

Delovanje atrazina na mikroorganizme u zemljištu

Ljiljana Radivojević, Ljiljana Šantrić i Radmila Stanković-Kalezić

Institut za pesticide i zaštitu životne sredine, Beograd

REZIME

U radu je ispitivano delovanje atrazina na mikroorganizme u zemljištu. Ogljed je postavljen u laboratorijskim uslovima na zemljištu tipa glinovita ilovača. Atrazin je primenjen u količinama od 8.0, 40.0 i 80.0 mg/kg zemljišta. Praćen je ukupan broj mikroorganizama, broj gljiva, aktinomiceta, celulolitskih mikroorganizama i aminoheterotrofa. Uzorci za mikrobiološke analize uzimani su 1, 7, 14, 21, 30 i 60 dana posle primene atrazina.

Dobijeni rezultati su pokazali da delovanje atrazina na zemljišne mikroorganizme zavisi od primenjene količine, dužine delovanja i vrste mikroorganizama. Atrazin je inhibitorno delovao na celulolitske mikroorganizme i aminoheterotrofe. Na aktinomicete i gljive delovao je prvo inhibitorno, a kasnije, zbog obnavljanja populacija stimulatивно. Na ukupan broj mikroorganizama atrazin je delovao stimulatивно.

Ključne reči: Atrazin; ukupan broj mikroorganizama; gljive; aktinomicete; celulolitski mikroorganizmi; aminoheterotrofi

UVOD

Atrazin (6-hlor-N²-izopropil-1,3,5-triazin-2,4-diamin) je herbicid namenjen za suzbijanje nekih jednogodišnjih širokolisnih i travnih korova u kukuruзу, sirku, šećernoj trsci, voćnjacima, vinogradima i na nepoljoprivrednim površinama (Ahrens, 1994). Po svojim fizičko-hemijskim karakteristikama pripada grupi jedinjenja koja su umereno postojana i umereno pokretljiva u zemljištu. Vreme poluraspada atrazina se, u zavisnosti od uslova sredine i učestalosti i količina primene, kreće u intervalu od nekoliko dana do nekoliko meseci (Radosevich i sar., 2003). Mikrobiološka degradacija je najvažniji put njegove razgradnje u zemljištu. Poznato je da bakterije *Pseudomonas* spp., *Rhodococcus* spp., *Agrobacterium* spp. i gljive iz rodova *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* i *Trichoderma* razgrađuju

atrazin (de Souza i sar., 1996; Struthers i sar., 1998; Ostrofsky i sar., 2002). Zbog veoma rasprostranjene i česte primene, kao i svojih fizičko-hemijskih osobina, atrazin je detektovan u površinskim i podzemnim vodama (Hoffman i sar., 2000; Rhine i sar., 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, što je dovelo do smanjenja količina i njegovog postepenog povlačenja iz primene.

Cilj ovog istraživanja je bio da se dode do naučno zasnovanih podataka o delovanju atrazina na brojnost nekih sistematskih i fizioloških grupa mikroorganizama.

MATERIJAL I METODE

Ogled je postavljen u laboratorijskim uslovima. Ispitivanja su izvršena na zemljištu tipa glinovita ilovača, čije su fizičko-hemijske karakteristike date u Tabeli 1. Zemljište (lokalitet Zemun Polje) je uzeto sa dubine 0-10 cm sa površina na kojima ranije nisu primenjivani herbicidi, očišćeno je od ostataka nadzemnih i podzemnih delova biljaka, osušeno do vazdušno suvog stanja i prosejano kroz sito prečnika 5 mm.

Atrazin (6-hlor-N²-izopropil-1,3,5-triazin-2,4-diamin), tehnički, proizvod firme „Agan Chemical Manufacturers”, Ashdod, Izrael, primenjen je u koncentracijama od 8.0, 40.0 i 80.0 mg/kg zemljišta. Koncentracije su izabrane tako da najniža odgovara količini koja se preporučuje za primenu, druga je pet, a treća deset puta veća.

Odgovarajuće koncentracije atrazina nanete su na površinu jednog kilograma zemljišta pumpicom za tankoslojnu hromatografiju, a zatim je izvršena homogenizacija na rotacionoj mućkalici u trajanju od 30 minuta. Nakon homogenizacije zemljište je preneto u vegetacione sudove koji su za vreme trajanja ogleada držani u klima-komori na temperaturi 20±2°C i vlažnosti vazduha 50%. Vlažnost zemljišta je održavana na 50% poljskog vodnog kapaciteta. Uzorci za mikrobiološke analize uzimani su 1, 7, 14, 21, 30 i 60 dana posle primene atrazina.

Brojnost sistematskih i fizioloških grupa mikroorganizama određivana je indirektno, metodama razređenja i zasejavanja suspenzije zemljišta na selektivne hranljive podloge u petri-kutije koje su inkubirane na 28°C. Ukupan broj mikroorganizama određen je na agarizovanom ekstraktu zemljišta, broj gljiva na Čapekovom agaru, aktinomiceta na sintetskom agaru sa saharozom, celulolitskih mikroorganizama na Waksman-Cery podlozi i aminoheterotrofa na meso-peptonskom agaru (Govedarica i Jarak, 1993; Jarak i Đurić, 2004).

Statistička obrada rezultata obavljena je uz pomoć kompjuterskog programa „Anova”. Za sve promenljive i njihove interakcije urađen je F-test, a ukoliko je

on bio značajan za pojedinačna poređenja korišćen je LSD-test. Međuzavisnost koncentracije atrazina, dužine delovanja i broja zemljišnih mikroorganizama izražena je preko koeficijenta korelacije i klaster analize.

REZULTATI

Rezultati ispitivanja su pokazali da atrazin ispoljava različito delovanje na mikroorganizme zemljišta (Tabele 2-6).

Smanjenje ukupnog broja mikroorganizama registrovano je već prvog dana posle primene najviše koncentracije atrazina (80.0 mg). Kod koncentracije od 8.0 mg, od sedmog do dvadeset prvog dana, registrovano je povećanje ukupnog broja mikroorganizama (21.3-109.4%), dok je kod dve više koncentracije (40.0 i 80.0 mg), u istom periodu, utvrđeno smanjenje za 16.4-78.2%. Ove razlike su statistički značajne u poređenju sa kontrolom ($P<0.05$ i $P<0.01$), ali ne i razlike (sve tri varijante) registrovane posle 30 dana (Tabela 2).

U ovim ispitivanjima broj gljiva se kretao u intervalu od 82.2×10^3 (80.0 mg) do 472.5×10^3 po gramu apsolutno suvog zemljišta (8.0 mg). Prvog dana nisu registrovane značajne razlike u poređenju sa kontrolom. Međutim, od sedmog dana konstatovano je smanjenje (31.3-53.5%) kod primene 40.0 i 80.0 mg atrazina. Inhibitorno delovanje najviše koncentracije (80.0 mg) produženo je i na 15-ti, 21. i 30. dan. Statistički značajno povećanje broja ove grupe mikroorganizama za 111.1-201.9% zabeleženo je kod nižih koncentracije (8.0 i 40.0 mg) 15-tog, 21. i 30. dana posle primene ($P<0.01$). Nakon 60 dana ni u jednoj varijanti nije bilo statistički značajnih promena u poređenju sa kontrolom (Tabela 3).

U prvoj polovini trajanja eksperimenta (do 15. dana) kod sve tri koncentracije (8.0, 40.0 i 80.0 mg) registrovano je smanjenje broja aktinomiceta (19.2-76.1%), a sve razlike su bile statistički značajne ($P<0.01$). Međutim, od 21. dana pa do kraja eksperimenta (60 dana) zabeleženo je statistički značajno povećanje (42.9-253.9%) ove grupe mikroorganizama kod sve tri

Tabela 1. Fizičke i hemijske karakteristike zemljišta
Table 1. Chemical and physical properties of soil

Dubina (cm) Depth (cm)	pH		CaCO ₃ (%)	Humus Organic matter (%)	Mehanički sastav – Texture			
	u H ₂ O in H ₂ O	u KCl in KCl			2-0.2 mm	0.2-0.02 mm	0.02-0.002 mm	<0.002 mm
0-10	7.50	7.10	3.96	3.32	0.00	21.82	49.82	28.36

Tabela 2. Uticaj atrazina na ukupan broj mikroorganizama ($10^6/g^{-1}$)**Table 2.** Influence of atrazine on the total abundance of microorganisms ($10^6/g^{-1}$)

Herbicide Herbicide	Konzentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) Post-application period (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0.0	538.1	573.1	525.3	520.4	562.2	561.5
Atrazin Atrazine	8.0	522.3	95.4	32.4	1092.5	557.6	565.8
	40.0	561.7	478.9	370.8	400.9	548.5	554.9
	80.0	104.7	61.5	114.4	62.1	544.6	639.7
LSD 5%	-	54.0	58.8	92.6	91.9	55.6	84.7
LSD 1%	-	79.1	84.5	133.2	132.2	79.9	121.8

Tabela 3. Uticaj atrazina na broj gljiva ($10^3/g^{-1}$)**Table 3.** Influence of atrazine on the abundance of fungi ($10^3/g^{-1}$)

Herbicide Herbicide	Konzentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) Post-application period (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0.0	199.7	243.9	237.7	156.5	239.1	261.9
Atrazin Atrazine	8.0	242.2	245.9	501.9	472.5	39.6	259.2
	40.0	148.7	167.4	345.8	329.0	327.9	245.4
	80.0	150.3	113.4	88.9	82.2	157.7	240.8
LSD 5%	-	79.9	47.5	63.1	48.6	65.9	44.1
LSD 1%	-	114.9	68.4	90.7	69.9	94.1	63.4

Tabela 4. Uticaj atrazina na broj aktinomoceta ($10^3/g^{-1}$)**Table 4.** Influence of atrazine on the abundance of actinomycetes ($10^3/g^{-1}$)

Herbicide Herbicide	Konzentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) Post-application period (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0.0	91.3	83.5	73.5	68.2	101.4	101.4
Atrazin Atrazine	8.0	99.5	34.7	34.7	169.4	191.8	184.1
	40.0	73.7	36.9	18.1	131.3	138.3	144.4
	80.0	35.3	35.5	17.6	167.7	157.5	357.8
LSD 5%	-	9.6	5.9	5.1	17.1	29.9	29.6
LSD 1%	-	13.3	7.9	7.3	25.6	42.2	43.8

koncentracije. I u ovim varijantama ostvarene razlike su bile statistički značajne ($P < 0.01$, odnosno $P < 0.05$) (Tabela 4).

Smanjenje broja celulolitskih mikroorganizama pod uticajem atrazina u toku dvadeset jednog dana, kretalo se u intervalima 7.1-16.0% (8.0 mg), 9.1-41.4% (40.0 mg), odnosno 25.6-44.5% (80.0 mg). Sve konstatovane razlike su bile statistički značajne, a dalja analiza rezultata je pokazala da se povećavanjem koncentracije

atrazina povećavao i stepen inhibitornog delovanja ($P < 0.01$). Nakon 30 dana, smanjenje broja celulolitskih mikroorganizama utvrđeno je kod dve više koncentracije, dok je kod najniže koncentracije iznosilo 94.6%. Na kraju eksperimenta smanjenje broja ove grupe mikroorganizama je konstatovano kod koncentracije od 80.0 mg, dok je kod dve niže koncentracije registrovano povećanje za 106.9 (40.0 mg) i 169.9% (80.0 mg) (Tabela 5).

Kao što se iz prikazanih rezultata vidi (Tabela 6), kod dve niže koncentracije atrazina (8.0 i 40.0 mg) u prvih petnaest dana trajanja eksperimenta razlike u broju aminoheterotrofa nisu bile statistički značajne. U istom periodu kod najviše koncentracije (80.0 mg) registrovano je statistički značajno smanjanje (41.0-62.9%) njihove brojnosti ($P < 0.01$). Promene u delova-

nju uočene su 30. dana, kada je zabeleženo značajno 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.

U Tabeli 7 prikazani su koeficijenti korelacije između brojnosti mikroorganizama, količine primene

Tabela 5. Uticaj atrazina na broj celulolitskih mikroorganizama ($10^3/g^{-1}$)

Table 5. Influence of atrazine on the abundance of cellulolytic microorganisms ($10^3/g^{-1}$)

Herbicide Herbicide	Koncentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) Post-application period (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0.0	192.4	154.6	156.8	164.6	147.8	140.1
Atrazin Atrazine	8.0	178.8	129.8	138.9	138.6	287.6	291.2
	40.0	174.2	90.9	123.2	124.8	135.9	379.7
	80.0	143.1	85.4	96.1	107.3	130.2	140.5
LSD 5%	-	7.7	6.5	4.8	13.8	9.8	9.6
LSD 1%	-	10.9	9.49	7.1	19.2	13.3	13.4

Tabela 6. Uticaj atrazina na broj aminoheterotrofa ($10^3/g^{-1}$)

Table 6. Influence of atrazine on the abundance of amino-heterotrophs ($10^3/g^{-1}$)

Herbicide Herbicide	Koncentracija (mg/kg zemljišta) Concentration (mg/kg soil)	Vreme posle primene (dani) Post-application period (days)					
		1	7	15	21	30	60
Kontrola Control	0.0	151.5	148.9	146.5	138.1	152.2	144.8
Atrazin Atrazine	8.0	135.8	156.5	153.3	108.3	219.8	136.9
	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 7. Koeficijenti korelacije između brojnosti mikroorganizama, količina primene i dužine delovanja atrazina

Table 7. Coefficients of correlation between microorganisms abundance, application rate and exposure time of atrazine

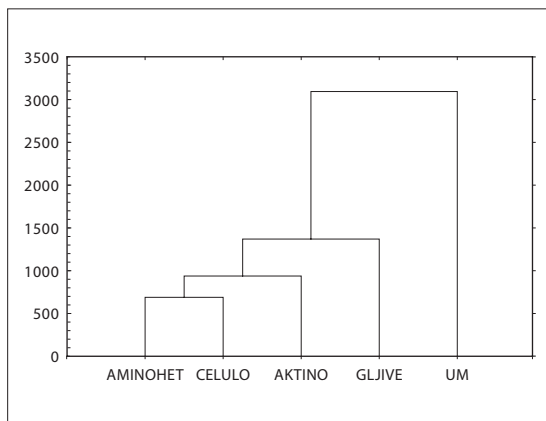
Grupa mikroorganizama Group of microorganisms	Količina primene Application rate	Dužina delovanja Exposure time
Ukupan broj mikroorganizama Total abundance of microorganisms	0.78*	- 0.76*
Gljive Fungi	0.58*	- 0.25
Aktinomicete Actinomycetes	0.61*	0.56*
Aminoheterotrofi Amino-heterotrophs	0.65*	- 0.74*
Celulolitski mikroorganizmi Cellulolytic microorganisms	0.53*	- 0.64*

* Statistički značajno, $P < 0.05$; ** Statistički značajno, $P < 0.01$

* Statistically significant, $P < 0.05$; ** Statistically significant, $P < 0.01$

i dužine delovanja atrazina. Količina primene atrazina je u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa ukupnim brojem mikroorganizama, gljivama, aminoheterotrofima i celulolitskim mikroorganizmima. Dužina delovanja herbicida je u značajnoj negativnoj korelaciji sa ukupnim brojem mikroorganizama, aminoheterotrofima, celulolitskim mikroorganizmima, a u pozitivnoj sa aktinomicetama.

Klaster analizom izdvojene su tri grupe mikroorganizama na koje je atrazin ispoljio različito delovanje. Prvu grupu čine mikroorganizmi na koje je atrazin ispoljio inhibitorno delovanje i to su: aminoheterotrofi i celulolitski mikroorganizmi. Drugu grupu čine populacije gljiva i aktinomiceta čija se brojnost povećala nakon početnog inhibitornog delovanja atrazina. Ukupan broj mikroorganizama čini treću grupu na koju je atrazin ispoljio stimulatívno delovanje (Slika 1).



Sl. 1. Klaster analiza za brojnost mikroorganizama
Fig. 1. Cluster analysis for abundance of microorganisms

DISKUSIJA

Atrazin je ispoljio različito delovanje na praćene grupe mikroorganizama. Tako je inhibitorno delovao na aminoheterotrofe i celulolitske mikroorganizme. Na gljive i aktinomicete atrazin je, nakon početnog inhibitornog, ispoljio stimulatívno delovanje, dok je na ukupan broj mikroorganizama delovao stimulatívno. Do sličnih rezultata došli si i neki drugi istraživači (Jarak i sar., 1994; de Souza i sar., 1996; Govedarica i sar., 1996; Janjić i sar., 1996; Govedarica i sar., 1997; Struthers i sar., 1998; Ostrofsky i sar., 2002). Oni su utvrdili da se pod uticajem atrazina smanjuje ukupan

broj mikroorganizma, aminoheterotrofa i *Azotobacter* sp., a povećava broj aktinomiceta i gljiva, u toku čitavog vegetacionog perioda kukuruza. Tamburić i Lević (1995) su konstatovale 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.

Povećanjem koncentracije atrazina pojačao se i stepen toksičnog delovanja na sve grupe, izuzev na aminoheterotrofe. Kod ove grupe mikroorganizama ispoljeni stepen inhibitornog delovanja nije zavisio od koncentracije herbicida.

Kada posmatramo vreme izloženosti delovanju atrazina, zapažamo da kod gotovo svih grupa mikroorganizama, izuzev gljiva i aminoheterotrofa, postoji značajna negativna korelacija između nivoa ispoljenih promena i vremena izloženosti. Ova vrsta korelativnih odnosa znači da se u funkciji vremena smanjilo toksično delovanje atrazina na mikroorganizme. Do smanjenog delovanja i povećanja broja mikroorganizama verovatno dolazi zbog toga što se atrazin mikrobiološki razgrađuje, pa tako dolazi do smanjenja njegovog sadržaja u zemljištu, a istovremeno intenzivnije se razvijaju populacije mikroorganizama koje koriste, prvenstveno, ugljenik i azot iz molekula atrazina za svoje fiziološke procese.

Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa rezultatima i drugih autora (Janjić i sar., 1993; Bromilow i sar., 1996; Đorđević i sar., 1999; Radivojević i Stanković-Kalezić, 2000; Allievi i Gigliotti, 2001; Min i sar., 2001; Traube i sar., 2001; Johansen i sar., 2001; Das i sar., 2003; Radosevich i sar., 2003; Šantrić i sar., 2004), koji smatraju da se vremenom mikroorganizmi prilagođavaju na prisustvo i delovanje 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 optimalnim uslovima za razvoj mikroorganizama (temperatura 20°C, vlažnost zemljišta 50% poljskog vodnog kapaciteta) do obnavljanja populacije gljiva, aktinomiceta, oligonitrofila i aminoheterotrofa dolazi već posle 21, odnosno 30 dana.

Imajući u vidu da se ispitivane koncentracije atrazina nalaze u granicama koje se preporučuju za primenu, ali i znatno većim, i da su priroda i intenzitet zabe-

leženih promena prolaznog karaktera, može se zaključiti da atrazin ne narušava mikrobiološke procese koji bi mogli da se odraze na plodnost zemljišta.

LITERATURA

- Abrens, W.H. (ed.):** Herbicide Handbook – Atrazine (7th Edition). Weed Science Society of America (WSSA), Washington DC, USA, 1994.
- Allievi, L. and Gigliotti, C.:** Response of the bacteria and fungi of two soils to the sulfonylurea herbicide cinosulfuron. *J. Environ. Sci. Health*, B36(5): 161-175, 2001.
- Bintein, S. and Devillers, J.:** Evaluating the environmental fate of atrazine in France. *Chemosphere*, 32: 2441-2456, 1996.
- Das, A.C., Debnath, A. and Mukherjee, D.:** Effect of herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. *Chemosphere*, 53: 217-221, 2003.
- de Souza, M., Sadowsky, M.J. and Wackett, L.P.:** Atrazine chlorohydrolase from *Pseudomonas* sp. strain ADP: gene sequence, enzyme purification and protein characterisation. *J. Bacter.*, 178: 4894-4900, 1996.
- Dorđević, S., Govedarica, M., Ajder, S. i Stefanović, L.:** Uticaj nekih herbicida na biološku aktivnost i mikroorganizme u zemljištu. *Savremena poljoprivreda*, 42: 125-133, 1994.
- Gašić, S., Budimir, M., Brkić, D. and Nešković, N.:** Residues of atrazine in agricultural areas of Serbia. *J. Serb. Chem. Soc.*, 67: 887-892, 2002.
- Govedarica, M. i Jarak, M.:** Praktikum iz mikrobiologije. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 1993.
- Govedarica, M., Milošević, N., Jarak, M., Konstantinović, B. i Đurić, S.:** Uticaj atrazina i alahlorina na mikrobiološku aktivnost pod usevom kukuruza. *Acta herbol.*, 6: 39-45, 1997.
- Hoffman, R.S., Capel, P.D. and Larson, S.J.:** Comparison of pesticide in eight US urban streams. *Environ. Tox. Chem.*, 19: 2249-2258, 2000.
- Janjić, V., Popović, Lj., Jevtić, S., Marisačević, D. i Bogdanović V.:** Uticaj atrazina, linurona i metolahlora na intenzitet zemljišnog disanja. *Acta herbol.*, 2: 155-162, 1993b.
- Janjić, V., Radivojević, Lj. i Stanković-Kalezić, R.:** Uticaj herbicida na mikrobiološku aktivnost zemljišta. *Acta herbol.*, 5: 5-17, 1996.
- Jobhansen, K., Jacobsen, C.S. and Torsvik, V.:** Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils – a review. *Biol. Fertil. Soils*, 33: 443-453, 2001.
- Min, H., Ye Y., Chen, Z., Wu, W. and Yufeng, D.:** Effects of butachlor on microbial populations and enzyme activities in paddy soil. *J. Environ. Sci. Health*, B36(5): 581-595, 2001.
- Ostrofsky, E.B., Robinson, J.B., Traina, S. and 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.
- Radivojević, Lj.:** Uticaj alhlora, metolahlora i metribuzina na zemljišnu mikrofloru. Magistarka teza, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, 1997.
- Radivojević, Lj. i Stanković-Kalezić, R.:** Uticaj trifluralina i pendimetalina na mikroorganizme u zemljištu. *Acta herbol.*, 9: 77-84, 2000.
- Rbine, E.D., Fuhrmann, J.J. and Radosevich, M.:** Microbial community responses to atrazine exposure and nutrient availability: Linking degradation capacity to community structure. *Microb. Ecol.*, 46: 145-160, 2003.
- Struthers, J.K., Jayachandran, K. and Moorman, T.B.:** Biodegradation of atrazine by *Agrobacterium radiobacter* J14a and use of this atrazine in bioremediation of contaminated soil. *Appl. Environ. Microb.*, 64: 3368-3375, 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.
- Trabue, S.L., Ogram, A.V. and 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.
- Šantrić, Lj., Radivojević, Lj., Stanković-Kalezić, R. i Dorđević, S.:** Mikrobiološka aktivnost zemljišta posle primene nikosulfurona. *Pesticidi*, 19: 55-60, 2004.

Effects of Atrazine on Soil Microorganisms

SUMMARY

Effects of the herbicide atrazine on soil microorganisms was investigated. Trials were set up in laboratory, on a clay loam soil. Atrazine was applied at 8.0, 40.0 and 80.0 mg/kg soil rates. The abundance of total microorganisms, fungi, actinomycetes, cellulolytic microorganisms and amino-heterotrophs was recorded. Soil samples were collected 1, 7, 14, 21, 30 and 60 days after atrazine treatment for microbiological analyses.

The results showed that the intensity of atrazine effect on soil microorganisms depended on treatment rate, exposure time and group of microorganisms. Atrazine had an inhibiting effect on cellulolytic microorganisms and amino-heterotrophs. Initially, it inhibited fungi and actinomycetes but its effect turned into a stimulating one once a population recovered. Atrazine had a stimulating effect on total abundance of microorganisms.

Keywords: Atrazine; Total number of microorganisms; Fungi; Actinomycetes; Cellulolytic microorganisms; Amino-heterotrophs