

**Agrovoc descriptors:** atrazine; metabolites; coniferales; bark; herbicides; composts; leaching; degradation; soil pollution; soil profiles; groundwater pollution

**Agris category code:** P33, P10, T01

COBISS koda 1.01

## Učinek dodanega komposta tlem na razgradnjo atrazina v kolonskem poskusu

Marjetka SUHADOLC<sup>1</sup>, Franc LOBNIK<sup>2</sup>

Delo je prispelo: 16. novembra 2006; sprejeto: 30. marca 2007.

Received: November 16, 2006; accepted: March 30, 2007.

### IZVLEČEK

V neporušenih talnih kolonah smo preučevali vpliv dodanega komposta iz lubja tlem na usodo herbicida atrazina. Ugotovili smo, da je kompost značilno vplival na hitrost razgradnje atrazina v tleh. Tri mesece po uporabi atrazina je v tleh z dodanim kompostom atrazin predstavljal 52 % vseh analiziranih substanc pesticida, medtem ko je bil njegov delež v kontrolnih tleh še 80 %. Deethylatrazin je bil glavni razgradni produkt v obeh obravnavanjih, le da je bil njegov delež v tleh z dodanim kompostom značilno večji. Nasprotno je bila zastopanost hidroksiatrazina večja v tleh brez dodatka atrazina. Razlik med obravnavanjema v prenosu atrazina skozi talni profil nismo ugotovili. Večino atrazina in metabolitov smo določili v zgornji 15 cm plasti tal, prenos v spodnje plasti t.j. do globine 45 cm je znašal manj kot 3 % skupne vsebnosti analitsko določenih ostankov herbicida v talnih in vodnih vzorcih. Izpiranje atrazina in metabolitov iz talnega profila je bilo zanemarljivo majhno (po 0,1 %), brez značilnih razlik med obravnavanjema.

**Ključne besede:** atrazin, metaboliti, razgradnja, izpiranje, kompost, tla, talne kolone

### ABSTRACT

#### EFFECT OF COMPOST AMENDMENT ON THE ATRAZINE DEGRADATION IN SOIL COLUMN EXPERIMENT

Effect of conifer bark compost amendment on the fate of the herbicide atrazine in soil was examined in the undisturbed soil columns. Compost amendment affected significantly the rate of atrazine degradation in soil. Three months after atrazine application, the recovered amount of atrazine in compost amended soil represented 52 % of all analysed substances in comparison to 80 % in the control treatment. Deethylatrazine was the main metabolite in both treatments; however its share was significantly higher in the compost amended soil. In contrast, the share of hydroxyatrazine, was higher in the control soil. Differences in the atrazine transfer through the soil profile were not found. The majority of atrazine and metabolites were analysed in the upper 15 cm soil layer, mobility to the lower layers (to the depth of 45 cm) was less than 3 % of total recovered herbicide in soils and leaching waters. Leaching of atrazine and metabolites was negligible (below 0.1 %) and not significantly different between the treatments.

**Key words:** atrazine, metabolites, degradation, leaching, compost, soil, soil columns

<sup>1</sup> asist., dr., Biotehniška fakulteta, p.p. 2995, 1001 Ljubljana, metka.suhadolc@bf.uni-lj.si

<sup>2</sup> prof., dr., Biotehniška fakulteta, p.p. 2995, 1001 Ljubljana, franc.lobnik@bf.uni-lj.si

## 1 UVOD

Atrazin (6-kloro-4-etilamino-6-isopropilamino-1,3,5-triazin) je v svetovnem merilu eden izmed najbolj uporabljenih fitofarmaceutskih sredstev. Je selektivni herbicid, v uporabi že od leta 1958 za kontrolo širokolistnih plevelov pri pridelavi koruze, prosa, sladkornega trsa in ananasa, ter v gozdarstvu (Stevens in Sumner, 1991). Je tudi eden izmed najbolj razširjenih onesnažil podtalnic (Kolpin s sod., 1998, EEA, 1999, Tappe s sod., 2002, Guzzella s sod., 2006). Prav obremenjenost podtalnic z atrazinom in njegovimi razgradnimi produkti je vzrok za prepoved uporabe atrazina v Sloveniji. Atrazin ni več na listi registriranih fitofarmaceutskih sredstev RS od leta 2002 dalje (FURS, 2006). Vendar pa je zaradi dolgoletne in široke uporabe atrazina v RS pričakovati prisotnost te substance še več let. Rezultati monitoringov podtalnic nekaterih držav namreč kažejo, da je atrazin zelo obstojno onesnažilo, saj se lahko pojavlja v vzorcih voda tudi deset let in več po prepovedi uporabe (Guzzella s sod., 2006, Tappe s sod., 2002). Prisotnost atrazina v vodah slovenskih podtalnic v prvih letih po prepovedi t.j. od l. 2003 do l. 2005 (ARSO, 2004, 2006) to potrjujejo. Ker je atrazin v vodonosnikih povsem obstojen, je smislen razmislek o ukrepih, ki bi lahko vplivali na njegovo usodo že v tleh posebno, če je vsebnost atrazina v talnih vzorcih visoka (*hot spots*). Odločilna procesa, ki vplivata na izpiranje atrazina iz tal v podtalnico sta sorpcija (t.j. zadrževanje na talnih koloidih) ter razgradnja.

Glavna pot izginevanja atrazina v okolju je mikrobna razgradnja (Esser s sod., 1975). Poznani so številni talni mikroorganizmi, ki so sposobni delne razgradnje atrazina (Scheunert, 1992, Hickey s sod., 1994) kar vodi do nastanka in akumulacije razgradnih produktov, kot tudi mikroorganizmi, ki porabljajo hranila in energijo z mineralizacijo triazinskega obroča do CO<sub>2</sub> (Yanze-Kontchou in Gschwind, 1994, Struthers s sod., 1998, Topp s sod., 2000, Wackett s sod., 2002). Zelo verjetno pa je v proces razgradnje atrazina v tleh v realnih razmerah vključena kar najširša mikrobna združba s svojimi interakcijami (Smith s sod., 2005). Razpolovni čas atrazina v tleh je močno odvisen od vrste tal in lahko znaša od 2 mesecev do nekaj let (Assaf in Turco, 1994, Radosevich, 1993, Capriel s sod., 1985). V tleh sta glavni poti razgradnje atrazina *N*-dealkilacija in hidrolitična deklorinacija (Wackett s sod., 2002). Dealkilacija vodi do deetilatrizona (DEA), deizopropilatrizona (DIA) in deetildeizopropilatrizona (DDA), deklorinacija pa vodi do hidroksiatrizona (HA), hidroksideetilatrizona (DEHA), hidroksideizopropilatrizona (DIHA) in amelina. Vsi razgradni produkti so že bili analizirani v tleh, kjer je bil atrazin uporabljen, kot tudi v odcednih vodah (Scheunert, 1992).

Dodajanje organskih dodatkov tlem lahko spremeni hitrost in poti razgradnje pesticidov (Benoit in Barriuso, 1995, Hout s sod., 1998, Benoit in Preston, 2000). Organska snov na drugi strani povečuje sorpcijo pesticidov, kar znižuje njihovo biološko dostopnost (Demon s sod. 1994, Hout s sod., 1998, Gevao s sod., 2000), ter s tem tako razgradnjo kot tudi izpiranje. Namen poskusa je bil v laboratorijskem kolonskem poskusu ugotoviti vpliv izbranega organskega dodatka tlem t.j. komposta iz lubja na razgradnjo in izpiranje atrazina.

## 2 MATERIAL

### 2.1 Tla

Izbrali smo obrečna tla na travniku v Zg. Konjišču v Apaški dolini, kjer še ni bil uporabljen atrazin. Neporušene talne vzorce smo odvzeli z zaporednim zabijanjem 10 cm kolotov v talnem profilu (A, B, C in D plast). Lastnosti tal v posameznih plasteh so predstavljene v tabeli 1.

Preglednica 1: Pomembnejše lastnosti tal pred dodajanjem komposta

Table 1: Selected properties of soils before adding compost

| Globina tal v koloni     | pH    | org. sn.  | pesek | melj | glina | Teksturni razred |
|--------------------------|-------|-----------|-------|------|-------|------------------|
| Soil depth in the column | pH    | org.matt. | sand  | silt | clay  | Texture Class    |
|                          | (KCl) | %         | %     | %    | %     |                  |
| A. 0-10 cm               | 7.2   | 3.2       | 62    | 31   | 7     | PI / SaL         |
| B. 10-20 cm              | 7.6   | 2.0       | 59    | 33   | 8     | PI / SaL         |
| C. 20-30 cm              | 7.8   | 1.7       | 50    | 42   | 8     | I / L            |
| D. 30-40 cm              | 7.8   | 1.4       | 37    | 54   | 9     | MI / SiL         |

### 2.2 Kompost

V laboratoriju smo v zgornjo 10 cm plast tal zamešali kompost iz lubja z naslednjimi lastnostmi: 77 % organske snovi, 0,65 % dušika, 12,5 mg K/100 g, 7,9 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g, pH (KCl) 6,9, CEC 190 mmol/100g. Količino dodanega komposta smo določili na osnovi kationske izmenjalne kapacitete (CEC), ki smo jo v zgornjem 10 cm sloju z dodatkom komposta podvojili iz 25 na 55 mmol/100g tal. Vsebnost organske snovi se je povečala iz 3,2 na 8,0 %. Kompost je bil dodan v odmerku 325 g suhega komposta na kolono oz. 18 kg/m<sup>2</sup>.

### 2.3. Atrazin

Na površino talne kolone smo kapljično nanesti 10 ml raztopine pripravka Gesaprim 50 WP, ki vsebuje 50 % aktivne snovi (a.s.) atrazina. Odmerek atrazina na kolono je bil 5,4 mg a.s., kar je skladno s poljskim odmerkom 3 kg a.s./ha.

## 3 METODE

### 3.1 Kolonski poskus

Kolone s premerom 15,2 cm in dolžine 60 cm smo sestavili v laboratoriju iz odsekov juvidurne cevi napolnjenih z neporušenim vzorcem tal. Le te smo odvzeli zaporedoma z enakomernim zabijanjem 10 cm odsekov juvidurne cevi v talni profil na lokaciji Zgornje Konjišče v Apaški dolini. Spodnji 10 cm odsek kolone smo napolnili s kremenčevim peskom. Med posameznimi odseki smo namestili juvidurne obroče in odseke povezali s silikonom. Zgornji, površinski del talnega profila smo prekrili s stekleno volno. Ker se je ob dodajanju komposta v zgornjo 10 cm plast tal višina te plasti povečala na 15 cm, smo v kontrolnih kolonah zgornjo plast tal povečali do enake višine s homogeniziranim vzorcem tal zgornje 10 cm plasti talnega profila. Pred začetkom poskusa smo kolone navlažili do poljske kapacitete s kapilarnim dvigom vode in nato mesec dni simulirali padavine z namenom stabilizacije kolon. Zalivali smo trikrat tedensko po 130 ml/kolono, kar je ekvivalentno 96 mm/mesec. Sistem zalivanja kolon smo izbrali na osnovi 25 letnega povprečja padavin v mesecih maj, junij in julij v Apaški dolini. Po nanosu atrazina na površino tal je poskus tekel 104 dni. Odcedne vode smo zbirali v 400 ml odmerkih in jih sproti analizirali na vsebnost atrazina in metabolitov. Po končanem poskusu smo kolone razdri po plasteh (glej točko 2.1), jih zračno posušili in homogenizirali. Do analiziranja smo vzorce tal zamrzili. Vsako obravnavanje smo izvedli v treh ponovitvah.

### 3.2 Določanje atrazina in razgradnih produktov

Zatehtali smo 10 g homogeniziranih tal, jih suspendirali v 20 ml topila (metanol / voda = 9 / 1) in dali v ultrazvočno kopel za 10 min (25-30 °C). Ekstrakt smo odločili s centrifugiranjem in nato uparili na rotavaporju. Ekstrakcijo in uparjevanje smo ponovili še dvakrat. Posušen vzorec smo raztopili v 1 ml acetonitril acetatnega pufra.

Vzorci odcednih voda (400 ml) smo ekstrahirali v 3 ml kolonah z 200 mg trdne faze (LiChrolut EN, Merck). Ekstrakte smo eluirali z metanolom. Topilo smo odparili na rotavaporju in posušen vzorec raztopili v 200 µl acetonitril-acetatnega pufru. V vseh ekstraktih smo določili atrazin in razgradne produkte: DEA, DIA, DDA, DEHA, HA in DIHA s HPLC (Perkin Elmer 235) pod sledečimi pogoji: detektor: Diode Array Perkin Elmer, detekcija pri 220 in 240 nm; predkolona: LiChrocart 4 – 4, Lichrospher RP-select B, kolona: LiChrocart 250 – 4, Lichrospher RP-select B; pretok: 1,5 ml/min; mobilna faza: A = acetonitril, B = acetatni pufer (0,002 M, pH=7,0-7,3); gradient za talne vzorce: 5,5 min 3 % A izokratsko, 5 min 35 % A linearno, 7,5 min 35 % A izokratsko, 7 min 3 % A stopničasto; gradient za vodne vzorce: 3 min 24 %, 1 min 24-35 % A, 9 min 35 % A, 1 min 35-24 % A, 6 min 24 % A.

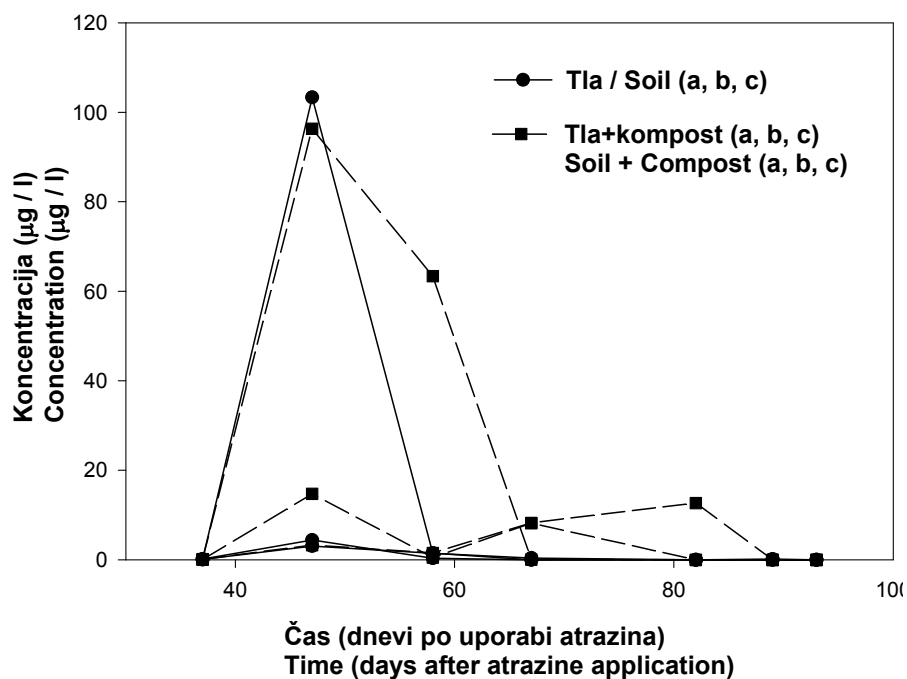
#### 4 REZULTATI Z RAZPRAVO

Tri mesece po uporabi atrazina smo v obeh obravnavanjih večino atrazina in metabolitov določili v zgornji 15 cm plasti tal (Tabela 2). Prenos herbicida v spodnje plasti tal (B, C in D) je znašal manj kot 3 % skupne vsebnosti analitsko določenih ostankov herbicida v talnih in vodnih vzorcih (atrazina in metabolitov). Izpiranje atrazina in metabolitov iz talnega profila je bilo v obdobju treh mesecev po uporabi atrazina zanemarljivo majhno (<0,1 % analitsko določenih ostankov herbicida), kar je skladno z ugotovitvami drugih avtorjev, ki so preučevali izpiranje triazinskih herbicidov (Kruger, 1993; Scheunert s sod., 1994; Langenbach s sod., 2000). Herbicid se je pojavil v odcednih vodah 37. dan po uporabi atrazina, največje koncentracije pa smo zaznali 47. dan (Slika 1). V obeh obravnavanjih smo v eni izmed treh ponovitev zabeležili dogodek z koncentracijo atrazina v odcednih vodah okoli 100 µg/l. Vsebnost metabolitov v odcednih vodah je bila ves čas poskusa pod detekcijsko mejo.

Preglednica 2: Razporeditev atrazina in metabolitov po pozameznih plasteh talne kolone in v odcednih vodah tri mesece po nanosu aktivne snovi (% skupne vsebnosti analitsko določenih ostankov herbicida v talnih in vodnih vzorcih). Predstavljeno je povprečje in standardni odklon treh ponovitev.

Table 2: The % of the recovered atrazine and its metabolites in the soil layers and leachates three months after active ingredient application. Averages and standard deviation of three replicates are presented.

| Obravnavanje<br>Treatment      |                 | Atrazin in metaboliti (%)<br>Atrazine and metabolites (%) |                                 |
|--------------------------------|-----------------|---|---------------------------------|
|                                |                 | Tla<br>Soil   | Tla + kompost<br>Soil + Compost |
| T S                            | A plast / layer | 98,8 ±0,5   | 97,0 ±0,9                       |
| L O                            | B plast / layer | 0,9 ±0,6  | 2,8 ±0,9                        |
| A I                            | C plast / layer | 0,3 ±0,1  | 0,3 ±0,1                        |
| L                              | D plast / layer | 0 ±0  | 0 ±0                            |
| Odcedne vode<br>Leaching water |                 | 0,003 ±0,005  | 0,006 ±0,007                    |

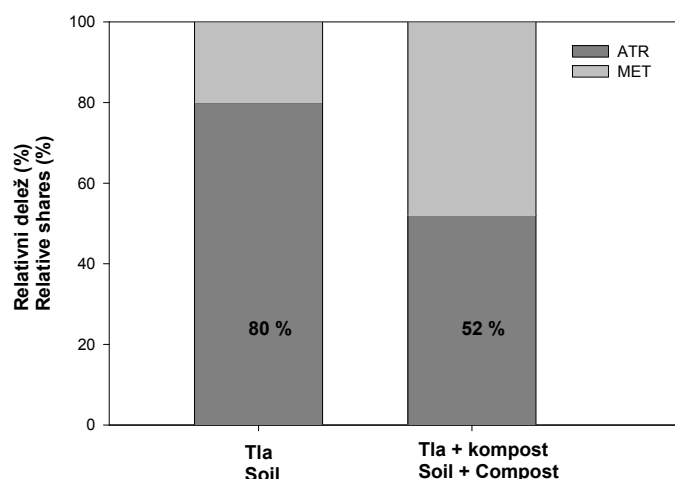


Slika 1: Skupna vsebnost atrazina in metabolitov ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcednih vodah kolonskega poskusa v odvisnosti od časa po uporabi atrazina. Prikazane so tri ponovitve (a, b, c) obeh obravnavanj (tla in tla z dodatkom komposta).

Figure 1: Total atrazine and metabolites content ( $\mu\text{g/l}$ ) in the leaching waters of column experiment in dependence of time following atrazine application. Three replicates (a, b, c) of both treatments (soil and soil with compost amendment) are presented.

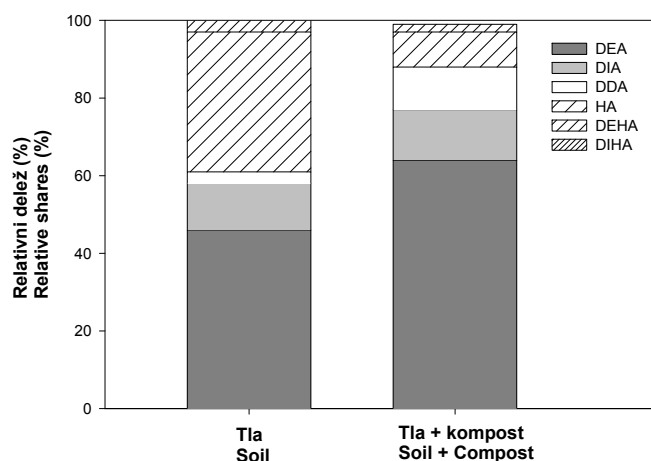
Največje razlike med obravnavanjema smo ugotovili v razmerju med vsebnostjo analitsko določenega atrazina in skupno vsebnostjo analitsko določenih metabolitov (Slika 2). Ugotovili smo, da dodajanje komposta tlem povečuje razgradnjo atrazina. Tri mesece po uporabi atrazina smo v kontrolnih tleh določili 80 % atrazina, medtem ko v tleh z dodatkom komposta le 52 % od skupne vsebnosti atrazina in metabolitov (Slika 2). Razlika med obravnavanjema je bila statistično značilna (Tukeyev test,  $p \leq 0,05$ ).

Dodani kompost je nadalje vplival na strukturo razgradnih produktov atrazina v tleh (Slika 3). V obeh obravnavanjih je sicer največji delež analiziranih metabolitov predstavljal deetilatrazin (DEA), le da je njegov delež v tleh z dodanim kompostom statistično značilno večji (Tukeyev test,  $p \leq 0,05$ ). Domnevamo, da je bila glavna pot razgradnje v obeh obravnavanjih *N*-dealkilacija, ker so deetilatrazin (DEA), deizopropilatrazina (DIA) in deetildeizopropilatrazina (DDA) predstavljali več kot 50 % analiziranih metabolitov. Velik delež hidroksi atrazina (HA) v kontrolnih tleh, kot tudi značilne razlike v deležih deetilatrizona (DEA), nakazujeta na razlike med obravnavanjema v poteh in ne le v hitrosti razgradnje atrazina. Obe metabolni poti, *N*-dealkilacija in hidrolitična deklorinacija, pa sta lahko mikrobiološko pogojeni (Wackett s sod., 2002).



Slika 2: Vsebnost atrazina (ATR) in skupna vsebnost metabolitov (MET): DEA, DIA, DDA, DEHA, HA in DIHA analitsko določenih v talnih vzorcih kolonskega poskusa tri mesece po uporabi atrazina. Predstavljeno je povprečje in standardni odklon treh ponovitev.

Figure 2: Atrazine (ATR) and sum of metabolites contents (MET): DEA, DIA, DDA, DEHA, HA and DIHA determined in the soil samples of column experiment three months after atrazine application. Average and standard deviation of three replicates is presented.



Slika 3: Razmerje metabolitov: DEA, DIA, DDA, DEHA, HA in DIHA analitsko določenih v talnih vzorcih kolonskega poskusa tri mesece po uporabi atrazina.

Figure 3: Ratios between atrazine metabolites: DEA, DIA, DDA, DEHA, HA in DIHA determined in the soil samples of column experiment three months after atrazine application.

Potencial dodanega komposta za povečevanje razgradnje atrazina iz tal sta dokazala že Benoit in Preston (2000), ki sta ugotovila značilno povečanje mineralizacije atrazina v tleh z dodatkom kompostirane strniščne slame (50% v primerjavi s kontrolnimi 15 %). Abdelhafid s sodelavci (2000) je ugotovil, da dodatek kompostiranega blata komunalne čistilne naprave povečuje razgradnjo atrazina v tleh, vendar le v obravnavanju, kjer ni bilo prisotne atrazinu prilagojene mikrobne združbe. Ker smo v poskusu uporabili tla, kjer atrazin v preteklosti ni bil uporabljen, sklepamo, da tudi v naših tleh atrazinu prilagojene mikrobne združbe ob začetku poskusa ni bilo. Houot s sodelavci (1998) pa vpliva dodanega komposta (kompostiranega blata komunalne čistilne naprave in kompostirane strniščne slame) na razgradnjo atrazina ni ugotovil, medtem ko je dodatek obeh vrst kompostov značilno povečal sorpcijo atrazina v tleh.

Potrebno je poudariti, da se kompostni materiali različnih študij medsebojno razlikujejo po izvoru, sestavi in odmerkih, zato rezultati niso direktno primerljivi. Poleg tega je vpliv komposta na razgradnjo pesticidov v tleh zelo kompleksen. Toliko bolj je potrebno za ločevanje procesov sorpcije (predvsem vezanih ostankov pesticida) in popolne razgradnje (mineralizacije) izvajati poskuse s <sup>14</sup>C-označenimi pesticidi, kar je pomanjkljivost naše študije. V splošnem se z vnosom organske snovi povečuje sposobnost tal za sorpcijo pesticidov, ki je odvisna od vrste in zrelosti le te (Benoit s sod., 1996, Benoit in Preston, 2000, Gevao s sod., 2000, Spark in Swift, 2002). Na ta način se predvsem z nastankom vezanih ostankov (*bound residues*) lahko začasno zmanjša dostopnost pesticida za razgradnjo. Po drugi strani pa dodatek razgradljivih oblik C lahko stimulira ko-metabolično biološko razgradnjo pesticidov preko povečane mikrobiološke aktivnosti (Hance, 1973, Topp s sod., 1996, Wanner s sod., 2005). Domnevamo, da je dodatek izbranega komposta iz lubja vplival na pestrost in aktivnost mikrobne združbe, kar se je pokazalo v manjši vsebnosti atrazina v tleh v primerjavi s kontrolnim obravnavanjem (Slika 2).

Zaradi preobremenjenosti predvsem vodnih vzorcev v Sloveniji z atrazinom, so pomembne tudi ugotovitve avtorjev Tsui in Roy-a (2006), ki ugotavljata, da kompost zelenih odpadkov odstranjuje atrazin iz raztopin, pravtako zaradi stimulativnega vpliva na procesa sorpcije in razgradnje.

## 6 SKLEPI

Dodatek komposta iz lubja tlem je pospešil razgradnjo atrazina in vplival na pot njegove razgradnje. V splošnem bi kompost lahko bil potencialni filterski material za odstranjevanje atrazina iz tal, kot tudi iz raztopin, vendar manjkajo sistematične študije vpliva vrste komposta na aktivnost mikrobnih združb, biološko razgradnjo ter sorpcijo atrazina.

## 7 VIRI

Abdelhafid, R., Houot, S., Barriuso, E., 2000. Dependence of atrazine degradation on C and N availability in adapted and non-adapted soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 389-401.

- ARSO, 2004. Poročilo o kakovosti podzemne vode v aluvijalnih vodonosnikih v letu 2003. MOP, ARSO, Ljubljana, april 2004, 31 s. [www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si)
- ARSO, 2006. Monitoring kakovosti podzemne vode 2004 in 2005, kemijsko stanje in trendi. Kratko poročilo. MOP, ARSO, Ljubljana, 12 s. [www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si)
- Assaf, N.A., Turco, R.F. 1994. Influence of carbon and nitrogen application on the mineralization of atrazine and its metabolites in soil, *Pesticide Science*, 41: 41–47.
- Benoit, P., Barriuso, E., 1995. Effect of straw composting on the degradation and stabilization of chlorophenols in soil. *Compost Science and Utilization* 3: 31–37.
- Benoit, P., Barriuso, E., Houot, S., Calvet, R., 1996. Influence of the nature of soil organic matter on the sorption-desorption of 4-chlorophenol, 2,4-dichlorophenol and the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4 D). *European Journal of Soil Science*, 47: 567-578.
- Benoit, P., Preston, C.M., 2000. Transformation and binding of <sup>13</sup>C and <sup>14</sup>C-labelled atrazine in relation to straw decomposition in soil. *European Journal of Soil Science*, 51:43-54.
- Capriel, P., Haisch, A., Khan, S.U., 1985. Distribution and nature of bound (nonextractable) residues of atrazine in a mineral soil nine years after the herbicide application. *J. Agric. Food. Chem.* 33: 567–569.
- Demon, M., Schiavon, M., Portal, J.M., Munier-Lamy, C., 1994. Seasonal dynamics of atrazine in three soils under outdoor conditions. *Chemosphere*, 28: 453–466.
- EEA, 1999. Groundwater Quality and Quantity in Europe Technical Report No. 22, European Environmental Agency, Denmark.
- Esser, H.O., Dupuis, G., Ebert, E., Marco, G.J., Vogel, C., 1975. s-Triazines. V: Kearney, P.C., Kaufman, D.J. (Ur.), *Herbicides, Chemistry, Degradation and Mode of Action*, Vol. 1. Marcel Dekker, New York, 129-208.
- FURS, 2006. Osebna komunikacija z dr. Jernejem Drofenikom, Fitosanitarna uprava RS.
- Gevao, B., Semple, K.T., Jones, K.C., 2000. Bound pesticide residues in soils: a review, *Environmental Pollution*, 108: 3–14.
- Guzzella, L., Pozzoni, F., Giuliano, G., 2006. Herbicide contamination of surficial groundwater in Northern Italy. *Environmental Pollution*, 142: 344-353.
- Hance, R. J., 1973. The effect of nutrients on the decomposition of the herbicides atrazine and linuron incubated with soil. *Pesticide Science*, 4: 817–822.
- Hickey, W. J., Fuster, D. J., Lamar, R. T., 1994. Transformation of atrazine in soil by *Phanerochaete chrysosporium* *Soil Biology and Biochemistry*, 26: 1665-1671.
- Houot, S., Barriuso, E., Bergheaud, V., 1998. Modifications to atrazine degradation pathways in a loamy soil after addition of organic amendments, *Soil Biology & Biochemistry* 30: 2147–2157.
- Kolpin, D.W. , Barbash, J.E., Gilliom, R.J. 1998. Occurrence of pesticides in shallow groundwater of the United States: Initial results from the National Water-Quality Assessment Program, *Environmental Science and Technology*, 32: 558–566.
- Kruger, E.L., 1993. Movement and degradation of C-14 atrazine in undisturbed soil columns. *Environmental Toxicology and Chemistry* 12: 1969-1975.
- Langenbach, T., Schroll, R., Paim, S., 2000. Fate and distribution of <sup>14</sup>C-atrazine in a tropical oxisol. *Chemosphere*, 40: 449-455.



- Radosevich, M., Crawford, J.J., Traina, S.J., Oh, K.-H., Tuovinen, O.H., 1993. Biodegradation of atrazine and alachlor in subsurface sediments, SSSA Spec. Pub., 33–41.
- Scheunert, I., 1992. Transformation and degradation of pesticides in soils. V: Ebing, W. (Ur.), Chemistry of plant protection-Terrestrial behaviour of pesticides. Springer-Verlag: 141 str.
- Scheunert, I. et al., 1994. Mass balance and fate of <sup>14</sup>C-terbuthylazine and pendimethalin in outdoor lysimeters. V: Proceedings of the 5th international workshop: Environmental Behaviour of pesticides and regulatory aspects, , Brussels, April 26-29, 1994.
- Smith, D., Alvey, S., Crowley, D. E. 2005. Cooperative catabolic pathways within an atrazine-degrading enrichment culture isolated from soil. FEMS Microbial Ecology 53: 265-273
- Spark, K. M., Swift, R. S., 2002. Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. The Science of The Total Environment, 298: 147-161.
- Stevens, J.T., Sumner, D.D., 1991. Herbicides. V: Hayes, W.J., Laws, E.R. (Ur.), Handbook of Pesticide Toxicology, Academic Press, 1317-1408.
- Struthers, J. K., Jayachandran, K., Moorman, T. B. 1998. Biodegradation of Atrazine by Agrobacterium radiobacter J14a and Use of This Strain in Bioremediation of Contaminated Soil. Applied Environmental Microbiology, 64: 3368-3375.
- Tappe, W., Groeneweg, J., Jantsch, B., 2002. Diffuse atrazine pollution in German aquifer, Biodegradation 13: 3–10.
- Topp, E., Tessier, L., Gregorich, E.G., 1996. Dairy manure incorporation stimulates rapid atrazine mineralisation in an agricultural soil. Canadian Journal of Soil Science, 76: 403-409.
- Topp, E., Mulbry, W.M., Zhu, H., Nour, S. M., Cuppels, D., 2000. Characterization of S-Triazine Herbicide Metabolism by a Nocardioideis sp. Isolated from Agricultural Soils. Applied Environmental Microbiology, 66: 3134-3141.
- Tsui, L., Roy, W.R., 2006. Effect of compost age and composition on the atrazine removal from solution. Journal of Hazardous Materials, v tisku.
- Wackett, L. P., M. J. Sadowsky, B. Martinez, and N. Shapir. 2002. Biodegradation of atrazine and related triazine compounds: from enzymes to field studies. Applied Microbiology and Biotechnology, 58:39-45.
- Wanner, U., Führ, F., Burauel, P., 2005. Influence of the amendment of corn straw on the degradation behaviour of the fungicide dithianon in soil. Environmental Pollution, 133: 63-70.
- Yanze-Kontchou, C., Gschwind, N., 1994. Mineralization of the herbicide atrazine as a carbon source by a Pseudomonas strain. Applied Environmental Microbiology, 60: 4297-4302.