial community structure during long-term incubation in two soils experimentally contaminated with metals. *Soil Biol Biochem.* 28: 55-63

Govedarica M, Milošević N, Jarak M (1997): Teški metali i mikroorganizmi zemljišta. U: Kastori R (ured.) *Teški metali u životnoj sredini*, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 153 - 194

Greaves M P, Malkomes H P (1980): Effects on soil microflora. U: Hance R J (ed.) *Interactions between herbicides and the soil*, Academic Press, London, 223-253

Grey T R G, Williams S T (1978): *Soil Micro-organisms*. Oliver and Boyd, Edinburgh

Kastori R, Kadar I, Sekulić P, Bogdanović D, Milošević N, Pucarević M (2006): Uzorkovanje zemljišta i biljaka nezagađenih i zagađenih staništa. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

Kohan G K, Morgan W A (2007): Stress protein as a suitable biomarker of environmental pollution. *International J of Environ research* 4: 290-295

Lee K E (1994): The functional significance of biodiversity in soils. *Proc 15th World Congress of Soil Science*, Acapulco, Mexico, 4a: 168-182

Liss W, Ahlf W (1997): Evidence from whole-sediment, porewater and elutriate testing in toxicity assessment of contaminated sediments. *Ecotoxicol Environ Saf.* 36: 70-140

Higa T, Parr J F (1994): Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. *International Nature Farming Research Center*, Atami, Japan, 1-20

Maliszewska-Kordybach B, Klimkowicz-Pawlus A, Smreczak B, Januskaite D (2007): Ecotoxic Effect of Phenanthrene on Nitrifying Bacteria in Soils of Different Properties. *J Environ Qual* 36: 1635-1645

Menn F-M, Easter J P, Saylor G S (2002): *Genetically Engineered microorganisms and Bioremediation*. Knoxville, USA

Michaelidou S T, Piera P, Nicolaou S A (2000): Evaluation of combination toxic effects and genotoxicity of pesticides for environmental protect and sustainability. In: Albanis T (ed.) *Proc of the 1st Europ Confer on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the Environm*, Ioannina, Greece, 49-52

Milošević N, Petrović N, Đurić S, Stamenković-Jovanović S (1997): Uticaj kadmijuma i olova na mikrobiološku aktivnost zemljišta. IX kongres za proučavanje zemljišta, Uredjenje, korišćenje i očuvanje zemljišta, JDPZ, 464-469

Milošević N, Govedarica M, Jarak M (1999): Soil microorganisms - an important factor of agroecological systems. *Zemljište i biljka* 48: 103-110

Milošević N, Govedarica M (2000): Effect of some herbicides on microbial properties of soil. *Proc of the 1st European Conferences on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the Environment*, Ioannina, Greece, 61-62

Milošević N, Govedarica M, Jarak M, Đorđević S (2001): Pesticidi i mikroorganizmi. U: Konstatinović B i sar. (ured.) *Zaštita šćerane repe od štetočina, bolesti i korova*, Stylos, Novi Sad, 109-149

Milošević N, Govedarica M (2002): Effect of herbicides on microbiological properties of soil. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, Novi Sad 102: 5-21

Milošević N, Govedarica M, Kastori R, Petrović N: (2002a): Effect of nickel on wheat plants, soil microorganisms and enzymes. *Biologia* 47: 177-181

Milošević N, Govedarica M, Jeličić Z, Kuzevski J, Krstanović S (2004): Uticaj herbicida na mikrobiološku aktivnost

- zemljišta pod šećernom repom, sojom i kukuruzom. Zbornik naučnih radova, PKB INI Agroekonomik 10: 55-64
- Milošević N, Govedarica M, Cvijanović G (2004a): Effect of atrazine on microbial activity and maize rhizosphere. Proc of the 3rd Europ Conferences on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the Environ, Halkidiki, Greece, 332-334
- Milošević N, Jarak M (2005): Značaj azotofiksacije u snabdevanju biljaka azotom. U: Kastori R (ured.) Azot: agrohemijski, agrotehnički, fiziološki i ekološki aspekti, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 305-352
- Milošević N, Cvijanović G, Tintor B (2006): Herbicides effects on microbial activity in agricultural soil. *Herbologia, Intern J on Weed Research and Control* 7: 57-70
- Milošević N, Tintor B, Ralev J, Cvijanović G (2006): Mikrobiološka svojstva riške crnice i deosola na lokalitetu Mokrin. Zbornik radova EcoIst'06, Ekološka istina, Sokobanja, 285-289
- Milošević N, Cvijanović G, Tintor B (2007): Mikroorganizmi kao indikatori ekotoksičnosti zemljišta. Zbornik radova EcoIst'07, Ekološka istina, Sokobanja, 247-251
- Milošević N, Tintor B, Cvijanović G (2008): Microorganisms and soil ecotoxicity. Proc XII International Eko Conference, Safe Food, Novi Sad, 59-65
- Milošević N, Sekulić P, Tintor B, Cvijanović G (2008a): Monitoring zdravlja / kvaliteta zemljišta u blizini industrijskih zona Vojvodine. Zbornik radova EcoIst'08, Ekološka istina, Sokobanja, 276-280
- Milošević N (2008): Mikroorganizmi - bioindikatori zdravlja / kvaliteta zemljišta. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad 45: 505-515
- Mishustin E N, Emsev V T (1987): Mikrobiologija. Izd. Kolos, Moskva
- Pennanen T (2001): Microbial communities in boreal coniferous forest humus exposed to heavy metals and changes in soil pH - a summary of use phospholipid fatty acids, Biolog and 3H-thymidine incorporation methods in field studies. *Geoderma* 100: 91-126
- Radosevich M, Traina S J, Hao Y I, Touvinen O H (1995): Degradation and mineralisation atrazine by a soil bacterial isolate. *Applied and Environ Microbiol.* 61: 297-302
- Reddy G B, Faza A (1989): Dehydrogenase activity in sludge amended soil. *Soil Biol and Biochem*, 21: 320-327
- Schuster E, Schröder D (1990): Side-effects of sequentially-applied pesticides on non - target soil microorganisms: Field experiment. *Soil Biol. Biochem.* 22: 367-373
- Shafiani S, Malik A (2003): Tolerance of pesticides and antibiotic resistance in bacteria isolated from wastewater-irrigated soil. *World J of Micro and Biotech.* 19: 897-901
- Vaajasaari K (2005): Leaching and Ecotoxicity, Test as Methods for Classification and Assessment of Environmental Hazard of Solid Wastes. Publication 540, University of Technology, Tampere
- Vrochinskiy K K, Makovskiy V N (1979): Primeninije pesticidov i ohrana okružujušaćaja sredi. Višaja škola, Kiev
- Zlotnikov A K, Sadovnikova I K, Balandina A V, Zlotnikov K M, Kazakov L M (2007): Bioremediation of oil-polluted soils. *Vestnik RASHN* 1: 65-67

Microorganisms as bioindicators of pollutants in soil

Nada Milošević¹, Petar Sekulić¹, Gorica Cvijanović²

¹Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad

²Faculty of biofarming of Megatrend University, Maršala Tita 39, 24000 Bačka Topola

Summary: Microorganisms are the predominant portion of the soil's biological phase and they are indicators of soil health and quality. Soil microorganisms a) take part in degradation of organic and inorganic compounds, b) their activity, number and diversity may serve as bioindicators of toxic effects on soil biological activity, c) some microbial species may be used for soil bioremediation and d) some sensitive microbes are used in eco-toxicity tests.

The primary microbial population starts to decompose herbicides several days after their arrival into the soil. The secondary population produces induced enzymes and decomposes herbicides after a period of adaptation. Certain microbial groups are indifferent to the applied herbicides. Effect of heavy metals on soil microbial activity depends on the element, their concentration, microbial species, as well as physical and chemical soil properties.

Toxic level of individual pollutants depends on their origin and composition. However, combined application of chemicals makes room for the occurrence of synergistic toxic effects detrimental for the ecosystem and human health

Key words: ecotoxicity, microorganisms, pollutants, soil

Primljeno / Received: 25.11.2009.

Prihvaćeno / Accepted: 07.12.2009.