

Delovanje atrazina na neke fiziološke grupe mikroorganizama

Ljiljana Radivojević*, Ljiljana Šantrić, Jelena Gajić Umiljendić

Institut za pesticide i zaštitu životne sredine, Banatska 31b, Beograd, Srbija

*e-mail: ljiljana.radivojevic@pestring.org.rs

REZIME

U radu je praćeno delovanje herbicida atrazina na brojnost aminoautotrofa, aminoheterotrofa, *Azotobacter* sp., fosfomobilizatora i fosfomineralizatora. Ogleđi su postavljeni u laboratorijskim uslovima na zemljištu tipa černoziem. Atrazin je primenjen u koncentracijama 8,0, 40,0 i 80,0 mg/kg zemljišta. Uzorci za analize su uzimani 1, 7, 14, 21, 30 i 60 dana posle primene atrazina.

Dobijeni rezultati su pokazali da je delovanje atrazina zavisilo od primenjene koncentracije, dužine delovanja i grupe mikroorganizama. Atrazin je inhibitorno delovao na aminoheterotrofe, *Azotobacter* sp. i fosfomobilizatore. Na aminoautotrofe atrazin je prvo delovao inhibitorno, a kasnije, zbog obnavljanja populacije, stimulatивно, dok je na fosfomineralizatore delovao stimulatивно.

Ključne reči: atrazin, černoziem, aminoautotrofi, aminoheterotrofi, *Azotobacter* sp., fosfomobilizatori i fosfomineralizatori

UVOD

Zemljište je polifazni sistem u kome žive različite vrste organizama koje ovom sistemu daju posebnu dinamičnost i koje omogućavaju da se u njemu odvijaju brojni fizički, hemijski i biohemijski procesi. Tako su mikroorganizmi zemljišta heterogena grupa živih organizama sastavljena od aeroba, anaeroba, heterotrofa, autotrofa, saprofita, simbionata i parazita. Mikroorganizmi imaju važnu ulogu u stvaranju i održavanju plodnosti zemljišta, rastu i razviću biljaka, razgradnji pesticida i drugih toksikanata (Pascual et al., 2000; Milošević i sar., 2001; Thompson et al., 2001).

Grupu aminoheterotrofnih mikroorganizama čine aerobne, anaerobne, sporogene i asporogene bakterije i gljive koje naseljavaju sve tipove zemljišta i učestvuju u procesima amonifikacije, odnosno razgradnje i transformacije proteina u mineralne i/ili nove organske oblike. Mineralizacijom proteina oslobađa se azot koji dalje učestvuje u stvaranju biljnih hraniva (Govedarica i Jarak, 1995; Jarak i Govedarica, 2003).

Slobodnu aerobnu azotofiksaciju obavljaju uglavnom bakterije, a najaktivnije su one iz roda *Azotobacter* koje imaju sposobnost da redukuju elementarni azot iz atmosfere i da ga prevode u organski oblik. Brojnost ovog roda se kreće od nekoliko hiljada do nekoliko stotina hiljada po gramu zemljišta. Najveću aktivnost imaju u neutralnim zemljištima u kojima je vlažnost 60-80% maksimalnog vodnog kapaciteta i temperatura 15-25°C (Jarak i sar., 1994; Milošević i sar., 2001).

U procesu kruženja fosfora u zemljištu mikroorganizmi imaju značajnu ulogu u razlaganju neorganskih i organskih jedinjenja fosfora, zatim u imobilizaciji neorganskih anjona i njihovoj ugradnji u ćelijske komponente. U svim ovim procesima dominiraju fosfomineralizatori i fosfomobilizatori (Đorđević i sar., 1999).

Atrazin (6-hlor-N²-etil-N⁴-izopropil-1,3,5-triazin-2,4-diamin) je herbicid koji je uveden u primenu još davne 1958. godine. Od tada pa do danas koristio se za suzbijanje jednogodišnjih širokolisnih i travnih korova u kukuruzu, sirku, šećernoj trsci, voćnjacima, vinogradima i na nepoljoprivrednim površinama (Ahrens, 1994). Po svojim fizičko-hemijskim karakteristikama pripada grupi jedinjenja koja su u zemljištu umereno postojana i umereno pokretljiva. Vreme poluraspada atrazina se, u zavisnosti od uslova spoljašnje sredine, učestalosti i količina primene, kreće u intervalu od nekoliko dana do nekoliko meseci (Radošević et al., 2003). Zbog veoma rasprostranjene i česte primene, kao i svojih fizičko-hemijskih osobina, atrazin je detektovan u površinskim i podzemnim vodama (Hoffman et al., 2000; Rhine et al., 2003). Prema rezultatima istraživanja koja su obavljena kod nas, nađene količine atrazina u površinskim vodama kreću se u granicama 1,0-4,13 µg/L, a u podzemnim do 0,3 µg/L (Gašić i sar., 2002). Pojava atrazina u površinskim i podzemnim vodama izazvala je ozbiljnu zabrinutost za zdravlje ljudi i životnu sredinu (Bintein and Devillers, 1996; Hoffman et al., 2000; Rhine et al., 2003), što je dovelo do smanjenja količina i postepenog povlačenja iz primene. Međutim, i pored svih navedenih problema, prema podacima Parka i saradnika (2003), u Sjedinjenim Američkim Državama se svake godine potroši oko 32000 tona atrazina.

Cilj ovog rada je bio da se u laboratorijskim uslovima utvrdi delovanje atrazina na neke fiziološke grupe mikroorganizama kao što su: aminoautotrofi, aminoheterotrofi, *Azotobacter* sp., fosfomobilizatori i fosfomineralizatori.

MATERIJAL I METODE

Ogledi su izvedeni u laboratorijskim uslovima. U ispitivanjima je korišćen herbicid atrazin (tehnički proizvod firme „Agan Chemical Manufacturers”, Ashdod, Izrael) koji je primenjen u koncentracijama 8,0, 40,0 i 80,0 mg/kg zemljišta. Koncentracije su izabrane tako da najniža odgovara količini koja se preporučuje za primenu, dok su druga i treća pet odnosno deset puta veće od preporučene.

Zemljište tipa černozem, teksturne klase glinovita ilovača, je uzeto sa lokaliteta Zemun Polje, sa dubine 0-10 cm, sa površina na kojima ranije nisu primenjivani herbicidi. U laboratoriji je očišćeno od ostataka nadzemnih i podzemnih delova biljaka, osušeno do vazdušno suvog

stanja i prosejano kroz sito prečnika 5 mm. Odgovarajuće koncentracije atrazina nanošene su na površinu jednog kilograma zemljišta pumpicom za tankoslojnu hromatografiju, a zatim je vršena homogenizacija na rotacionoj mučkalici u trajanju od 30 minuta. Nakon homogenizacije zemljište je preneto u vegetacione sudove. Kontrola nije tretirana atrazinom. Ogledi su izvedeni u četiri ponavljanja. Vegetacioni sudovi su za sve vreme trajanja oglada držani u klima komori, u kontrolisanim uslovima na temperaturi od $20 \pm 2^\circ\text{C}$, vlažnosti vazduha od 50% i fotoperiodom 12 sati dan, 12 sati noć. Vlažnost zemljišta je održavana na 50% poljskog vodnog kapaciteta. Uzorci za analize uzimani su 1, 7, 14, 21, 30 i 60 dana posle primene atrazina.

Broj mikroorganizama određen je indirektno, metodom razređenja i zasejavanja suspenzije zemljišta na selektivne hranljive podloge u petri kutijama, koje su inkubirane na 28°C . Rezultati su izraženi kao broj mikroorganizama na gram apsolutno suvog zemljišta (Jarak i Đurić, 2004). Na ovaj način određen je broj aminoautotrofa na skrobno-amonijskom agaru; aminoheterotrofa na meso-peptonskom agaru; *Azotobacter* sp. na Fjodorovoj podlozi metodom fertilnih kapi; fosfomobilizatora na podlozi Mekine i broj fosfomineralizatora na glukozno-asparaginskoj podlozi Murmanova.

Statistička obrada rezultata obavljena je pomoću kompjuterskog programa („Anova”) za personalne računare. Za sve promenljive i njihove interakcije urađen je F-test, a ukoliko je on bio značajan za pojedinačna poređenja korišćen je LSD-test. Kao kriterijum značajnosti razlika korišćene su verovatnoće nivoa 0,05 i 0,01.

REZULTATI I DISKUSIJA

Uticaj atrazina na neke fiziološke grupe mikroorganizama u zemljištu zavisio je od koncentracije, dužine delovanja i grupe mikroorganizama.

Kao što se iz rezultata prikazanih u tabeli 1 vidi već posle prvog dana kod sve tri koncentracije atrazina registrovano je smanjenje broja aminoautotrofa, i to za 63,3-86,1%. Inhibitorno delovanje dve više koncentracije (40,0 i 80,0 mg/kg) produženo je i na sedmi i petnaesti dan (najviše). Međutim, dvadeset prvog dana kod sve tri koncentracije zabeleženo je statistički

Tabela 1. Uticaj atrazina na aminoautotrofe ($10^3/\text{g}$ apsolutno suvog zemljišta)

Table 1. The effect of atrazine on amino-autotrophs ($10^3/\text{g}$ absolutely dry soil)

Herbicid Herbicide	Koncentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) - Time after application (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0,0	23,5	14,9	19,2	15,7	15,4	21,7
Atrazin	8,0	8,5**	14,7	141,3**	43,8**	14,5	19,9
Atrazine	40,0	5,4**	8,2**	111,8**	42,6**	16,7	24,3
	80,0	3,2**	5,5**	15,7**	24,2**	21,4**	20,8
LSD 5%	-	2,9	1,8	2,6	3,1	3,9	3,5
LSD 1%	-	4,2	2,6	3,4	4,3	5,1	4,8

značajno povećanje broja ove grupe mikroorganizama i to za 60% (80,0 mg/kg) i 179% (8,0 i 40,0 mg/kg) ($P < 0,01$). Nakon 30 dana, registrovan je povećan broj aminoautotrofa samo kod koncentracije od 80,0 mg/kg ($P < 0,01$). Na kraju eksperimenta, ni u jednoj varijanti, nije bilo statistički značajnih promena brojnosti u poređenju sa kontrolom.

Rezultati u tabeli 2 pokazuju da razlike u broju aminoheterotrofa nisu bile statistički značajne kod dve niže koncentracije atrazina (8,0 i 40,0 mg/kg) u prvih petnaest dana ogleda. U istom periodu kod najviše koncentracije (80,0 mg/kg) registrovano je statistički značajno smanjanje (41,0-62,9%) njihove brojnosti ($P < 0,01$). Promene u delovanju uočene su tridesetog dana, kada je zabeleženo povećanje (13,5-44,4%) broja ove grupe mikroorganizama kod sve tri koncentracije ($P < 0,01$). Na kraju eksperimenta (60 dana) ni u jednoj varijanti nije bilo statistički značajnih promena u poređenju sa kontrolom.

Broj *Azotobacter* sp. varirao je od $68,8 \times 10^2$ do $186,4 \times 10^2$ po gramu apsolutno suvog zemljišta. Kod najviše koncentracije atrazina (80,0 mg/kg), u toku 30 dana, zabeleženo je smanjenje brojnosti od 17,4% (jedan dan posle primene) do 48,8% (sedam dana posle primene), dok statistički značajne razlike nisu utvrđene kod dve niže koncentracije (8,0 i 40,0 mg/kg) u prvih sedam dana. Smanjen broj *Azotobacter* sp. (7,0-40,9%) u varijantama sa 8,0 i 40,0 mg/kg atrazina, konstatovan je petnaestog, dvadeset prvog i tridesetog dana. Na kraju eksperimenta

Tabela 2. Uticaj atrazina na aminoheterotrofe (10^3 /g apsolutno suvog zemljišta)

Table 2. The effect of atrazine on amino-autotrophs (10^3 /g absolutely dry soil)

Herbicid Herbicide	Koncentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) - Time after application (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0,0	151,5	148,9	146,5	138,1	152,2	144,8
Atrazin	8,0	135,8	156,5	153,3	108,3**	219,3**	136,9
Atrazine	40,0	140,3	137,3	139,7	47,5**	177,4**	139,6
	80,0	74,7**	55,5**	86,4**	47,6**	172,3**	142,3
LSD 5%	-	16,5	25,1	20,3	6,4	10,2	13,5
LSD 1%	-	23,2	36,4	29,1	9,7	15,6	19,3

Tabela 3. Uticaj atrazina na *Azotobacter* sp. (10^2 /g apsolutno suvog zemljišta)

Table 3. The effect of atrazine on *Azotobacter* sp. (10^2 /g absolutely dry soil)

Herbicid Herbicide	Koncentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) - Time after application (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0,0	143,5	134,6	182,9	186,4	181,7	148,6
Atrazin	8,0	150,6	120,9*	169,6*	167,8**	156,8	167,5*
Atrazine	40,0	150,2	125,3	162,3**	151,5**	138,8**	182,4**
	80,0	118,5**	68,8**	138,5**	129,9**	107,2**	139,2
LSD 5%	-	11,9	13,9	11,6	11,2	26,9	17,3
LSD 1%	-	17,5	20,1	16,9	16,1	38,3	25,9

povećanje broja ove grupe mikroorganizama utvrđeno je kod koncentracije od 8,0 mg/kg (12,8%) i 40,0 mg/kg atrazina (22,7%). Ostale razlike nisu bile statistički značajne (tabela 3).

Kao što se u tabeli 4 vidi, jedan dan posle primene došlo je do povećanja broja fosfomobilizatora za 78,5% kod primene 8,0 mg/kg i 45,6% kod 40,0 mg/kg atrazina. Međutim, u sledećem merenju (sedam dana) kod sve tri koncentracije registrovano je značajno smanjenje broja ove grupe mikroorganizama. Od petnestog dana pa do kraja eksperimenta, procenat smanjenja se kretao u intervalima 17,7-42,7% (40,0 mg/kg), odnosno 20,5-63,5% (80,0 mg/kg). Sve razlike su bile statistički značajne, a dalja analiza rezultata je pokazala da se sa povećanjem koncentracije atrazina povećavao i stepen inhibitornog delovanja ($P < 0,01$).

Jedan dan nakon primene atrazina broj fosfomineralizatora je bio statistički značajno manji ($P < 0,01$) u poređenju sa kontrolom (sve tri koncentracije). Od sedmog do dvadeset prvog dana kod dve koncentracije (40,0 i 80,0 mg/kg) zabeleženo je smanjenje broja ove grupe mikroorganizama za 34,8% do 71,8%. Sve razlike su bile statistički značajne ($P < 0,01$). Na kraju eksperimenta (60 dana) povećan broj fosfomineralizatora konstatovan je kod sve tri koncentracije atrazina i sve razlike su bile statistički značajne ($P < 0,01$) (tabela 5).

Do sličnih rezultata došli su i neki drugi istraživači (de Souza et al., 1996; Ostrofsky et al., 2002). Oni su utvrdili da se pod uticajem atrazina smanjuje ukupan broj mikroorganizma,

Tabela 4. Uticaj atrazina na fosfomobilizatore (10^3 /g apsolutno suvog zemljišta)

Table 4. The effect of atrazine on phosho-mobilizers (10^3 /g absolutely dry soil)

Herbicid Herbicide	Koncentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) - Time after application (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0,0	139,7	129,6	153,9	127,8	136,3	134,6
Atrazin	8,0	248,4**	103,3**	152,4	125,4	130,9	137,7
Atrazine	40,0	202,6**	114,1*	88,2**	82,1**	101,6**	110,5**
	80,0	158,9	91,4**	53,6**	46,5**	108,5**	112,4*
LSD 5%	-	23,2	12,9	16,3	8,7	13,1	15,2
LSD 1%	-	33,6	17,2	24,8	12,4	18,9	21,7

Tabela 5. Uticaj atrazina na fosfomineralizatore (10^4 /g apsolutno suvog zemljišta)

Table 5. The effect of atrazine on phospho-mineralizers (10^4 /g absolutely dry soil)

Herbicid Herbicide	Koncentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) - Time after application (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0,0	65,3	63,4	70,8	56,2	38,3	47,4
Atrazin	8,0	50,2**	57,8	71,6	58,7	85,1**	68,9**
Atrazine	40,0	41,9**	11,3**	41,7**	36,4**	65,9**	78,5**
	80,0	29,7**	29,7**	19,9**	18,9**	27,5	59,8**
LSD 5%	-	9,5	10,6	8,5	7,3	12,9	7,4
LSD 1%	-	13,6	15,2	11,4	10,6	17,6	10,7

aminoheterotrofa i *Azotobacter* sp., a povećava broj aktinomiceta i gljiva, u toku čitavog vegetacionog perioda kukuruza. Tamburić i Lević (1995) su konstatovali da je atrazin izazvao povećanje broja bakterija, a smanjio broj gljiva i da se odnos ove dve grupe mikroorganizama nalazi u negativnoj korelaciji ($r=-0,85^*$), odnosno da su bakterije značajnije za razgradnju atrazina.

Kada analiziramo dužinu delovanja atrazina (dani posle primene), zapažamo da kod gotovo svih grupa mikroorganizama, izuzev aminoheterotrofa, postoji značajna negativna povezanost između stepena ispoljenih promena i vremena izloženosti, što može da znači da se u funkciji vremena umanjilo toksično delovanje atrazina na mikroorganizme, odnosno da do povećanja broja mikroorganizama verovatno dolazi zbog toga što se atrazin mikrobiološki razgrađuje, a istovremeno, intenzivnije se razvijaju one populacije mikroorganizama koje iz razloženih molekula atrazina koriste, prvenstveno, ugljenik i azot za svoje fiziološke procese.

Naši rezultati su u saglasnosti sa rezultatima većeg broja autora (Bromilow et al., 1996; Allievi and Gigliotti, 2001; Min et al., 2001; Trabue et al., 2001; Johensen et al., 2001; Das et al., 2003; Radosevich et al., 2003) koji smatraju da se vremenom mikroorganizmi prilagođavaju na prisustvo i uticaj pesticida, počinju da se uključuju u procese njihove razgradnje i da ih koriste kao izvore biogenih elemenata i energije za svoje životne procese. Uslovi sredine, prevenstveno vlažnost i temperatura, određuju brzinu kojom će se obnavljati mikrobiološka populacija, tako da je u povoljnijim uslovima to vreme kraće (Radivojević, 1997). Prema rezultatima navedenih ispitivanja, u uslovima koji su optimalni za razvoj mikroorganizama, a to su temperatura od 20°C, vlažnost zemljišta na nivou 50% poljskog vodnog kapaciteta populacije gljiva, aktinomiceta, oligonitrofila i aminoheterotrofa obnavljaju se već posle 21, odnosno 30 dana.

Brojni istraživači su pratili delovanje herbicida i iz drugih hemijskih grupa na brojnost mikroorganizama, kao što su: imidazolinoni (Seifert et al., 2001), hloracetanilidi (Radivojević, 1997; Shukla and Mishra, 1997; Šantrić, 1998; Beulke and Malkomes, 2001), dinitronalini (Radivojević i Stanković-Kalezić, 2000), derivati karbonskih kiselina (Dejonghe et al., 2000; Seifert et al., 2001) i dr. Rezultati ovih istraživanja su pokazali različiti stepen osetljivosti sistematskih i fizioloških grupa mikroorganizama prema ispitivanim herbicidima.

Veoma su interesantni podaci koje su objavili Fantroussi i saradnici (1999), kao i Tixier i saradnici (2002). Korišćenjem najsavremenijih tehnologija, kojima su mogli da prate promene na nivou vrsta, utvrdili su da posle desetogodišnje primene hlortolurona, diurona i linurona iz mikrobiološke zajednice nestaju vrste *Pseudomonas jassenii* i *Pseudomonas mandelii*. Takođe, Nemes-Kosa i Cserhati (1995), kao i Šantrić (1998) su konstatovali da linuron ispoljava izrazito toksično delovanje na bakterije iz roda *Azotobacter*.

ZAHVALNICA

Rad je rezultat projekta TR 20041-Biološka, hemijska, toksikološka i ekotoksikološka proučavanja herbicida i njihova primena, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- Ahrens, W.H. (ed.):** Herbicide handbook – Atrazine (7th Edition). Weed Science Society of America (WSSA), Washington, USA, 1994.
- Allievi, L. and Gigliotti, C.:** Response of the bacteria and fungi of two soils to the sulfunylurea herbicide cinosulfuron. *J. Environ. Sci. Health*, B36(5), 161-175, 2001.
- Beulke, S. and Malkomes, H., P.:** Effects of the herbicides metazachlor and dinoterb on the soil microflora and degradation and sorption of metazachlor under different environmental conditions. *Biol. Fertil. Soils*, 33, 467-471, 2001.
- Bintein, S. and Devillers, J.:** Evaluating the environmental fate of atrazine in France. *Chemosphere*, 32, 2441-2456, 1996.
- Bromilow, R. H., Evans, A. A., Nicholls, P. H., Tood, A. D., Briggs, G. G.:** The effects on soil fertility of repeated applications of pesticides over 20 years. *Pest. Sci.*, 48, 63-72, 1996.
- Das, A. C., Debnath, A., Mukherjee, D.:** Effect of herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. *Chemosphere*, 53, 217-221, 2003.
- Dejonghe, W., Goris, J., Fantroussi S. E., Hofte, M., de Vos, P., Verstraete, W., Top E.:** Effect of dissemination of 2,4-D degradation plasmids on 2,4-D degradation and bacterial community structure in two different soil horizons. *Appl. Environ. Microb.*, 66, 3297-3304, 2000.
- de Souza, M., Sadowsky, M. J., Wackett, L. P.:** Atrazine chlorohydrolase from *Pseudomonas* sp. strain ADP: gene sequence, enzyme purification and protein characterisation. *J. Bacter.*, 178, 4894-4900, 1996.
- Đorđević, S., Šestović, M., Raičević, V., Marinković, N.:** Preživljavanje mikroorganizama u zemljištu tretiranom fentin-acetatom, hloridazonom i karbofuranom. *Pesticidi*, 14, 345-351, 1999.
- Fantroussi, S. A., Verschuere, L., Verstraete, W., Top, E.:** Effect of phenylurea herbicides on soil microbial communities estimated by analysis of 16s rRNA gene fingerprints and community-level physiological profiles. *Appl. Environ. Microb.*, 65, 982-988, 1999.
- Gašić, S., Budimir, M., Brkić, D., Nešković, N.:** Residues of atrazine in agricultural areas of Serbia. *J. Serb. Chem. Soc.*, 67, 887-892, 2002.
- Govedarica, M. i Jarak, M.:** Mikrobiologija zemljišta. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 1995.
- Hoffman, R. S., Capel, P. D., Larson, S. J.:** Comparison of pesticide in eight US urban streams. *Environ. Tox. Chem.*, 19, 2249-2258, 2000.
- Jarak, M., Belić, S., Govedarica, M., Vojvodić-Vuković, M.:** Uticaj atrazina i monokrotofosu na brojnost i aktivnost mikroorganizama u zemljištu. *Pesticidi*, 9, 17-20, 1994.
- Jarak, M. i Govedarica, M.:** Mikrobiologija. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2003.
- Jarak, M. i Đurić, S.:** Praktikum iz mikrobiologije. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2004.
- Johansen, K., Jacobsen C.S., Torsvik, V.:** Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils – a review. *Biol. Fertil. Soils*, 33, 443-453, 2001.
- Milošević, N., Govedarica, M., Jarak, M., Đorđević, S.:** Pesticidi i mikroorganizmi. U: Zaštita šećerne repe od bolesti, štetočina i korova (urednici: Konstantinović, B., Štrbac, P. i Balaž, F.). *Stylos*, Novi Sad, 109-142, 2001.
- Min, H., Ye Y., Chen, Z., Wu, W., Yufeng, D.:** Effects of butachlor on microbial populations and enzyme activities in paddy soil. *J. Environ. Sci. Health*, B36(5), 581-595, 2001.
- Nemes-Kosa, S. and Cserhati, T.:** Quantitative structure-activity relationship study on the inhibitory effect of some herbicides on the growth of soil micro-organisms. *J. Appl. Bacter.* 79, 483-491, 1995.
- Ostrofsky, E. B., Robinson, J. B., Traina, S., Tuovinen, O. H.:** Analysis of atrazine-degrading microbial communities in soil using most-probable-number numeration, DNA hybridization and inhibitors. *Soil. Biol. Biochem.*, 34, 1499-1459, 2002.

- Park, J., Feng, Y., Ji, P., Voice, T., Bozd, A.:** Assessment of bioavailability of soil-sorbed atrazine. *Appl. Environ. Microb.*, 69, 3288-3298, 2003.
- Pascual, J. A., Garcia, C., Hernandez, T., Moreno, J. L., Ros, M.:** Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biol. Biochem.*, 32, 1877-1883, 2000.
- Radivojević, Lj.:** Uticaj alhlora, metolahlora i metribuzina na zemljišnu mikrofloru. Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun, 1997.
- Radivojević, Lj. i Stanković-Kalezić, R.:** Uticaj trifluralina i pendimetalina na mikroorganizme u zemljištu. *Acta herbol.*, 9, 77-84, 2000.
- Radosevich, M., Traina S. J., Hao, Y.L., Touvinen, O. H.:** Degradation and mineralisation of atrazine by soil bacterial isolate. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61, 1451-1457, 2003.
- Rhine, E. D., Fuhrmann, J. J., Radosevich, M.:** Microbial community responses to atrazine exposure and nutrient availability: Linking degradation capacity to community structure. *Microb. Ecol.*, 46, 145-160, 2003.
- Seifert, S., Shaw, D. R., Zablotowicz, R. M., Wesley, R. A., Kingery, W. L.:** Effect of tillage on microbial characteristics and herbicide degradation in a Sharkey clay soil. *Weed Sci.*, 49, 685-693, 2001.
- Shukla, A. K. and Mishra, R. R.:** Effects of herbicides butachlor on nitrogen transformation and soil microbes. *J. Indian Soil Sci.*, 45, 571-574, 1997.
- Šantrić, Lj.:** Uticaj alhlora, linurona i fomesafena na mikrofloru zemljišta pod sojom. Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun, 1998.
- Tamburić, Lj. i Lević, J.:** Uticaj atrazina, EPTC-a i njihove smeše na brojnost mikroorganizama u zemljištu pod usevom kukuruza. *Pesticidi*, 10, 219-230, 1995.
- Thompson, I. P., Singer, A. C., Bailey, M. J.:** Improving the exopolatation of microorganisms in environmental clean-up. *Proceedings of Symposium Pesticide Behavior in Soil and Water*, Brighton, British Crop Protection Council (BCPC), 197-204, 2001.
- Tixier, C., Sancelme, M., Ait-Aiss, A., Widehem, P., Bonnemoy, F. B., Cuer, A., Truffaut, N., Veschambre H.:** Biotransformation of phenylurea herbicides by a soil bacterial strain: Structure, ecotoxicity and fate of diuron with metabolite soil fungi. *Chemosphere*, 46, 519-526, 2002.
- Trabue, S. L., Ogram, A. V., Ou L. T.:** Dynamic of carbofuran-degrading microbial communities in soil during three successive annual applications of carbofuran. *Soil Biol. Biochem.*, 33, 75-81, 2001.

The Effect of Atrazine on Some Physiological Groups of Microorganisms

SUMMARY

The effect of atrazine on abundance of amino-autotrophs, amino-heterotrophs, *Azotobacter* sp., phospho-mobilizers and phospho-mineralizers was examined. A trial was set up in laboratory on chernozem soil type. Atrazine was applied in concentrations 8.0, 40.0 and 80.0 mg/kg soil. Sampling for analysis was done 1, 7, 14, 21, 30 and 60 days after atrazine application. The results showed that the effect of atrazine depended on rates of application, duration of activity and group of microorganisms. Atrazine had an inhibiting effect on amino-heterotrophs, *Azotobacter* sp. and phospho-mobilizers. Atrazine inhibited amino-autotrophs initially, and stimulated them after the population recovered, while atrazine had stimulating effect on phospho-mineralizers.

Keywords: atrazine, chernozem, amino-autotrophs, amino-heterotrophs, *Azotobacter* sp., phospho-mobilizers and phospho-mineralizers

Primljen: 14.09.2011.

Odobren: 24.10.2011.