

FITOREMEDIÁCIÓ BÁNYÁSZATI EREDETŰ DIFFÚZ SZENNYEZÉSEK KEZELÉSÉRE

Anton Attila, Máthéné Gáspár Gabriella, Uzinger Nikolett

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet

Összefoglalás

Többéves munkánk során mintegy 20, természetesen levő és vad növényfaj fitoextrakciós és fitostabilizációs alkalmasságát teszteltük. Valamennyi eredmény a Gyöngyösorszi Pb/Zn bánya nehézfémekkel szennyezett meddőhányójának és a bányakörnyék talajainak vizsgálatára vonatkozik.

A kísérleteket a talaj és a növényállomány részletes felmérésével alapoztuk meg. Tenyészedény és szabadföldi kísérletekben vizsgáltuk a növények nehézfém felvételét alakító tényezők hatását fitoremediációs céllal. Az elemfelvételt meghatározó legfontosabb tényezők közül több növényi jellemző, így a növényfaj, fejlődési állapot, növényi rész, valamint az ökológiai tényezők közül a léghőmérséklet és a talaj pH-értékének hatását vizsgáltuk.

Tesztnövényeinket nehézfém toleranciájukra és –felvételükre vonatkozó eredményeink alapján, a vizsgált tényezők kölcsönhatásában értékeltük és csoportosítottuk, kísérleti oldalról megalapozva a fitoremediációs technológia kialakítását.

Kulcsszavak: fitoremediáció, nehézfém, elemfelvétel, növényfaj, ökológiai tényezők

Bevezetés

A környezet nehézfém szennyeződésének növekedése elsősorban az emberi tevékenységgel, az egyre intenzívebbé váló bányászati, ipari, mezőgazdasági termeléssel, a közlekedéssel és energiatermeléssel hozható összefüggésbe. A szennyezés világszerte jelentős ökológiai kockázatot jelent. A természetes folyamatokon alapuló biológiai remediációs technológiák alapja a természetes szennyezőanyag-csökkenés folyamata, amit vagy pusztán csak követünk (monitorozott természetes szennyezőanyag-csökkenés, Natural Attenuation), vagy – a „szűk keresztmetszeteknél” – igyekszünk azt intenzifikálni, gyorsítani. Utóbbira példa lehet a levegőztetés, tápanyagpótlás. Az erősebb beavatkozások – pl. hozzáférhetőséget növelő/csökkentő adalékok, mikrobiális oltóanyagok alkalmazása – már az *in situ* és *ex situ*

bioremediációt jelentik a természetes folyamatokra alapozott kockázatcsökkentő biotechnológiák skáláján (ALVAREZ és ILLMAN, 2005). E technológiák előnye költséghatékonyságuk mellett a fizikai-kémiai beavatkozások jelentős részével szemben, hogy még a legdrasztikusabbak sem károsítják irreverzibilisen ill. semmisítik meg a talajt mint élőhelyet alkalmazásuk során.

A talaj- és a vízszennyeződések csökkentésére alkalmas ígéretes módszer-együttes a fitoremediáció, mely azoknak az eljárásoknak az összefoglaló elnevezése, melyek növényekkel (és társult mikrobaikkal) csökkentik a környezet szennyezőanyagait ill. azok transzportját egy elfogadható kockázatú szintre (BAKER et al., 1994; CUNNINGHAM et al., 1995; BROOKS 1998; SIMON, 1999). A fitoremediáció alapja a növények szennyező anyagokat felvevő, akkumuláló, átalakító vagy lebontó képessége. Attól függően, hogy melyik folyamat a döntő, a fitoremediáción belül többféle eljárást különböztetünk meg: a fitoextrakciót, -filtrációt, -volatilizációt, -stabilizációt, -degradációt (MOREL et al., 1997; SIMON et al., 1999). A fitoremediációban alkalmazott növényeknek két alapvető tulajdonsággal kell rendelkezniük. Toleránsnak kell lenniük a toxikus nehézfém-koncentrációkra, továbbá a nehézfémek extrakciójával vagy megkötésével képesnek kell lenniük e koncentráció csökkentésére (BAKER 1981).

A legismertebb fitoremediációs módszer, a fitoextrakció, melynek kezdeti biztató eredményei az ún. hiperakkumuláló növények nehézfém kivonására vonatkoztak (BAKER et al., 1994; BROOKS 1998). A hiperakkumuláló növények gyakorlati alkalmazhatóságát számos tulajdonságuk nehezíti, ezért a későbbiekben egyéb, nehézfémet jól akkumuláló, toleráns, könnyen termesztető növényfaj kipróbálására került sor. Biztató eredmények születtek a mérsékelt öv lágyszárú növényei közül többek között a Brassicaceae (KUMAR et al. 1995; KÁDÁR et al. 2003) család fajaival, a fafajok közül pedig a Salicaceae család (KLANG-WESTIN és PERTTU 2002) tagjaival.

A fitoremediáció során a nehézfémek tulajdonságai és koncentrációja mellett megkülönböztetett jelentőségű, s kiemelt fontossággal bír a nehézfémek oldhatóságát alakító tényezők közül a talaj pH-értéke (NÉMETH et al. 1993; CSATHÓ 1994; CSILLAG et al. 1999; LEHOCZKY et al. 2000). A növények elemtartalma az előbb említetteken kívül függ a növények fejlődési állapotától, a növényi résztől, ivartól (váltivarúaknál) (KÁDÁR, 1995; KÁDÁR et al., 2003).

A hazai nehézfém-szennyezett területek közül az egyik legismertebb, a Gyöngyösorszi mellett található Pb/Zn bánya és környéke (HORVATH and GRUIZ 1996). Jelen írásunkban a korábbi részeredményeinket összefoglalóan, a vizsgált tényezők kölcsönhatásában értékeljük;

megadjuk tesztnövényeink nehézfém-akkumulációs és nehézfém-érzékenység szerinti csoportosítását; s megalapozzuk a vizsgált terület a fitoextrakciós és fitostabilizációs technológiáját.

Anyag és módszer

Tenyészedény és szabadföldi kísérletek

A tenyészedénykísérletek szennyezett talaja a Gyöngyösorszi bánya környékének 0-20 cm-es rétegéből származott. A szennyezett talaj kémiai jellemzői: CaCO_3 13.8%, pH_{KCl} 7.05, szerves C 2.9 %, magas Pb, Zn, Cd, Cu (2890, 1760, 28, 1200 mg/kg)-tartalom. A cserepes vizsgálatokban a következő 14 fajt vizsgáltuk: retek, violás repcsény, sárga viola, kukorica, sóska, kerti laboda, szagos here, póréhagyma, metélőhagyma, körömvirág, oroszslánszaj, fűz, bodza, fekete bodza). A műanyag edényekben nevelt növényeket a kelés után 30. ill. 60. napon takarítottuk be, majd elkülönítettük a hajtást és a gyökeret.

A szabadföldi kísérlet helye Gyöngyösorszi déli részén, a meddőhányó üledékét hozó Toka patak mentén található. Jellemzően a patakhoz közeli szennyezett területrezen a talaj Cd, Cu, Pb és Zn koncentráció igen magas (≥ 18.0 , 276, ≥ 955 , ≥ 3082 mg/kg). Kilenc, a környék természetes vegetációjában gyakori vagy termesztésbe vont növényfajt vizsgáltunk (repce, torma, fűz, kukorica, laboda, aranyvessző, amaránt, akác, angol perje).

Minta előkészítés és kémiai analízis

A növénymintákat (hajtás és gyökér) elkülönítettük, enyhe desztillált vizes mosás után 70°C szárítottuk súlyállandóságig. Az elemtartalmat a talajmintákból („összes”: királyvizes kivonás után - MSZ 21470-50:1998, a „felvehető”: ecetsav + NH_4 -acetát + EDTA-val történő kivonás után -MSZ 20135: 1999), míg a növényeknél HNO_3 -mal történő roncsolás után ICP –vel határoztuk meg.

Statisztikai analízis

Az adatokból átlagot és variancia analízist (ANOVA) vagy t-próbát számoltunk. A bioakkumulációs tényezőt a növényi részek és a talaj nehézfém-koncentrációjának hányadosaként, nehézfémeként számoltuk ki.

Eredmények és értékelésük

Korábbi munkáink eredményeként igazoltuk, hogy a magasabb hőmérséklet, az alacsonyabb pH-érték szignifikánsan növeli a növényi hajtások kadmium és cink tartalmát. A környezeti feltételek változására a növényfajok reakciója is különböző: a sóskában ugyanis a kadmium, míg a kukoricában a cinktartalom változott nagyobb mértékben (1. Táblázat; Mathe-Gaspar and Anton 2002; Anton and Mathe-Gaspar 2005).

1. Táblázat. Hőmérséklet és pH hatása két növény hajtásának elemtartalmára

mg/kg hajtás	pH 7,05 15/10 °C	pH 7,05 25/15 °C	pH 5,2 25/15 °C
Cd, sóska	7,5	28,8	48,2
Zn, kukorica	210	1012	2155

Ugyancsak eltérő a növényfajok kelési %-a és növekedése, azaz a faj érzékenysége eltérő hőmérsékleten, pH-értéken (Mathe-Gaspar and Anton 2002; Anton and Mathe-Gaspar 2005).

A növényfajok fontos jellemzője fitoremediációs szempontból a “bioakkumulációs faktor”, melynek értéke a növényi felvételen és transzlokáción (hajtás, gyökér) túl a talaj adott elemtartalmának is függvénye (1. táblázat).

2. Táblázat Négy jellegzetesen eltérő növényfaj „Bioakkumulációs faktor” értékei a szabadföldi vizsgálatok alapján

Növényfaj	Növényi rész	Bioakkumulációs faktor			
		Cd	Cu	Pb	Zn
káposztarepce	gyökér	1.43	0.61	0.43	0.74
	hajtás	0.47	0.07	0.00	0.36
fűz	gyökér	3.12	0.76	0.20	1.03
	hajtás	3.40	0.06	0.00	1.23
kukorica	gyökér	2.94	1.01	0.06	0.37
	hajtás	0.39	0.07	0.01	0.45
torma	gyökér	0.17	0.03	0.00	0.14
	hajtás	0.18	0.02	0.00	0.06

Az egyes növényi részek eltérő elemtartalmának fitoremediációs szempontból egyéb jelentősége is van. A gyökér és hajtás eltérései valamennyi növényfajra vonatkozóan fontos jellemzők (1. táblázat), míg a szár és levél elemtartalmának különbségei elsősorban a fajok alkalmazásánál nyer különös fontosságot. Feltétlenül meg kell említenünk azt, hogy pl. a fűzfánál a levélzet Zn-tartalma több, mint 4-szerese a fás vesszőének. Erre tehát külön technológiai változat alakítható ki.

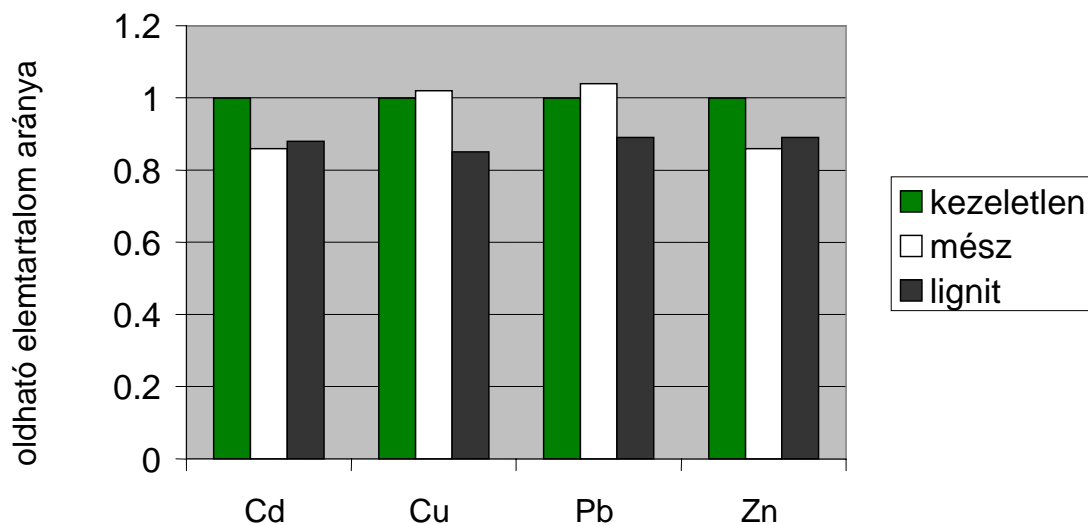
A vizsgálatba vont növényfajokat nehézfém-érzékenységük és felvételük alapján értékeltük. A csoportosításhoz a fajokkal kapcsolatos valamennyi eredményünket összegeztük, így a korábbi részeredményeket is (Mathe-Gaspar and Anton 2002; Máthéné et al. 2004/a,b,; Máthéné és Anton 2004; Anton and Mathe-Gaspar 2005, Mathe-Gaspar and Anton 2005/a ,b; Mathe-Gaspar et al. 2005).

1. a, Akkumuláló és toleráns fajok: pl. kukorica (Zn), fűz (Cd, Zn)
b, Akkumuláló és közepesen toleráns fajok: pl. retek (Cd, Zn), sóska (Cd, Cu, Zn), póréhagyma (Cd, Pb, Zn)
c, Akkumuláló és érzékeny fajok: pl. fekete bodza (Pb), körömvirág (Zn).
2. a, Közepesen akkumuláló és toleráns fajok: pl. kerti laboda (Cd, Zn), aranyvessző (Cd, Zn)
b, Közepesen akkumuláló és közepesen toleráns fajok: pl. amaránt,
c, Közepesen akkumuláló és érzékeny fajok: szagos here
3. a, Nem akkumuláló és toleráns fajok: pl. torma vagy angol perje
b és c, Nem akkumuláló és közepesen vagy erősen érzékeny fajok: pl. akác és juhar.

Eredményeink alapján kiválaszthatók a Gyöngyösorosziban végzendő fitoremediációs technológia számára legmegfelelőbb növényfajok: a fitoextrakcióhoz elsősorban az 1.a vagy b csoport növényfajai, míg a fitostabilizációhoz a 3.a csoport fajai a legalkalmasabbak.

Szabadföldi kísérleteinkbe bevontuk a nehézfémek mobilitását, felvehetőségét csökkentő egyes kémiai stabilizálószer alkalmazását is (1. Ábra).

1. Ábra. Mészhidrát(1%) és lignit(5%) adagolásának hatása a talaj LE-oldható elemtartalmára



Köszönetnyilvánítás

Szerzők köszönetet mondanak a Magyar Nemzeti Kutatási Fejlesztési Program (NKFP3-020/2005), a GVOP (AKF 0257 és AKF 0261) és a Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) (T 042778 és T 038280) támogatásáért.

Irodalmi hivatkozások

- Alvarez, PJ, Illman WA (2005) Bioremediation and natural attenuation: process fundamentals and mathematical models. Wiley-Interscience Inc., New York, US
- Anton A, Mathe-Gaspar G (2005) Factors affecting Heavy metal Uptake in Plant Selection for Phytoremediation. *Z Naturforschung* 60c:244-246.
- Baker, A.J.M, 1981. Accumulators and excluders –strategies in response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3, 643-654.
- Baker AJM, McGrath SP, Sidoli CMD, Reeves RD (1994) The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Resource, Conservation and Recycling* 11:41-49.
- Brooks RR (1998) Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archeology, Mineral Exploration and Phytomining. CAB Internat, New York
- Csathó P. (1994) Nehézfém- és egyéb toxikuselem-forgalom a talaj-növény rendszerben. *Agrokémia és Talajtan, Szemle*, 43: (3-4) 371-398.
- Csillag J., Pártay G., Lukács A., Bujtás K., Németh T. (1999) Extraction of soil solution for environmental analysis. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 74: (1-4) 305-324.
- Deram A, Petit D, Robinson B, Brooks RR, Gregg P, vanHalluvyn Ch (2000) Natural and induced heavy-metal accumulation by *Arrhenatherum elatius*: Implications for phytoremediation. *Commun Soil. Sci Plant Anal* 31:413-421.
- Horvath B, Gruiz K (1996) Impact of metalliferous ore mining activity on the environment in Gyöngyösorsózi. Hungary. *The Science of the Total Environment* 184:215-227.
- Kádár I., (1995) A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon (KTM-MTA TAKI), Budapest, 387
- Kádár I, Kastori R, Bernáth J (2003) Effect of Microelement Loads on Rape Grown on Calcareous Chernozem Soil. (hungarian) *Agrokémia Talajtan (Agrochem Soil Sci)* 52:347- 362.
- Klang-Westin, E., Perttu, K. (2002) Effects of nutrient supply and soil cadmium concentration on cadmium removal by willow. *Biomass and Bioenergy*, 23: (6) 415-426.
- Kumar, B.A.N., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I., (1995) Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ Sci Technol* 29:1232-1238.
- Lehoczky É, Marth P, Szabados I, Szomolányi A (2000) The cadmium uptake by lettuce on contaminated soils as influenced by liming. *Commun Soil Sci Anal* 31:2433-2438.

- Máthé-Gáspár G, Anton A. (2002) Heavy metal uptake by two radish varieties. *Acta Biologica Szegediensis* 46, 113-114.
- Máthéné Gáspár G., Szabó L., Anton A., Máthé P., Orgoványi B. (2004/a): Kadmiumszennyezés utóhatása a talajra és növényekre egy barna erdőtalajon, *Agrokémia és Talajtan*, 53, (1-2) 143-154.
- Máthéné Gáspár G., Szabó L., Anton A., Máthé P., Orgoványi B. (2004/b): Cink- és krómszennyezés hatása tartamkísérlet talaján. *Növénytermelés*, 2004; 53: (1-2) 97-105.
- Máthéné G.G., Anton A. 2004. Toxikus elem-szennyeződés káros hatásainak mérséklése fitoremediációval. (szemle) *Agrokémia és Talajtan*, 53 (3-4): 413-432.
- Máthé-Gáspár, G., Anton A. (2005/a) Phytoremediation study: Factors influencing heavy metal uptake of plants. *Acta Biologica Szegediensis*. 49, 1-2, 70-71.
- Máthé-Gáspár, G., Anton A. (2005/b) Study of phytoremediation by use of willow and rape. *Acta Biologica Szegediensis*, 49, 1-2, 73-74.
- Németh T, Molnár E, Csillag J, Bujtás K, Lukács A, Pártay G (1993) Fate and Plant Uptake of Heavy Metals in Soil-Plant Systems Studied on Soil Monoliths. *Agrokémia és Talajtan*, 42: (1-2) 195-207.
- Simon L., (1999) Fitoremediáció. In: Simon L.(szerk.) *Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató*, 5. Kötet, Budapest, 221, 178-185.