

Mehanizmi fitoremedijacije za uklanjanje policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz kontaminiranih zemljišta

SLAĐANA Č. ALAGIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnički fakultet u Boru, Bor

BILJANA S. MALUCKOV, Univerzitet u Beogradu,

Tehnički fakultet u Boru, Bor

DEJAN T. RIZNIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnički fakultet u Boru, Bor

Pregledni rad

UDC: 502.52:504.5]:547.36

Fitoremedijacija policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAHs) iz zemljišta podrazumeva njihovu degradaciju u manje toksična, ili potpuno netoksična jedinjenja, kao i ograničavanje njihovog daljeg kretanja sekvencijom i akumulacijom u vakuole. Lipofilna jedinjenja kao što su PAH-ovi se snažno vezuju na epidermis korenskog tkiva i retko translociraju kroz biljku. Ne postoje literaturni podaci da PAH-ovi mogu biti potpuno mineralizovani biljkama. Ne postoji ni dovoljno podataka koji govore da se PAH-ovi u biljkama akumuliraju u značajnom stepenu, ali zato postoji puno dokaza o sposobnosti različitih biljnih vrsta (najčešće trave i leguminoze), da degradiraju i uništavaju ove opasne kontaminante. Primarni mehanizam koji upravlja razgradnjom PAH-ova jeste rizosferna mikrobna degradacija, gde mikrobi koriste ove molekule kao ugljenične supstrate za svoj rast, što sve u konačnom dovodi do degradacije, ili potpune mineralizacije kontaminanata. Proces je uobičajeno poboljšan ekskrecijom ekskudata korenja (šećeri, alkoholi, kiseline, enzimi) i ugradnjom organskog ugljenika u zemljište, te pravilan odabir biljne vrste predstavlja ključnu odluku u dizajniranju postupka fitoremedijacije PAH-ova. Ove činjenice favorizuju rizoremedijaciju kao najbolje rešenje za mesta kontaminirana PAH-ovima.

Ključne reči: PAH, fitoremedijacija, biljka, mikroorganizam, koncept zelene jetre, ekonomija

1. UVOD

Policiklični aromatični ugljovodonici (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs), su polutanti organske strukture (dva, ili više kondenzovanih benzenovih prstenova u molekulu) koji su široko rasprostranjeni u životnoj sredini. Posebna opasnost od ovih jedinjenja potiče od činjenice da su za neka od njih utvrđena mutagena i kancerogena svojstva [1-3]. U cilju smanjenja sadržaja PAH-ova na prihvatljive nivoe, ili potpunog uklanjanja iz zemljišta koje se smatra glavnim kolektorom ovih zagađivača, posebna pažnja stručne javnosti posvećena je poboljšanju postojećih, kao i iznalaženju potpuno novih tehnika remedijacije. Biološki procesi, poznati i kao procesi bioremedijacije, dobijaju sve više na značaju, jer spadaju u takozvane "environmental friendly" tehnike koje su ekonomski isplative, a kojima se organske zagađujuće supstance

biološkim putem transformišu u manje toksična jedinjenja, ili se čak potpuno mineralizuju do CO₂ i vode. Jedna od metoda bioremedijacije koja danas doživljava svoju ekspanziju, posebno u tretmanu prostranih kontaminiranih predela, jeste metoda fitoremedijacije [2-6].

2. MEHANIZMI FITOREMEDIJACIJE PAHs

Može se reći da je u postupku fitoremedijacije PAHs, iskorišćena sposobnost biljaka da se adaptiraju na stresne uslove, tj. uslove visokih koncentracija PAHs u okruženju i koja im omogućava da žive i napreduju u takvim uslovima. Kao i u slučaju ostalih organskih zagađujućih supstanci, mehanizmi fitoremedijacije PAHs mogu obuhvatiti: fitoekstrakciju/fitoakumulaciju, fitodegradaciju/biotransformaciju, fitovolatilizaciju, fitostabilizaciju, rizoremedijaciju, tj. poboljšanu rizosfernu biodegradaciju i u manjoj meri hidrauličnu kontrolu [2, 6-9].

Radovi brojnih istraživača ukazali su da korenje biljaka apsorbuje PAH-ove iz zemljišta direktno, pasivnim usvajanjem, ali da su njihove koncentracije u bi-

Adresa autora: Slađana Alagić, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, Vojske Jugoslavije 12

Rad primljen: 01.12.2014.

Rad prihvaćen: 26.12.2014.

ljakama mnogo manje nego one koje se nalaze u samom zemljištu na kome biljke rastu, sa faktorima akumulacije manjim od jedinice. Biokonzentracioni faktori (BCFs) opisuju tendenciju bioakumulacije individualnih jedinjenja u pojedinim biljnim organima i ovi faktori se za PAH-ove obično kreću od 0,001 do 0,4, mada u slučajevima zasićenja zemljišta, mogu dostići i veće vrednosti, čak do 2 [9-12].

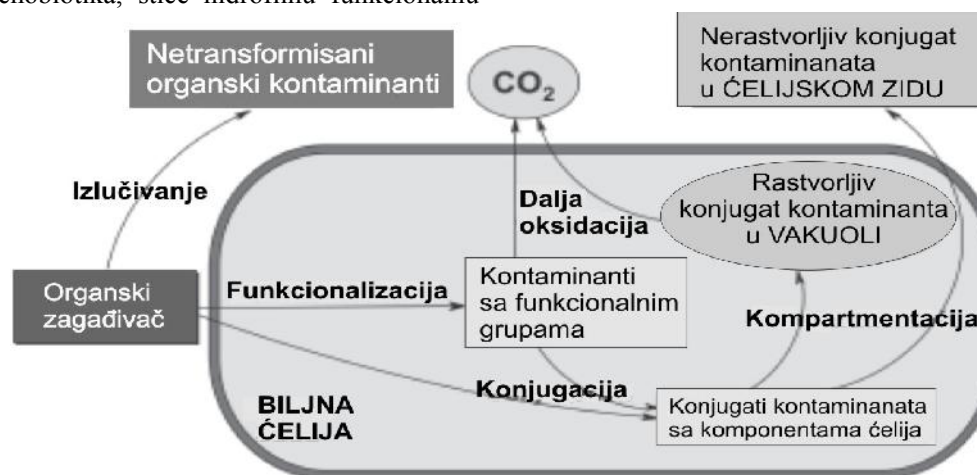
Iako akumulacija ovih opasnih polutanata u biljnim tkivima nije značajna, potvrđeno je da PAH-ovi, kao i svi ostali POPs (Perzistent Organic Pollutants), podležu procesima detoksifikacije u biljnoj ćeliji i to u skladu sa takozvanim konceptom "zelene jetre". Naime, kada jednom prodru u biljku, organske zagađujuće materije koje su strane biljnoj ćeliji (ksenobiotici), dalje mogu podleći različitim procesima, jer su biljke u stanju da aktiviraju skup određenih biohemijskih i fizioloških procesa, kako bi se oduprle njihovom toksičnom delovanju. U biljnoj ćeliji, organske zagađujuće materije bivaju podvrgnute transformacijama enzimskog tipa, te tako postaju manje toksične [9, 13, 14]. Metabolizam ksenobiotika u biljkama se uobičajeno upoređuje sa onim koji se odvija u jetri sisara kroz tri faze (slika 1): transformacija (faza I), konjugacija (faza II) i ekskrecija (faza III), s tom razlikom da kod biljaka ne postoji mehanizam potpuno analogan fazi eliminacije kod sisara [2, 7-9, 15, 16].

Pretpostavlja se da u fazi I, molekul hidrofobnog PAH-jedinjenja, kao što je to slučaj i kod ostalih organskih ksenobiotika, stiče hidrofilnu funkcionalnu

grupu zbog čega se poboljšavaju polaritet i reaktivnost (takozvana: *funkcionalizacija*) [2, 7-9].

Ovo uobičajeno dovodi do povećanog afiniteta enzima za nastale metabolite, katalizujući tako dalju transformaciju [13, 15]. Uobičajeno, radi se o porodici enzima citohrom P450 (CYP) koja, kao monooksigenazni sistem pretvara inertne hidrofobne molekule u reaktivnije vrste, bolje rastvorne u vodi [2, 9, 16]. U fazi II, nastali metabolit se vezuje za endogene supstance ćelija što je poznato kao konjugacija. Iako je konjugacija rasprostranjen odbrambeni mehanizam u višim biljkama, to nije proces koji je energetski i fiziološki povoljan za biljku jer formiranje konjugata dovodi do iscrpljivanja celularnih jedinjenja od vitalnog značaja.

Osim toga, formiranje konjugata održava osnovnu molekularnu strukturu zagađivača, pa samim tim rezultira samo parcijalnim i privremenim smanjenjem njegove toksičnosti. Nažalost, poznato je da je proces potpune degradacije u regularne metabolite ćelije, ili u CO₂ i vodu (mineralizacija), moguć jedino u slučaju nisko molekularne strukture kontaminanta [2, 9]. Kako PAHs jedinjenja imaju izrazito složenu molekularnu građu, smatra se da njihova potpuna degradacija do CO₂ i vode u samoj biljci, nije moguća, ali je zato proces njihovog uklanjanja iz metaboličkih tkiva u vakuole, ili ćelijske zidove (proces kompartmentalizacije) realan i dokazano je da postoji u biljnoj ćeliji [2].



Slika 1 - Putevi transformacije organskih polutanata u biljnoj ćeliji. Adaptirano iz [13]

Brady i sar. [17] su pratili sadržaj benzo(a)pirena, B(a)P-a, u bokvici (*Plantago lanceolata*) i zaključili da ga ova biljka može ekstrahovati iz zemljišta, ali da njega i njegove metabolite ne translocira u nadzemne delove, već ih zadržava u korenu.

Kako bi utvrdili metabolizam B(a)P-a u biljci, ovo jedinjenje je bilo označeno izotopom ¹⁴C. Eksperiment je pokazao da *P. lanceolata* usvaja B(a)P uglavnom u

prvih 24 h, posle čega se dostiže ravnoteža koja ostaje tokom celog perioda posmatranja. Autoradiografija je pokazala da se B(a)P ne kreće kroz biljku, već ostaje povezan sa korenom, dok je hromatografija pokazala da B(a)P-C-14 metaboliše u najmanje 10 različitih proizvoda. Poređenje metaboličkih proizvoda B(a)P-a iz kontaminiranih biljaka sa metabolitima iz jetre pacova, ukazalo je da postoji pet metabolita sa istim Rf

vrednostima. Zbog nečistoća u materijalu, nije bilo do kraja jasno da li su metaboliti koji su se nalazili u mikrozmomima jetre pacova i biljnim ekstraktima jednake strukture. Ipak, rezultati su potvrdili da je B(a)P bio podvrgnut biotransformaciji preko enzimskog sistema u korenu i da su neki od rezultujućih metabolita možda zaista isti kao i oni koji se nalaze u životinjskim sistemima.

Gao i Zhu [18] su ispitivali više biljnih vrsta da bi proučili ponašanje biljaka prema usvajanju, akumulaciji i translokaciji PAH-ova (fenantren i piren kao predstavnici). Posejani su bili: amarantus (*Amaranthus tricolor* Linn.), kineski kupus (*Brassica parachinensis* Bejli), rotkvice (*Raphanus sativus* L.), vodeni spanać, (*Ipomoea aquatica* Forsk), zelena soja (*Glycine max* MERR.), pasulj (*Phaseolus vulgaris* L.), brokoli (*Brassica oleracea* L.), spanać (*Spinacea oleracea* L.), paprika (*Capsicum annuum* L.), patlidžan (*Solanum melanogena* L.) i ljulj (*Lolium multiflorum* Lam). Akumulacija fenantrena i pirena u izdancima i korenju, rasla je sa porastom njihovih zemljišnih koncentracija i pokazane su značajne pozitivne korelacije između koncentracija u korenu i u zemljištu. RCFs (root concentration factor, koncentracioni faktor za koren) vrednosti za fenantren i piren kod ispitivanih biljnih vrsta, kretale su se u okvirima od 0.05–0.67 i 0.23–4.44, respektivno. Translokacija fenantrena i pirena od korena prema nadzemnim delovima je postojala, ali nije bila značajna, osim u slučaju kineskog kupusa, dok translokacija od izdanaka prema korenu nije uopšte bila detektovana, iako je njihovo usvajanje i akumulacija iz atmosfere u nadzemne delove bilo očigledno. Vrednosti SCF (shoot concentration factor, koncentracioni faktor za izdanke) za fenantren i piren kretale su se od 0.006–0.12 i 0.004–0.12, respektivno. Adekvatnim proračunom utvrđeno je da oko 22–95% fenantrena i 32–96% pirena u izdancima potiče od translokacije iz korena.

Činjenica da biljke nisu sposobne za potpunu mineralizaciju PAH-ova do CO₂ i H₂O, kao i niski nivoi akumulacije PAHs u nadzemnim biljnim delovima, u prvom trenutku, čini da biljke izgledaju kao nedovoljno podesne za fitoremedijaciju dizajniranu na klasičan način: apsorpcija korenom → translokacija u nadzemne delove → žetva → odlaganje, spaljivanje. Međutim, eksperimenti brojnih istraživača su pokazali da mnoge biljne vrste, pre svega iz porodica trava (*Poaceae*) i leguminoza (*Fabaceae*), imaju sposobnost da uklone ove kontaminante iz podloge u značajnom stepenu. Ispostavilo se da glavnu ulogu u fitoremedijaciji PAHs igraju procesi rizoremedijacije, jer degradacija primarno postoji upravo u rizosferi u kojoj mikrobi koriste PAHs kao ugljenične supstrate za svoj rast i razvoj, što sve u konačnom dovodi do razaranja ili čak potpune mineralizacije ovih kontaminanata.

Uobičajeno, ovaj proces je poboljšan ekskrecijom ekskudata koje luči korenje biljaka (enzimi, kiseline, šećeri, alkoholi) i ugradnjom organskog ugljenika u zemljište. Rizodegradacija je dodatno pogodna za uklanjanje PAH-ova, jer se njenom primenom izbegavaju faze remedijacije kao što su žetva i odlaganje, ili uništavanje kontaminiranog biljnog materijala [2].

Da bi ispitali ponašanje pirena u rizosferi biljaka iz porodice trava: visoki vijuk, *Festuca arundinacea* i vrsta ukrasne trave, *Panicum virgatum* L., Chen i sar. [19] su koristili ¹⁴C obeleženi piren. Posle 190 dana inkubacije, 37,7% i 30,4% ¹⁴C-pirena bilo je mineralizovano u zemljištu u kome su bili zasađeni *Festuca arundinacea* i *Panicum virgatum* respektivno, dok je samo 4,3% mineralizacije primećeno za nezasejanu kontrolu. Samo 7,6% i 8,7% pirena je ostalo u zemljištu zasađenom sa dva tretmana, dok je 31,5% pirena ostalo u netretiranoj kontroli. Značajne količine ¹⁴C uočene su za sve tretmane i kontrole u huminsko/fu-lvinskoj frakciji zemljišta na kraju eksperimenta.

Kako bi se kvantifikovali i uporedili odgovori zemljišnih mikrobnih zajednica tokom fitoremedijacije PAHs, Johnson i sar. [20] izveli su eksperiment sa biljnim tretmanima koji su činili mešoviti travnjak ljulja (*Lolium perenne*) i bele deteline (*Trifolium repens*), zajedno sa inokulumom bakterije *Rhizobium leguminosarum*, bv. *trifolii*. Tokom 180 dana eksperimenta, praćene su biomase mikroorganizama iz zemljišta i zajednice PAH-degradatora. Degradacija PAH-ova bila je povećana u tretmanima koji su imali rizobialni inokulum. Biomasa je bila povećana u zasađenim tretmanima, ali nije bilo značajne razlike između tretmana koji su dobijali rizobialni inokulum i onih koji nisu. Međutim, broj PAH-degradatora jeste bio povećan u tretmanu koji je bio obogaćen rizobialnim inokulumom.

Osim bakterija, tokom vremena je uočeno da i više mikoriznih sojeva pokazuje visoku efikasnost za degradaciju PAH-ova. Ovi sojevi često žive u simbiotskoj zajednici sa biljkom i imaju jedinstveno enzimsko delovanje kojim pomažu da se degradiraju i oni PAH-ovi koji ne bi mogli da se transformišu isključivo bakterijama, tako da je za zemljišta kontaminirana PAH-ovima, razvijena posebno efikasna tehnika nazvana arbuskularna mikorizalna fitoremedijacija (arbuscular mycorrhizal phytoremediation, AMPR) [2]. Joner i Leyval [21] su ispitivali efekat arbuskularne mikorize na rast deteline i ljulja, kao i usvajanje fosfora. Biljke su bile gajene na zemljištu koje je veštački kontaminirano PAH-ovima. Eksperiment je imao tri osnovna tretmana: ne-mikorizalnu inokulaciju, mikorizalnu inokulaciju i mikorizalnu inokulaciju + surfaktant. Pored ovoga, praćen je i mikorizalni efekat u zemljištu bez PAH-ova. Ovaj eksperiment je pokazao da AM može da poboljša rast bele deteline

kada raste u konkurenciji sa ljuljem. Bio je evidentan toksičan efekat PAH-ova na detelinu u pogledu rasta. Negativan efekat na rast bio je pogoršan dodatkom surfaktanta koji je povećao rastvorljivost PAH-ova. Kolonizacija i koncentracija fosfora u detelini bili su nepromenjeni povećanjem rastvorljivosti PAH-ova, što ukazuje da su biljke deteline možda osetljivije na PAH-ove, od AM gljiva. Sagledavajući konkurentsku sposobnost deteline u odnosu na ljulj, bilo je uočeno da je rast izdanaka i korena sa AM bio uvećan, ali smanjen sa PAHs i dodatkom surfaktanta. Ovo se odrazilo na mikorizalnu kolonizaciju korena koja je bila umerena za detelinu i veoma niska za ljulj. Kolonizacija i biljke su bili slični u zemljištu sa i bez dodatog surfaktanta. PAH-ovi su smanjili kolonizaciju deteline na pola u odnosu na zemljište bez njih. Usvajanje fosfora se odrazilo u mikorizalnoj detelini kada su dodati PAH-ovi, ali je smanjeno u nemikorizalnoj detelini, gde je dodat surfaktant. Slični efekti nisu bili primećeni kod ljulja. Joner i Leyval [21] su zaključili da AM, preko uticaja na performanse bilja i biologiju mikrobnе zajednice zemljišta, poboljšava uslove za degradaciju PAHs i tako predstavlja biološki faktor koji može da se najozbiljnije razmatra za bioremedijaciju zemljišta zagađenim ovim organskim polutantima.

Da bi poboljšali efekte fitoremedijacijskih procesa, Huang i sar. [22] su kombinovali više tehnika: površinsku obradu (aeracija i izlaganje svetlu), uvođenje bakterija koje razgrađuju zagađivače, uzgoj biljaka koje tolerišu polutante i čiji rast je moguće promovisati rizobakterijama (plant growth promoted rhizobacteria, PGPR). Za fitoremedijaciju je korišćen visoki vijuk (*Festuca arundinacea*), a kreozot je korišćen kao test-kontaminant. PAH-degradirajuće bakterije su izolovane iz zemljišta kontaminiranog PAH-ovima. Kultura je sadržala četiri različita soja i to: *Pseudomonas putida*, *Flavobacterium sp.*, *Pseudomonas aeruginosa* i jedan nepoznati organizam. Tokom 4 meseca, prosečna efikasnost uklanjanja 16 prioritetnih PAH-ova sistemom multiprocesne remedijacije bila je dva puta veća od površinske obrade, 50% veća nego bioremedijacija primenjena sama i 45% veća nego fitoremedijacija sama po sebi.

Multiprocesni sistem bio je sposoban da ukloni većinu PAH-ova iz zemljišta. Ključni elementi za uspešnu fitoremedijaciju bili su upotreba biljnih vrsta koje imaju sposobnost preživljavanja u prisustvu visokog nivoa zagađenja i PGPR sojeva koji imaju sposobnost da povećaju biljnu toleranciju na zagađivač i ubrzaju rast biljaka u veoma zagađenim zemljištima. Sinergističko korišćenje ovih pristupa rezultovalo je brzom i obimnom akumulacijom biomase biljnog tkiva u kontaminiranom zemljištu omogućavajući aktivnije

metaboličke procese, što jednodatno dovelo do bržeg i potpunijeg uklanjanja PAH-ova.

3. ZAKLJUČAK

Fitoremedijacija policikličnih aromatičnih ugljovodonika iz zagađenog zemljišta obično podrazumeva multidisciplinarni tretman u čijem centru se nalaze, pre svega, fiziološki procesi biljke. Ovi procesi uobičajeno se aktiviraju kao odgovor biljke na nepovoljne uslove u okruženju sa ciljem da zašтите samu biljku od toksičnog delovanja PAHs. Cilj se realizuje na taj način što se roditeljska jedinjenja PAHs transformišu u metabolite manje toksičnosti i ograničava njihovo dalje kretanje sekvestracijom i akumulacijom.

Pri tome, biljke se koriste onim putevima i enzimima koji su sličniji onima kojima se služe sisari (koncept "zelene jetre"), nego onima kojima se služe mikroorganizmi. Nažalost, proces potpune mineralizacije PAH-ova u višim biljkama nije moguć, jer više biljke nemaju toliko efikasno razrađene sisteme za degradaciju ovako složenih organskih molekula, kao što je to slučaj sa mikroorganizmima, čija primena u bioremedijacijske svrhe je već duže vremena poznata i daje izuzetne rezultate.

Iako istraživanja ukazuju da se PAH-ovi iz zemljišta usvajaju i akumuliraju u relativno niskom stepenu i to u perifernim tkivima korena, postoji veliki broj dokaza o sposobnosti različitih biljaka, najčešće iz porodica trava (*Poaceae*) i leguminoza (*Fabaceae*), da uklone i degradiraju ove opasne kontaminante sa terena na kojima rastu. One ovaj proces ostvaruju u svojoj rizosfernoj oblasti, gde prisutni mikrobi koriste PAHs kao ugljenične supstrate za rast i razvoj, što praktično rezultuje u degradaciji i čak potpunoj mineralizaciji PAHs. Ovo je sve uobičajeno olakšano ekskrecijom ekskudata korenja i inkorporacijom organskog ugljenika u tlo, te na taj način, biljke, u saradnji sa zemljišnim mikrobima ostvaruju najbolje remedijacijske efekte.

Može se zaključiti da je u postupcima fitoremedijacije zemljišta veoma važno koristiti one biljke koje poseduju izrazitu sposobnost adaptacije na oksidativni stres i koje ujedno poseduju visoku produkciju biomase, te je zato neophodno usmeriti istraživanja na sve pomenute faktore i mehanizme. Uloga enzima, metabolita, mikroorganizama, kao i odabir odgovarajuće biljne vrste su ključni aspekti koji se moraju bolje istražiti i razumeti, kako bi se osmislili što efikasniji fitoremedijacijski postupci.

LITERATURA

- [1] Alagić, Č. S., Radojičić, B. V., Riznić, T. D., Ecologica, 18(62), p. 323-328, 2011.

- [2] Alagić, Č. S., Maluckov, S. B., Radojičić, B. V., Clean Techn Environ Policy, DOI: 10.1007/s10098-014-0840-6, 2014.
- [3] Alagić, Č. S., Dimitrijević, D. M., Kukić, S., Tehnika, 64(3), p. 433-438, 2013.
- [4] Venkata Mohan, S., Kisa, T., Ohkuma, T., Kanaly, A. R., Shimizu, Y., Rev Environ Sci Biotechnol, 5, p. 347-374, 2006.
- [5] Prasad, M. N. V., in: S.N. Singh, R. D. Tripathi (Eds), Environmental Bioremediation Technologies, Springer-Verlag, Berlin, pp. 259-274, 2007. Dostupno na: http://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-34793-4_11
- [6] Macek, T., Mackova, M., Kas, J., Biotechnol Adv, 18, p. 23-34, 2000.
- [7] Alagić, Č. S., Maluckov, S. B., Riznić, T. D., Ecologica, 20(70) p. 275-279, 2013.
- [8] Alagić, Č. S., Dimitrijević, M., Grujić, A., Ecologica, 73, p. 61-66, 2014.
- [9] Reichenauer, T.G and Germida, J. J., ChemSus-Chem, 1, p. 708-717, 2008.
- [10] Kipopoulou, A. M., Manoli, E., Samara, C., Environ Pollut, 106, p. 369-380, 1999.
- [11] Sojinu, O. S., Sonibare, O. O., Ekundayo, O., Zeng, E.Y., J Hazard Mater, 184, p. 759-764, 2010.
- [12] Tao, S., Jiao, X. C., Chen, S. H., Liu, W. H., Coveney, Jr R. M., Zhu, L. Z., Luo, Y. M., Environ Pollut, 140, p. 406-415, 2006.
- [13] Kvesitadze, E., Sadunishvili, T., Kvesitadze, G., World Academy of Science, Engineering Technol, 55, p. 458-468, 2009.
- [14] Campos, V. M., Merino, I., Casado, R., Pacios, L. F. and Gómez, L., Span J Agricul Res, 6 (Special issue), p. 38-47, 2008.
- [15] Singh, O. V. and Jain, R. K., Appl Microbiol Biotechnol, 63, p. 128-135, 2003.
- [16] Abhilash, P. C., Jamil, S., Singh, N., Biotechnol Adv, 27, p. 474-488, 2009.
- [17] Brady, C. A. L., Gill, R. A., Lynch, P. T., Environ Geochem Health, 25, p. 131-137, 2003.
- [18] Gao, Y. and Zhu, L., Chemosphere, 55, p. 1169-1178, 2004.
- [19] Chen, Y. C., Banks, M. K., Scwab, A. P., Environ Sci Technol, 37, p. 5778-5782, 2003.
- [20] Johnson, D. L., Anderson, D. R., McGratha, S. P., Soil Biol Biochem, 37, p. 2334-2336, 2005.
- [21] Joner, E. J., Leyval, C., Colpaert, J. V., Environ Pollut, 142, p. 34-38, 2006.
- [22] Huang, X.-D., El-Alawi, Y., Penrose, D.M., Glick, B.R., Greenberg, B.M., Environ Pollut, 130, p. 465-476, 2004.

SUMMARY

PHYTOREMEDIATION MECHANIZMS FOR POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS REMOVING FROM CONTAMINATED SOILS

Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil aims to degrade them into less toxic/non toxic compounds and limit their further movement by sequestration and accumulation into the vacuoles. Lipophilic organic compounds such as PAHs are bound strongly to the epidermis of the root tissue and are rarely translocated within plant. There are no reports in the literature data of PAHs being completely mineralized by plants. There is little evidence to suggest that PAHs accumulate to significant degree in plants, but there still is a lot of evidences on the ability of various plant species (most often grasses and legumes), to degrade and dissipate these dangerous contaminants. The primary mechanism controlling the dissipation of PAHs is rhizosphere microbial degradation where microbes use PAHs molecules as carbon substrates for growth, which in final, leads to the breakdown or total mineralization of the contaminants. The process is usually augmented by the excretion of root exudates (e.g., sugars, alcohols, acids, enzymes), and the build-up of organic carbon in the soil, so the proper selection of particular plant species represents a critical management decision for PAHs phytoremediation. These facts favor the rhizoremediation as the best solution for sites contaminated with PAHs.

Key words: PAH, phytoremediation, plant, microorganism, green liver concept, economy