

UŽTERŠTO DIRVOŽEMIO FITOVALYMO METODŲ APŽVALGA

Mantas Rubežius, Kęstutis Venslauskas

Įvadas

Pramonės ir energetikos pramonės plėtra per pastarąjį amžių lėmė dramatiškai padidėjusią aplinkos taršą antropogeninėmis cheminėmis medžiagomis. Labiausiai paplitusių teršalų tokių, kaip naftos, angliavandenilių, policiklinių aromatinių angliavandenilių, halogenintų angliavandenilių, pesticidų, tirpiklių, sunkiųjų metalų (SM) ir pan. neigiamas poveikis žmonių sveikatai ir ekosistemoms yra gerai žinomas ir dokumentuotas. Tradiciniai aplinkos kokybės gerinimo metodai reikalauja daug lėšų, didelių darbo jėgos išteklių, energijos bei kai kuriais atvejais laiko sąnaudų. Dėl šių priežasčių nuolatos atliekama naujų ekonomiškai patrauklių, efektyvių aplinkos kokybės atkūrimo technologijų, pavyzdžiui dirvožemio ar gruntinio vandens valymo technologijų paieška.

Fitovalymas – nauja, pigi technologija, naudojant unikalias augalų savybes surinkti teršalus, skatinti jų degradaciją ar transformaciją. Fitovalymas naudojamas grunto galutiniam išvalymui ir dirvožemio struktūros bei gyvybingumo atstatymui. Augalų gebėjimas šalinti teršalus iš aplinkos yra pastebėtas prieš 300 metų. Nors augalų panaudojimas atstatyti užterštus dirvožemius žinomas jau gana senai, tačiau terminas fitovalymas nebuvo taikomas iki 1980 m., o greita plėtra prasidėjo tik per pastarąjį dešimtmetį. Pastaruoju metu fitoremediacija yra laikoma kaip viena perspektyviausių *in situ* dirvožemio valymo technologijų.

Tyrimo tikslas. Išanalizuoti fitoremediacijos pritaikymą įvairių formų taršos kontrolėje, aptariant visas šiuo metu fotoremediacijoje taikomas technologijas kartu aptariant jų privalumus trūkumus ir pateikti išsamius mokslinius tyrimus bei pasiekimus fitovalymo srityje.

Fitovalyme taikomos technologijos

Fitoekstrakcijos metodas pagrįstas augalų geba iš užterštos aplinkos šaknimis ištraukti ir sukaupti sunkiuosius metalus antžeminėse dalyse (Ali et al., 2013). Taikant fitoekstrakciją galima sėkmingai pašalinti SM (šviną, kadmį, chromą, nikelį, varį, cinką bei įvairius radionuklidus). Šiuo tikslu buvo auginama ir tiriama daugybė augalų, kurie geba ekstrahuoti ir kaupti sunkiuosius metalus. Augalų galimybės šalinti metalus yra apribotos ir labai

priklauso nuo jų šaknų sistemos (Mulligan et al., 2001). Fitoekstrakcija yra pagrindinis ir efektyviausias fitoremediacijos būdas šalinant SM ir metaloidus iš užteršto dirvožemio. Tai perspektyviausia taikomoji technologija (Ali et al., 2013). Fitoekstrakcija gali būti naudojama dviem režimais – natūraliu ir dirbtinai sukeltu. Natūraliomis sąlygomis teršalai šalinami nenaudojant jokių priemonių, kurios gali pakeisti dirvožemį. Tokios priemonės, kaip skirtingi chelatiniai agentai (EDTA, citrinų rūgštis, elementinė siera ir amonio sulfatas) gali padidinti SM biologinį prieinamumą dirvožemyje ir palengvinti jų įsisavinimą. Chelatai sudaro vandenyje tirpius kompleksus su SM dirvožemyje ir padidina jų desorbcija iš dirvožemio dalelių. Tačiau tokios cheminės procedūros gali sukelti antrinių taršos problemų. Pavyzdžiui, sintetinis chelatas EDTA biologiškai nedegraduoja ir gali patekti į požeminius vandenis bei sukelti papildomų pavojų aplinkai. Be to, sintetiniai chelatai taip pat gali būti toksiški augalams didelėmis koncentracijomis. Tačiau, citrinų rūgšties chelatas gali būti perspektyvus, nes jis yra natūralios kilmės ir lengvai biodegraduoja dirvožemyje, citrinų rūgštis nėra toksiška augalams ir neslopina jų augimo (Ali et al., 2013).

Fitofiltracijos metodas pagrįstas teršalų pašalinimu iš užterštų paviršinių vandenų ar nuotekų. Fitofiltracija gali būti atliekama naudojant augalų šaknis, daigus ar ūglius. Fitofiltracijos metu teršalai yra absorbuojami, adsorbuojami, nusodinami ar sutelkiami, todėl jų judėjimas į kitus požeminius ar gruntinius vandenis yra sumažinamas iki minimumo (Ali et al., 2013; Lee, 2013). Fitofiltracijoje naudojami augalai turi greitai auginti biomasę (ypač šaknų) ir pasisavinti iš dirvožemio dideliu kiekiu vandens su galimybe pašalinti teršalus iš tirpalų. Augalai turintys šias savybes gali būti naudojami kaip nebrangi alternatyva užteršto gruntinio vandens valymui. Pvz., gluosnis (*Salix spp.*) gali sunaudoti iki 200 litrų vandens per dieną (Susarl et al., 2002). Ši technologija ypač efektyvi ten, kur vanduo yra užterštas santykinai mažomis koncentracijomis (Lee, 2013).

Fitostabilizacija yra tam tikrų augalų naudojimas stabilizuoti taršą užterštuose dirvožemiuose. Šis metodas yra naudojamas siekiant sumažinti teršalų mobilumą ir biologinį prieinamumą, tokiu būdu užkertant kelią jų migracijai į gruntinius vandenis ar patekimą į maisto grandines (Ali et al., 2013). Fitostabilizacija paremta augalų šaknų gebėjimu pakeisti dirvožemio aplinkos sąlygas, pvz. dirvožemio pH ir drėgmės kiekį (Susarl et al., 2002). Daugelis augalų gali fiksuoti sunkiuosius metalus per šaknų sorbciją ar sumažinant metalų valentingumą rizosferoje. Metalų toksiškumas skiriasi priklausomai nuo jų valentingumo. Augalai, panaudodami specialų redokso fermentą, gali konvertuoti pavojingus metalus į santykinai mažiau pavojingus ir taip sumažinti jų keliamą žalą. Tačiau fitostabilizacija nėra

ilgalaikis sprendimas, nes sunkiųjų metalų dirvoje lieka, tik sumažinamas jų judėjimas (Ali et al., 2013; Lee, 2013).

Fitoišgarinimo metodas pagrįstas augalų geba pasisavinti teršalus iš dirvožemio, paversti juos lakiomis formomis ir lakių formų teršalus išgarinti į atmosferą. Šis metodas gali būti naudojamas organinių teršalų ir kai kurių sunkiųjų metalų (Hg ir Se) valymui iš dirvožemio. Tačiau šio metodo naudojimas yra ribotas, nes juo teršalai visiškai nepašalinami, o tik perkeliama iš vienos terpės (dirvožemio) į kitą (atmosferą). Fitoišgarinimas yra labiausiai prieštaringa fitovalymo technologija (Ali et al., 2013).

Fitodegradacija yra organinių teršalų skaidymas augaluose fermentais, pvz., dehalogenazės (transformuoja chlorintus junginius), peroksidazės (transformuoja fenolius), nitroreduktazės (transformuoja junginius, kurie sudaro sprogmenis bei kitus nitrintinius junginius), nitrilazės (transformuoja kaikuriuos aromatinius junginius) ir fosfatazės (transformuoja pesticidus, kuriuose yra fosforo) (Susarl et al., 2002). Šis metodas nėra priklausomas nuo rizosferos mikroorganizmų. Augalai gali kaupti organinius ksenobiotikus iš užterštos aplinkos ir detoksikuoti juos per jų metabolinę veiklą. Šiuo požiūriu augalai gali būti laikomi, kaip „žaliosios kepenys“. Tačiau, fitodegradacijos metodas apsiriboja tik organiniais teršalais, o sunkieji metalai biologiškai nedegraduoja. Labiausiai fitodegradacija tinka vidutinio hidrofobiškumo organinių teršalų (benzenas, toluenas, etilbenzenas, kniselinas) skaidymui. Kai kurie tyrimai parodė, kad genetiškai modifikuoti augalai puikiai tinka šiam tikslui (Ali et al., 2013; Lee, 2013).

Rizodegradacija pasireiškia rizosferoje, kurią vykdo bakterijos bei grybai. Rizosfera tęsiasi apie 1 mm aplink augalų šaknis ir turi įtakos augalų veiklai. Augalai aplink šaknis sukuria maistinėmis medžiagomis turtingą aplinką (anglies, azoto šaltiniai), kurioje yra stimuliuojamas mikroorganizmų aktyvumas. Be išskiriamų organinių substratų, palengvinančių augalų augimą ir veiklą, rizosferos mikroorganizmai taip pat išskiria tam tikrus fermentus, kurie gali suskaidyti organinius teršalus dirvožemyje (Ali et al., 2013). Daugeliu atvejų atsiranda galimybė suderinti fitodegradaciją su rizodegradacija (Susarl et al., 2002).

Fitogėlinimas – tai neseniai atrastas metodas, kai halofitiniais augalais pašalinamos druskos iš druskomis paveiktų dirvožemių. Halofitiniai augalai buvo pasiūlyti todėl, kad geba geriau natūraliai susidoroti su sunkiaisiais metalais. Pagal atliktus tyrimus du halofitai, *Suaeda maritima* ir *Sesuvium portulacastrum* gali pašalinti atitinkamai 504 kg ir 474 kg natrio chlorido iš 1 ha per keturis mėnesius. Todėl *S. maritima* ir *S. portulacastrum* gali būti sėkmingai naudojami kaupti NaCl iš labai druskingo dirvožemio (Ali et al., 2013).

Fitovalymo privalumai ir trūkumai

Fitovalymo privalumai. Dirvožemis gali būti valomas *in-situ* su minimaliu kraštovaizdžio sudarkymu. Tuo pačiu valomas dirvožemis išlaiko savo natūralias fizines, chemines ir biologines savybes (Lietuvos geologijos tarnyba, 2009). Augalai geba prisitaikyti prie įvairių aplinkos sąlygų ir tam tikru mastu jas modifikuoti. Augalų šaknys vėdina dirvą, o tai gali paskatinti mikrobų aktyvumą dirvožemyje. Taip pat šaknų eksudatai gali būti maistinių medžiagų šaltinis mikroorganizmas, todėl rizosferoje paprastai yra gerokai didesnis mikroorganizmų aktyvumas nei panašiuose dirvožemiuose be augalų (Susarl et al., 2002). Augmenija ant užterštų dirvožemių padeda išvengti erozijos ir metalų išplovimo. Fitovalymo technologija turi mažus kaštus, lyginant su kitomis valymo technologijomis, bei nedideles darbo, mechanizmų ir energijos sąnaudas. Teigiama, kad fitoavimas yra ne mažiau kaip 50% pigesnis valymo metodas nei kiti užteršto dirvožemio valymo metodai (Vangronsveld et al., 2009). Taipogi fitoavimo metodai, pvz., fitokasyba, gali būti ekonomiškai perspektyvi, nes valymo metu gauta produkcija gali turėti ekonominę vertę (Ali et al., 2013).

Fitoavimo trūkumai. Pagrindinis fitoavimo trūkumas tas, kad augalai ištraukia teršalus tik iš paviršinio dirvožemio sluoksnio. Metodas paremtas augalų aktyvumu, o maksimalus gylis yra apribotas šaknų gyliu.

Augalai, kurie teršalus kaupia, o ne transformuoja, turi būti sunaikinami kaip pavojingos atliekos. Jie negali būti panaudoti kaip maistas, nes gali turėti neigiamą poveikį gyvūnams, o tai taip pat sukelia nemažai problemų. Šių augalų utilizavimui naudojamos džiovinimo, deginimo, pavertimo dujomis, pirolizės, rūgščių ištraukimo, ekstrakcijos technologijos (Jankaitė, 2007). Be to, deginant užterštus augalus išskyla sunkiųjų metalų emisijos į atmosferą problema.

Dar vienas fitoremiadiacijos trūkumas – dideli teršalų kiekiai dirvožemyje slopina augalų biomasės prieaugį, todėl augalai gali būti taikomi tik mažo ar vidutinio užterštumo dirvožemiams valyti (Ali et al., 2013; Jankaitė, 2007). Didžiausias fitoremiadiacijos efektyvumas pasiekiamas tuomet, kai paviršinis dirvožemio sluoksnis užterštas nuo 2,5 mg/kg iki 100 mg/kg sunkiaisiais metalais (Jankaitė, 2007).

Fitoremiadiacijos tyrimai pasaulyje ir Lietuvoje

Pastaraisiais dešimtmečiais, pripažinus padarytą, esamą ir daromą pramonės, energetikos ir kitų ūkio subjektų žalą, sustiprėjo susidomėjimas

tobulinti esamas technologijas, kurios gali išspręsti užterštumo problemas, tarp jų ir fitoremediacija (Etim, 2012). Fitoremediacijos technologija yra palyginti nesena technologija, o daugiausia mokslinių tyrimų atlikta per pastaruosius du dešimtmečius. Vienas iš pirmųjų, kuris pasiūlė fitoremediacijos koncepciją (kaip fitoekstrakciją), buvo JAV mokslininkas Rufus L. Chaney (1983) (Ali et al., 2013).

Paprastai Europoje daugiausia atliekami fundamentiniai tyrimai, o praktinis fitoremediacijos pritaikymas, vis dar tebėra ankstyvoje stadijoje.

Kituose moksliniuose šaltiniuose akcentuojama tai, kad priešingai nei JAV ir Kanadoje, fitoremediacijos technologijų naudojimas Europoje yra ribotas (Marmioli et al., 2006). Viena iš pagrindinių kliūčių fitovalymo pripažinimui buvo taikomųjų tyrimų trūkumas. Šie tyrimai yra labai svarbūs siekiant nuosekliai taikyti fitovalymo technologijas. Daugiausia tyrimų atlikta su SM, nepaisant to, kad dirvožemio ir gruntinio vandens tarša organiniais teršalais sudaro daug rimtų problemų (Schwitzgubel et al., 2002). Nustatyta, kad fitoremediacijos tema 2005 m. dirbo 29 Europos šalys, įskaitant Izraelį ir Turkiją. Apie 350 mokslinių tyrimų grupių atliko įvairius fitoremediacijos tyrimus, iš kurių 60 % buvo universitetai, 30 % mokslinių tyrimų institutai ir 10 % privačių įmonių (Marmioli et al., 2006).

Remiantis pasauline patirtimi, galima pastebėti, kad daugiausia tyrimų atliekama tam pritaikytose laboratorijose ir labai mažai tyrimų atliekama lauko sąlygomis. Tyrimų rezultatai apie bendrą naftos angliavandenilių pašalinimą keliose lauko teritorijose, kurios buvo užterštos žalia nafta, dyzelinu ar naftos rafinavimo atliekomis (pradinėmis naftos angliavandenilių koncentracijos svyravo nuo 1700 iki 16000 mg/kg) parodė, kad sklypuose, kuriuose buvo auginami atrinkti augalai, vyko žymiai greitesnis naftos angliavandenilių pašalinimas nei sklypuose, kuriuose augalai nebuvo auginami (Kamath et al., 2012).

Lietuvoje šiuo metu aplinkosaugai daug dėmesio skiria Botanikos institutas (Biodestruktorių laboratorija), VU Augalų fiziologijos ir mikrobiologijos katedra, Ekologijos, Miškų ir Žemdirbystės institutai, VŠĮ „Grunto valymo technologijos“, UAB „Biocentras“ ir kt. (Liužinas, Paunksnytė, 2008). 2011 m. Vilniaus universiteto Botanikos sode pradėti ekspozicijos, skirtos supažindinti sodo lankytojus su augalais gebančiais skatinti savaiminius dirvožemio savivalos procesus, įrengimo darbai. Ekspozicijos, kurioje pasodinti gruntą valantys augalai, informaciniai stendai apie augalų naudą ir praktinį panaudojimą įrengti 249 m² plote (Šimėnaitė R. 2014). 2003 m. ištirtas ilgai deponuojamo bei sandėliuojamo mazuto poveikį aukštesniųjų augalų–želdinių sudėčiai ir jų rizosferos būklei. Tyrimams buvo parinktas po tanklaivio „Globe Assimi“ įvykusios avarijos (1981-11-19) Klaipėdos uoste surinktas ir Kiškėnų žvyro karjere įrengtoje

aikštelėje laikomas mazutu užterštas gruntas ir Kėdainių oro uosto naftos produktų bazės kuro talpyklų teritorija (Jankevičius ir kt., 2009). Tyrimai parodė, kad vykstant mazuto biodegradacijai, mazuto mišinyje su gruntu ima formuotis augalinė danga. Ją sudaro sausoms dykvietėms būdingi augalai. Abiejuose tirtuose objektuose augalų rūšinė sudėtis gana didelė – 39 ir 38 augalų rūšys (Jankevičius ir kt., 2009).

Išvados

1. Fitovalymas tampa vis labiau pripažinta alternatyva tradiciniais užterštų teritorijų valymo metodams. Šis valymo metodas puikiai tinka paviršinei tiek organinei, tiek ir neorganinei taršai šalinti užterštose teritorijose.

2. Fitoremediacijos tyrimai tebėra ankstyvoje stadijoje. Toliau reikia gerinti fitovalyimo efektyvumą, gilinti žinias apie augalų ir mikrobo sąveiką, atlikti tyrimus siekiant atrasti naujas augalų rūšis, kurios rodo spartų augimą, užaugina didelį biomasės kiekį bei aukštą toleranciją įvairiems teršalams.

3. Nors yra paskelbta daug vertingų mokslinių rezultatų, tačiau laboratorijose ir šiltnamiuose sėkmingai atliktų eksperimentų rezultatus neretai sunku realizuoti tokiu pat mastu lauko sąlygomis užterštoms teritorijoms atkurti. Todėl vienas iš svarbiausių fitovalyimo srities mokslinių tyrimų uždavinių turėtų būti: išspręsti klausimą, kaip pritaikius turimas mokslines žinias, išspręsti faktines taršos problemas. Taigi, būtina vykdyti tolesnę šių valymo metodų plėtrą ir vis dažniau juos taikyti praktiškai.

Literatūra

1. Ali H., Khan E., Sajad A. M. 2013. Phytoremediation of heavy metals–Concepts and applications. *Chemosphere*. Vol. 91. P. 869–881.
2. Anderson C.W.N., Brooks R.R., Chiarucci A., LaCoste C.J., Leblanc M., Robinson B.H., Simcock R., Stewart R.B. 1999. Phytomining for nickel, thallium and gold. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol 67. P. 407–415.
3. Etim E.E. 2012. Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *Environment and Bioenergy*. Vol. 2. P. 120–136.
4. Jankaitė A. 2007. *Sunkiųjų metalų pakelėse tyrimai ir įtakos aplinkai vertinimas: Daktaro disertacijos (technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka) rankraštis*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: 158 p.
5. Jankevičius K., Liužinas R., Paunksnytė I. 2009. Fitoremediacijos galimybės aplinkos valdyme. *Žaliasis pasaulis*. Nr. 11 (689), P. 10.
6. Kamath R., Rentz J. A., Schnoor J. L., Alvarez P. J. J. 2012. *Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications*. Department of Civil and Environmental Engineering, Seamans Center, University of Iowa, Iowa City, Iowa, U.S.A. 32 p.

7. Lee H. J. 2013. An Overview of Phytoremediation as a Potentially Promising Technology for Environmental Pollution Control. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. Vol. 18. P. 431–439.

8. Liužinas R., Paunksnytė I. 2008. Biotechnologijos aplinkosaugoje. 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, straipsnių rinkinys. P. 25–35.

9. Marmiroli N., Marmiroli M., Maestri E. 2006. *Phytoremediation and phytotechnologies: a review for the present and future*. University of Parma, Department of Environmental Sciences, p. 14.

10. Mulligan C. N., Yong R. N., Gibbs B. F. 2001. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology*. Vol 69. P. 193–207.

11. Schwitzguebel J.P., Lelie D., Baker A., Glass J.D., Vangronsveld J. 2002. Phytoremediation: European and American trends successes, obstacles and needs. *Soils & Sediments*. Vol. 2 (2). P. 91–99.

12. Susarl S., Medina F.V., McCutcheon C.S. 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*. Vol. 18, P. 647–658.

13. Šimėnaitė R. 2014. Fitoremediacija: augalų įvairovė ir ekspozicijos įrengimas / Elektroninis išteklius, liet. k. [Žiūrėta 2015 01 12] Prieiga per: <<http://www.botanikos-sodas.vu.lt/files/fitor1.pdf>>.

14. Lietuvos geologijos tarnyba. *Užterštų teritorijų valymo metodų apžvalga*. Vilnius: 61 p.

15. Vangronsveld J., Herzig R., Weyens N., Boulet J., Adriaensen K., Ruttens A., Thewys T., Vassilev A., Meers E., Nehnevajova E., Lelie D., Mench M. 2009. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 16, P. 765–794

THE REVIEW OF CONTAMINATED SOIL PHYTOREMEDIATION METHODS

Summary

Phytoremediation is a technology based on usage of plants to remove pollutants from the contaminated soil. Phytoremediation is environmentally friendly and cost-effective alternative to current remediation technologies. This review outlines general aspects of phytoremediation along with discussions about the advantages and limitations of this technology. Moreover, it includes various detailed descriptions of phytoremediation processes: phytoextraction, phytofiltration, phytostabilization, phytovolatilization, phytodegradation, rhizodegradation and phytodesalination. It also covers a comprehensive research and achievements of phytoremediation.

Mantas Rubežius – ASU, Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos instituto magistrantas, mob. tel. +370 624 24148, Rublenas@gmail.com;

Kęstutis Venslauskas – ASU, Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos institutas, docentas daktaras, tel. +370 37 752219, Kestutis.Venslauskas@asu.lt.