

Gyomfajok fémakkumulációjának vizsgálata szennyezett területen

Tőzsér Dávid

Debreceni Egyetem, Ökológiai Tanszék
4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

e-mail: tozser.david@windowslive.com

Összefoglaló: A növényzetnek fontos szerepe van a szennyezett talajok kezelésében. Munkánk során Cr, Cu, Ni, Pb, Sr és Zn fémekkel közepesen és erősen szennyezett területeken fehér libatop (*Chenopodium album* L.) és kaporlevelű ebszékfű (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) egyedek Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr és Zn koncentrációját vizsgáltuk a gyökerekben, szárban és levelekben. Tanulmányoztuk továbbá a talajminták és az egyes növényi szervek fémkoncentrációja közötti korrelációt. Megállapítottuk, hogy mindkét faj fémfelvételi képessége mérsékelt volt. A növényi szervek közül a legnagyobb Ca, K, Mg, Mn, Sr és Zn koncentrációt a levelekben találtuk. Emellett korrelációt mutattunk ki a talajok és a növények Al, Ca, Cr Cu, Fe, Mg, Ni, Pb és Sr koncentrációja között. Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a fehér libatop és a kaporlevelű ebszékfű alkalmasak lehetnek a fémszennyezés csökkentésére. Ez elsősorban föld feletti növényi szerveik fémakkumulációja révén valósulhat meg.

Kulcsszavak: fém, bioakkumuláció, *Chenopodium album*, *Tripleurospermum inodorum*, gyomfajok, növényi szervek

Bevezetés

A nem megfelelő talajhasználat okozta szennyeződések elkerülése és csökkentése világszintű kihívást jelent (Hoefler *et al.* 2015). A károsodások egyik fő megnyilvánulási formája a talajok fizikai és kémiai összetételében történő változás (Ishikawa *et al.* 2014). A kémiai elemek háttér-koncentrációtól való jelentős eltérése toxikus hatással lehet a talajjal érintkező élőlényekre, mely végső soron akár az élőlények pusztulását is eredményezheti (Mahar *et al.* 2016). Bizonyos növényfajok képesek a szennyező anyagokat növényi szerveikben a nélkül felhalmozni, hogy életfolyamataikban vagy egészségi állapotukban számottevő hanyatlás következne be. Erre az előnyös növényi tulajdonságra alapozva a szennyező anyagokkal (pl. fémekkel) terhelt talajok alternatív, környezetkímélő módszerekkel történő megtisztításának módja lehet a fitoremediáció (Vangronsveld *et al.*

2009), ezen belül a szennyező anyagok növényi felvételén alapuló fitoextrakció (Zimmer *et al.* 2009).

A fitoextrakciós folyamat során specifikus növényi jellemzők érvényesülnek, így a remediációban az ezek birtokában lévő fajok a legsikeresebbek. Ezek közé tartozik a nagymértékű fémtolerancia, gyors növekedés (nagy biomassza-hozam) és kiterjedt gyökérzóna, mely vonások elsősorban fás szárú növényfajokra jellemzőek (Kacálková *et al.* 2015, Tózsér *et al.* 2017). Ezek mellett azonban az utóbbi évek kutatásai nagy hangsúlyt fektettek a természetes vegetációban tömegesen előforduló lágy szárú fajok fémaakkumulációjának vizsgálatára (Bandiera *et al.* 2016).

Fémfelvételi potenciáljuk szempontjából a Chenopodiaceae család fajai, közülük is főként a jó stressztűrő képességgel rendelkező fehér libatop (*Chenopodium album* L.) számos kutatás tárgyát képezték (Hu *et al.* 2012). Korábbi tanulmányokban Parisien *et al.* (2015) igazolták, hogy a faj a talajok kis és nagy fokú fémszennyezettsége mellett egyaránt képes volt a Fe, Mn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb és Zn jelentős mértékű akkumulációjára. Gupta & Sinha (2007) a felsorolt fémek esetében ugyanerre a megállapításra jutottak. Bhargava *et al.* (2008) a Fe, Cd és Cu esetében mutattak ki jelentős akkumulációt a fehér libatopban, így a szerzők a faj remediációs alkalmazását egyértelműen javasolták.

A kaporlevelű ebszékfű (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) egynyári, bizonyos körülmények mellett évelő faj (Kay 1994). Korábban a faj gyökereinek Cu-adszorpciós képességét Dousset *et al.* (2001) vizsgálták. Ezen kívül eddig nem készült olyan tanulmány, mely átfogóan vizsgálta volna a kaporlevelű ebszékfű fémfelvételi képességét. Ezzel ellentétben számos publikáció készült a rokon *Matricaria* fajokról, legnagyobb számban az igazoltan jó akkumuláló orvosi székfűről (*Matricaria chamomilla* vagy *Matricaria recutita*) (Armendariz *et al.* 2014, Stanojkovic-Sebic *et al.* 2015). Érdemes megjegyezni, hogy a *Tripleurospermum* és *Matricaria* fajok taxonómiai besorolása igen vitatott (Applequist 2002). Példaként a *Tripleurospermum inodorum* fajra gyakran *Matricaria inodora* megnevezéssel hivatkoznak (Samatadze *et al.* 2014).

Munkánk során arra kerestük a választ, hogy a két gyomfaj milyen mértékben alkalmas fémekkel mérsékelten és erősen terhelt talajok szennyezettségének csökkentésére. Hipotézisünk szerint mindkét faj kedvező fémaakkumulációs potenciállal rendelkezik. Hipotézisünk volt továbbá, hogy különbség jelentkezik a fajok növényi szerveinek fémkoncentrációja között; a koncentrációk maximumát a fehér libatop leveleiben, és a kaporlevelű ebszékfű gyökereiben feltételeztük.

Módszerek

Vizsgálati területként a Debrecen délnyugati határában elhelyezkedő Lovász-zugi tórendszert választottuk (47°29'000"É, 21°35'738"K). A 26 ha kiterjedésű terület az 1930-as évektől egészen az ezredfordulóig kulcsszerepet töltött be a város kommunális szennyvíztisztítási folyamatában, majd rekultivációs munkálatok színtere lett (Tőzsér *et al.* 2017b).

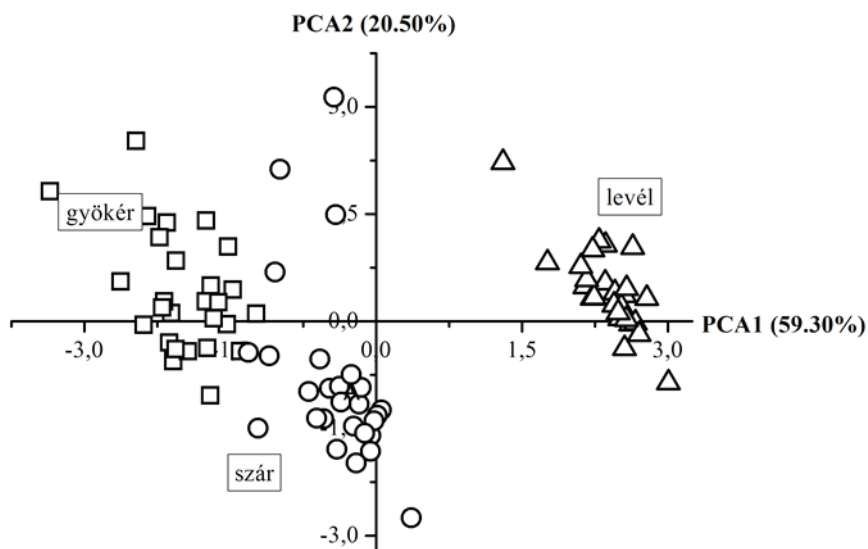
A növényi mintavételt a vizsgált terület három eltérő mértékben szennyezett (északi – mérsékelten szennyezett 1-es; középső – erősen szennyezett 2-es; déli – mérsékelten szennyezett 3-as) részéről 2015 szeptemberében végeztük el. A fehér libatop és a kaporlevelű ebszékfű esetében is 5-5 db egyedet gyűjtöttünk, a korábban végzett talajtani vizsgálatok 10 méteres sugarú körzetéből (Tőzsér *et al.* 2018). A minták laboratóriumi feldolgozását Simon *et al.* (2011, 2012, 2014, 2016) munkáiban közölt módszerek alapján végeztünk. Az alábbi fémek koncentrációja került meghatározásra mikrohullámú plazma atomemissziós spektrométer (MP-AES) készülékkel: Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr és Zn.

A statisztikai analízis során számításainkat a fémkoncentrációk természetes alapú logaritmusával (ln) végeztük. A varianciák homogenitását Levene-teszttel vizsgáltuk. A gyomfajok, a különböző szennyezettségű területek és a növényi szervek közötti fémkoncentrációk közötti különbségek megállapítására általános lineáris modellen alapuló variancia-analízist (GLM ANOVA) használtunk.

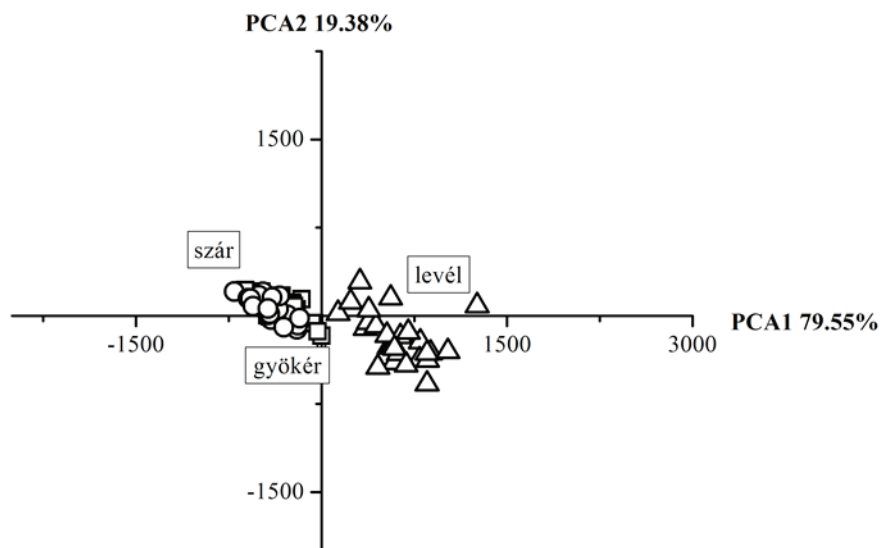
Eredmények

A fehér libatop növényi szerveinek főkomponens-analízissel (PCA) történő vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a gyökerek, szár és levelek fémkoncentrációja az egyes megvizsgált területrészek között jelentősen különbözött (1. ábra). A kaporlevelű ebszékfű főkomponens-analízise azt mutatta, hogy az egyedek leveleinek fémkoncentrációja jelentősen eltért a gyökerek és a szár fémkoncentrációjától (2. ábra).

A GLM-analízis eredményei alapján a két faj között, a növényi szervek között és a vizsgált területek között is szignifikáns ($p < 0,05$) különbségeket tapasztaltunk (1. és 2. táblázat). A K és Mg a fehér libatop, míg az Al, Fe, Mn és Na a kaporlevelű ebszékfű egyedekben volt jelen szignifikánsan nagyobb koncentrációban. A növényi szervek között az Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr és Zn esetében volt szignifikáns különbség. Az egyes területrészek között pedig



1. ábra: A fehér libatop egyedek növényi szerveiben mért elemkoncentrációk (mg kg^{-1}) főkomponens-analízise. Jelölések: négyszög – gyökér; kör – szár; háromszög – levél.



2. ábra: A kaporlevelű ebszékfű egyedek növényi szerveiben mért elemkoncentrációk (mg kg^{-1}) főkomponens-analízise. Jelölések: négyszög – gyökér; kör – szár; háromszög – levél.

az Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ba és Zn esetén tapasztaltunk szignifikáns eltérést a növények fémkoncentrációja alapján.

A fehér libatop egyedek esetében megállapítottuk, hogy a Ca, K, Mg, Mn, Sr és Zn a levelekben szignifikánsan ($p < 0,05$) nagyobb koncentrációban volt jelen, mint a gyökerekben és a szárban. A Fe és Cu esetében ugyanezen mintázatot csupán az erősen szennyezett 2-es területrészen sikerült megfigyelni. Az Al és Ba kapcsán a szárban találtuk szignifikánsan a legkisebb koncentrációkat. A Cd koncentrációja minden esetben a kimutatási határérték alatt ($0,01 \text{ mg kg}^{-1}$) volt.

A kaporlevelű ebszékfű egyedek növényi szervei esetében azt tapasztaltuk, hogy az Al, Ba, Cr és Pb koncentrációja a gyökerekben volt szignifikánsan ($p < 0,05$) a legnagyobb. A Ca, K, Mg és Mn a levelekben halmozódott fel szignifikánsan a legnagyobb koncentrációban. A Fe, Na, Cu, Ni és Sr koncentrációja a szárban volt a legkisebb, viszont nem szignifikáns mértékben. A Zn valamennyi növényi szervben hasonló mértékben akkumulálódott. A Cd koncentrációja e faj esetében is kimutatási határérték alatti volt.

A talajminták és a fehér libatop növényi szerveinek fémkoncentrációja között a mérsékelt szennyezett 1-es területrészen szignifikáns ($p < 0,05$) korreláció nem mutatkozott. Az erősen szennyezett 2-es területrészen szignifikáns negatív korreláció jelentkezett az Al ($r = -0,700$, $p = 0,036$), Fe ($r = -0,683$, $p = 0,042$) és Pb ($r = -0,798$, $p = 0,010$) esetében. A mérsékelt szennyezett 3-as területrészen szignifikáns pozitív korrelációt igazoltunk a Cr ($r = 0,733$, $p = 0,025$) és Ni ($r = 0,733$, $p = 0,025$), illetve szignifikáns negatív korrelációt az Al ($r = -0,783$, $p = 0,013$), Mg ($r = -0,717$, $p = 0,030$) és Ba ($r = -0,731$, $p = 0,025$) vizsgálatokor.

A talajminták és a kaporlevelű ebszékfű növényi szerveinek fémkoncentrációja között a mérsékelt szennyezett 1-es területrészen szignifikáns ($p < 0,05$) pozitív korrelációt találtunk a Fe ($r = 0,683$, $p = 0,042$) esetében. Az erősen szennyezett 2-es területrészen szignifikáns negatív korrelációt a Ca ($r = -0,717$, $p = 0,030$) és Cu ($r = -0,883$, $p = 0,002$), míg szignifikáns pozitív korrelációt a Sr ($r = 0,733$, $p = 0,025$) vizsgálatokor jeleztünk. A mérsékelt szennyezett 3-as területrészen szignifikáns negatív korrelációt találtunk az Al ($r = -0,667$, $p = 0,050$) esetében.

Értékelés

Munkánk során megállapítottuk, hogy a fehér libatop egyedek fémkoncentrációja általánosan kicsi volt. Vizsgálati területünkhöz hasonló talajbéli Cd-koncentráció mellett Parisien *et al.* (2015) $0,7\text{--}4,4 \text{ mg kg}^{-1}$ fémkoncentrációkat jeleztek, ellentétben az általunk tapasztalt kimutatási határérték alatti koncentrációkkal. A Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Pb és Zn ugyancsak vizsgálatunkhoz hasonló talajkoncent-

1. táblázat. A fehér libatop egyedek növényi szerveinek elemkoncentrációja (mg kg^{-1} , átlag \pm SE).

Elem	Mérsékelt szennyezett 1-es (északi) rész				Erősen szennyezett 2-es (középső) rész				Mérsékelt szennyezett 3-as (déli) rész			
	Gyökér	Szár	Levél		Gyökér	Szár	Levél		Gyökér	Szár	Levél	
Al	4,99 \pm 0,61	1,99 \pm 0,54	3,54 \pm 0,60		6,39 \pm 2,13	1,14 \pm 0,15	2,93 \pm 0,29		17,6 \pm 3,91	1,23 \pm 0,20	5,20 \pm 1,77	
Ba	0,12 \pm 0,01	0,09 \pm 0,00	0,16 \pm 0,01		0,14 \pm 0,02	0,14 \pm 0,01	0,27 \pm 0,02		0,22 \pm 0,03	0,13 \pm 0,01	0,22 \pm 0,02	
Ca	77,6 \pm 6,67	161 \pm 19,6	926 \pm 27,4		75,3 \pm 9,25	310 \pm 94,8	1008 \pm 56,1		69,3 \pm 11,6	141 \pm 17,1	855 \pm 88,5	
Cr	0,08 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01	0,06 \pm 0,02		0,08 \pm 0,03	0,03 \pm 0,01	0,02 \pm 0,00		0,13 \pm 0,03	0,02 \pm 0,00	0,03 \pm 0,01	
Cu	0,40 \pm 0,02	1,98 \pm 1,69	0,52 \pm 0,02		0,37 \pm 0,01	0,31 \pm 0,01	0,52 \pm 0,02		0,44 \pm 0,01	0,37 \pm 0,01	12,2 \pm 11,7	
Fe	4,92 \pm 0,60	5,44 \pm 3,32	6,61 \pm 0,51		5,88 \pm 1,82	2,12 \pm 0,20	6,52 \pm 0,49		15,0 \pm 3,39	1,99 \pm 0,18	29,6 \pm 23,6	
K	942 \pm 39,5	2226 \pm 114	2922 \pm 87,8		976 \pm 26,1	2561 \pm 178	3074 \pm 74,5		957 \pm 53,7	2580 \pm 166	2983 \pm 116	
Mg	76,7 \pm 3,53	103 \pm 6,36	1010 \pm 41,7		66,7 \pm 2,77	127 \pm 27,7	916 \pm 31,2		88,4 \pm 5,29	144 \pm 20,0	1229 \pm 62,3	
Mn	0,51 \pm 0,03	0,47 \pm 0,03	1,29 \pm 0,09		0,56 \pm 0,07	0,55 \pm 0,04	1,73 \pm 0,10		1,31 \pm 0,23	0,90 \pm 0,14	4,94 \pm 1,46	
Na	40,7 \pm 8,04	13,0 \pm 6,39	22,4 \pm 18,0		26,4 \pm 11,3	92,0 \pm 74,4	3,60 \pm 0,65		44,9 \pm 15,6	28,3 \pm 21,7	10,2 \pm 4,72	
Ni	0,03 \pm 0,01	0,02 \pm 0,01	0,09 \pm 0,05		0,04 \pm 0,01	0,06 \pm 0,04	0,04 \pm 0,01		0,08 \pm 0,02	0,03 \pm 0,01	0,04 \pm 0,01	
Pb	0,08 \pm 0,00	0,08 \pm 0,00	0,03 \pm 0,00		0,10 \pm 0,04	0,07 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01		0,06 \pm 0,00	0,07 \pm 0,00	0,06 \pm 0,01	
Sr	0,85 \pm 0,04	1,56 \pm 0,07	2,82 \pm 0,08		0,82 \pm 0,04	1,81 \pm 0,15	3,00 \pm 0,17		1,00 \pm 0,08	1,57 \pm 0,09	3,16 \pm 0,24	
Zn	1,71 \pm 0,12	1,46 \pm 0,09	5,92 \pm 0,32		1,57 \pm 0,10	1,39 \pm 0,08	5,70 \pm 0,49		1,29 \pm 0,09	1,08 \pm 0,09	2,77 \pm 0,24	

2. táblázat. A kaporlevelű ebszékfű egyedek növényi szerveinek elemkoncentrációja (mg kg^{-1} , átlag \pm SE).

Elem	Mérsékelt szennyezett 1-es (északi) rész				Erősen szennyezett 2-es (középső) rész				Mérsékelt szennyezett 3-as (déli) rész			
	Gyökér	Szár	Levél		Gyökér	Szár	Levél		Gyökér	Szár	Levél	
Al	19,5 \pm 2,76	7,18 \pm 1,97	11,0 \pm 1,29		37,4 \pm 6,86	7,48 \pm 1,30	6,80 \pm 0,94		28,3 \pm 3,40	6,63 \pm 0,80	16,2 \pm 5,06	
Ba	0,42 \pm 0,03	0,21 \pm 0,02	0,23 \pm 0,01		0,74 \pm 0,08	0,28 \pm 0,02	0,20 \pm 0,01		0,52 \pm 0,05	0,26 \pm 0,02	0,24 \pm 0,02	
Ca	195 \pm 18,4	113 \pm 12,0	825 \pm 327		208 \pm 14,7	169 \pm 15,6	557 \pm 75,8		154 \pm 28,9	122 \pm 20,5	552 \pm 59,5	
Cr	0,23 \pm 0,04	0,15 \pm 0,04	0,09 \pm 0,02		0,37 \pm 0,08	0,12 \pm 0,02	0,06 \pm 0,01		0,20 \pm 0,03	0,06 \pm 0,00	0,08 \pm 0,02	
Cu	0,64 \pm 0,04	0,27 \pm 0,02	0,78 \pm 0,09		0,63 \pm 0,06	0,28 \pm 0,01	0,65 \pm 0,03		0,54 \pm 0,04	0,33 \pm 0,04	22,2 \pm 21,5	
Fe	17,3 \pm 2,47	7,14 \pm 1,87	12,2 \pm 1,16		32,6 \pm 5,95	6,95 \pm 1,07	9,23 \pm 0,98		22,6 \pm 2,63	5,84 \pm 0,85	60,4 \pm 47,8	
K	723 \pm 67,3	568 \pm 48,1	1451 \pm 104		879 \pm 43,2	643 \pm 47,5	1773 \pm 46,5		684 \pm 37,6	714 \pm 43,9	1627 \pm 100	
Mg	49,8 \pm 5,91	31,9 \pm 4,11	256 \pm 59,2		57,4 \pm 5,94	40,2 \pm 5,12	183 \pm 25,4		58,7 \pm 8,41	39,6 \pm 3,68	222 \pm 11,5	
Mn	1,47 \pm 0,15	1,44 \pm 0,22	3,55 \pm 0,60		2,46 \pm 0,27	3,22 \pm 0,55	4,91 \pm 0,53		3,09 \pm 0,40	3,77 \pm 0,69	9,56 \pm 1,30	
Na	169 \pm 7,90	59,2 \pm 13,9	313 \pm 299		107 \pm 13,5	34,7 \pm 12,4	71,9 \pm 67,0		157 \pm 17,0	47,2 \pm 8,81	22,0 \pm 10,6	
Ni	0,10 \pm 0,01	0,12 \pm 0,05	0,07 \pm 0,01		0,18 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02	0,08 \pm 0,02		0,17 \pm 0,01	0,09 \pm 0,01	0,12 \pm 0,02	
Pb	0,16 \pm 0,05	0,05 \pm 0,01	0,06 \pm 0,03		0,12 \pm 0,02	0,04 \pm 0,00	0,03 \pm 0,01		0,06 \pm 0,00	0,03 \pm 0,01	0,05 \pm 0,01	
Sr	1,69 \pm 0,10	1,18 \pm 0,09	1,74 \pm 0,12		1,72 \pm 0,08	1,30 \pm 0,08	1,51 \pm 0,09		1,56 \pm 0,10	1,44 \pm 0,09	1,93 \pm 0,17	
Zn	2,64 \pm 0,23	1,90 \pm 0,18	2,60 \pm 0,41		2,89 \pm 0,22	2,70 \pm 0,32	2,92 \pm 0,28		1,36 \pm 0,11	1,42 \pm 0,07	1,68 \pm 0,21	

rációi mellett Gupta & Sinha (2007) nagyobb koncentrációkat tapasztaltak a faj növényi szerveiben, mint azt eredményeink mutatják. Megjegyzendő, hogy hozánk hasonlóan szintén a levelekben mérték a Fe, Cr, Ni és Pb koncentrációjának maximumát. Nouri *et al.* (2009) szintén az általunk tapasztalt koncentrációktól nagyobb Fe, Mn, Cu és Zn koncentrációkat figyeltek meg. Malik *et al.* (2010) a fehér libatop esetében eredményeinkhez hasonló Pb koncentrációt találtak. Hozánk hasonlóan, veteménybab (*Phaseolus vulgaris* L.) egyedeket vizsgálva Tuma *et al.* (2004) szintén a levelekben igazolták a Ca és Mg legnagyobb koncentrációját. A kutatók ezt a Ca esetén a fém vakuólumokból történő lassú és korlátozott távozására, míg a Mg esetén a fém fotoszintézisben betöltött alapvető szerepére vezették vissza.

A kaporlevelű ebszékfű vizsgálatakor a fehér libatophoz hasonlóan kis akkumulációs potenciált jeleztünk. Geneva *et al.* (2014) orvosi székfű egyedekben az eredményeinktől nagyobb Cu, Pb és Zn koncentrációkat mutattak ki. Lydakissimantiris *et al.* (2012) az orvosi székfű gyökereiben jelentősen nagyobb Ni és Pb akkumulációt figyeltek meg, mint a levelekben, eredményeinkkel ellentétben. Őt lágy szárú faj fémfelvételét elemezve Nwaedozie *et al.* (2015) a föld feletti növényi szervekben nagyobb Mn koncentrációt figyeltek meg, mint a gyökerekben, mely az általunk tapasztaltakkal megegyezik. A munkánk során igazolt nagy gyökérbéli Al koncentrációt lágyszárúak esetén Gordon & Jackson (2000) is bizonyították, melyet a sűrű hajszálgökér-hálózattal magyaráztak. Sharma & Sharma (2013) különböző fafajokat vizsgálva szintén a leveleket találták a fő K raktározó növényi szervnek.

A fehér libatop fémkoncentrációjának talajbéli értékekkel való összefüggésének vizsgálata szignifikáns negatív korrelációt igazolt az Al, Fe, Mg, Ba és Pb esetében. Eredményeinkkel ellentétben Galfati *et al.* (2011) rokon fajoknál a talajjal összevetve szignifikáns pozitív korrelációt igazoltak a Cd, Cu, Ni és Zn kapcsán. Tizenhárom növényfajt, köztük a fehér libatopot vizsgálva Liang *et al.* (2016) eredményeinkkel ellentétben szintén szignifikáns pozitív korrelációt tapasztaltak a Cd, Cu, Pb és Zn esetében. A Cr vizsgálatakor Samantaray *et al.* (2001) szignifikáns pozitív korrelációt találtak a talaj és négy fafaj fémkoncentrációja között.

A kaporlevelű ebszékfű növényi szerveinek vizsgálata során szignifikáns negatív korrelációt az Al, Ca és Cu, míg szignifikáns pozitív korrelációt a Fe és Sr mutatott. Lydakissimantiris *et al.* (2012) megfigyelték, hogy növekvő talajbéli Cd, Ni és Pb koncentráció hatására az orvosi székfű egyedek növényi szerveinek fémkoncentrációja is emelkedett. Grejtovský *et al.* (2006) ugyanezen faj kapcsán, a Zn esetében figyeltek meg hasonló trendet. Eredményeink ezzel szemben azt mutatták, hogy a fémek talajbéli koncentrációjának csekély hatása van a növények által felvett koncentrációkra. Nouri *et al.* (2009) és Yoon *et al.* (2006) szá-

mos különböző növényfaj vizsgálatok az eredményeinket alátámasztó gyenge korrelációkról számoltak be.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a fehér libatop és a kaporlevelű ebszékfű egyaránt alkalmas lehet fémekkel szennyezett talajok környezeti kockázatának csökkentésére a toxikus elemek fitoakkumulációjával. A talajban és a növényi szervekben található fémkoncentrációk között több esetben is szignifikáns korrelációt tapasztaltunk. A két faj fitoextrakciós célú alkalmazását főként mérsékelt szennyezett talajokon javasoljuk, mely során valamennyi növényi szerv betakarítására (beleértve a növényen és a talajon lévő leveleket is) nagy hangsúlyt kell fektetni.

Köszönetnyilvánítás – Munkánk megvalósulását a „Nemzet Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj” című, NTP-NFTÖ-17-B kódjelű pályázat támogatta.

Irodalomjegyzék

- Applequist, W. I. (2002): A reassessment of the nomenclature of *Matricaria* L. and *Tripleurospermum* Sch. Bip. (Asteraceae). – *Taxon* **51**: 757–761. doi: <https://doi.org/10.2307/1555032>
- Armendariz, M. D. R., Abellan, T. R., Gonzalez-Weller, D., Gonzalez, G. L., Fernandez, A. J. G. & de la Torre, A. H. (2014): Metals (Al, Mn, Sr, Cd and Pb) in phytopharmaceuticals (*Matricaria recutita*, *Tilia officinalis* and *Salvia officinalis*). – *Toxicol. Lett.* **229**: S182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.06.621>
- Bandiera, M., Dal Cortivo, C., Barion, G., Mosca, G. & Vamerali, T. (2016): Phytoremediation opportunities with alimurgic species in metal-contaminated environments. – *Sustainability-Basel*. **8**: 357. doi: <https://doi.org/10.3390/su8040357>
- Bhargava, A., Shukla, S., Srivastava, J., Singh, N. & Ohri, D. (2008): *Chenopodium*: a prospective plant for phytoextraction. – *Acta Physiol. Plant.* **30**: 111–120. doi: <https://doi.org/10.1007/s11738-007-0097-3>
- Dousset, S., Morel, J. L., Jacobson, A. & Bitton, G. (2001): Copper binding capacity of root exudates of cultivated plants and associated weeds. – *Biol. Fert. Soils*. **34**: 230–234. doi: <https://doi.org/10.1007/s003740100404>
- Galfati, I., Bilal, E., Béji Sassi, A., Abdallah, H. & Zaïer, A. (2011): Accumulation of heavy metals in native plants growing near the phosphate treatment industry, Tunisia. – *Carp. J. Earth Env.* **6**: 85–100.
- Geneva, M., Markovska, Y., Todorov, I. & Stancheva, I. (2014): Accumulation of Cd, Pb, Zn and antioxidant response in chamomile (*Matricaria recutita* L.) grown on industrially polluted soil. – *Genet. Plant Physiol.* **4**: 131–139.
- Gordon, W. S. & Jackson, R. B. (2000): Nutrient concentrations in fine roots. – *Ecology* **81**: 275–280. doi: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[0275:NCIFR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[0275:NCIFR]2.0.CO;2)
- Grejtovský, A., Markušová, K. & Eliašová, A. (2006): The response of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) plants to soil zinc supply. – *Plant Soil Environ.* **52**: 1–7.
- Gupta, A. K. & Sinha, S. (2007): Phytoextraction capacity of the *Chenopodium album* L. grown on soil amended with tannery sludge. – *Bioresour. Technol.* **98**: 442–446. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.015>

- Hoefler, C., Santner, J., Puschenreiter, M. & Wenzel, W. W. (2015): Localized metal solubilization in the rhizosphere of *Salix smithiana* upon sulfur application. – *Envir. Sci. Tech.* **49**: 4522–4529. doi: <https://doi.org/10.1021/es505758j>
- Hu, R., Sun, K., Su, X., Pan, Y. X., Zhang, Y. F. & Wang, X. P. (2012): Physiological responses and tolerance mechanisms to Pb in two xerophils: *Salsola passerina* Bunge and *Chenopodium album* L. – *J. Hazard. Mater.* **205–206**: 131–138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.051>
- Ishikawa, Y., Sato, S., Kurimoto, Y., Yamada, H., Hayakawa, A. & Hidaka, S. (2014): Preliminary study of phytoremediation and biomass production by *Salix* species on abandoned farmland polluted with heavy metals. – *J. Arid Land Stud.* **23–24**: 167–172.
- Kacálková, L., Tlustoš, P. & Száková, J. (2015): Phytoextraction of risk elements by willow and poplar trees. – *Int. J. Phytoremediat.* **17**: 414–421. doi: <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.910171>
- Kay, Q. O. N. (1994): *Tripleurospermum inodorum* (L.) Schultz Bip. – *J. Ecol.* **82**: 681–697. doi: <https://doi.org/10.2307/2261275>
- Liang, S. X., Gao, N., Li, Z. C., Shen, S. G. & Li, J. (2016): Investigation of correlativity between heavy metals concentration in indigenous plants and combined pollution soils. – *J. Chem. Ecol.* **32**: 872–883. doi: <https://doi.org/10.1080/02757540.2016.1203909>
- Lydakakis-Simantiris, N., Skoula, M., Fabian, M. & Naxakis, G. (2012): Cultivation of medicinal and aromatic plants in heavy metal-contaminated soil – Exploitation with caution. 3rd International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management, Crete, September 2012.
- Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M. K., Lahori, A. H., Wang, Q., Li, R. & Zhang, Z. (2016): Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. – *Ecotox. Environ. Safe.* **126**: 111–121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023>
- Malik, R. N., Husain, S. Z. & Nazir, I. (2010): Heavy metal contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad, Pakistan. – *Pak. J. Bot.* **42**: 291–301.
- Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, A. H. & Yousefi, N. (2009): Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. – *Environ. Earth Sci.* **59**: 315–323. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0028-2>
- Nwaedozie, G. C., Mohammed, Y., Faruruwa, D. M., Nwaedozie, J. M. & Esekhaagbe, R. O. (2015): Evaluation of accumulation ability for Pb, Cr, Ni, and Mn in native plants growing on a contaminated air force shooting range, Kaduna. – *Glob. J. Sci. Front. Res. B.* **15**.
- Parisien, M. A., Rutter, A. & Zeeb, B. A. (2015): Feasibility of using phytoextraction to remediate a compost-based soil contaminated with cadmium. – *Int. J. Phytoremediat.* **17**: 1137–1143. doi: <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.1003792>
- Samantaray, S., Rout, G. R. & Das, P. (2001): Heavy metal and nutrient concentration in soil and plants growing on a metalliferous chromite minespoil. – *Environ. Technol.* **22**: 1147–1154. doi: <https://doi.org/10.1080/09593332208618204>
- Samatadze, T. E., Amosova, A. V., Suslina, S. N., Zagumennikova, T. N., Mel'nikova, N. V., Bykov, V. A., Zelenin, A. V. & Muravenko, O. V. (2014): Comparative cytogenetic study of the tetraploid *Matricaria chamomilla* L. and *Matricaria inodora* L. – *Biology Bull.* **41**: 109–117. doi: <https://doi.org/10.1134/S1062359013060125>
- Sharma, B. & Sharma, K. (2013): Nutrient accumulation in various plant parts of dominant tree species of three different localities. – *Pak. J. Biol. Sci.* **15–16**: 965–968.
- Simon, E., Baranyai, E., Braun, M., Cserhádi, Cs., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. (2014): Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient. – *Sci. Total Environ.* **490**: 514–520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.028>
- Simon, E., Braun, M., Vidic, A., Bogyó, D., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. (2011): Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbaniza-

- tion gradient in Vienna. – *Environ. Pollut.* **159**: 1229–1233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.034>
- Simon, E., Harangi, S., Baranyai, E., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. (2016): Influence of past industry and urbanization on elemental concentrations in deposited dust and tree leaf tissue. – *Urban For. Urban Gree.* **20**: 12–19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.07.017>
- Simon, E., Vidic, A., Braun, M., Fábíán, I. & Tóthmérész, B. (2013): Trace element concentrations in soils along urbanization gradients in the city of Wien, Austria. – *Environ. Sci. Pollut. R.* **20**: 917–924. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1091-x>
- Stanojkovic-Sebic, A., Pivic, R., Josic, D., Dinic, Z. & Stanojkovic, A. (2015): Heavy metals content in selected medicinal plants commonly used as components for herbal formulations. – *Tar. Bil. Der.* **21**: 317–325. doi: https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001334
- Tözsér, D., Magura, T. & Simon, E. (2017): Heavy metal uptake by plant parts of willow species: A meta-analysis. – *J. Hazard. Mater.* **336**: 101–109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.068>
- Tözsér, D., Harangi, S., Baranyai, E., Lakatos, Gy., Fülöp, Z., Tóthmérész, B. & Simon, E. (2018): Phytoextraction with *Salix viminalis* in a moderately to strongly contaminated area. – *Environ. Sci. Pollut. R.* **25**: 3275–3290. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0699-2>
- Tůma, J., Skalický, M., Tůmová, L., Bláhová, P. & Rosůlková, M. (2004): Potassium, magnesium and calcium content in individual parts of *Phaseolus vulgaris* L. plant as related to potassium and magnesium nutrition. – *Plant Soil Environ.* **50**: 18–26.
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E., van der Lelie, D. & Mench, M. (2009): Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. – *Environ. Sci. Pollut. R.* **16**: 765–794. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0213-6>
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, X. & Ma, L. Q. (2006): Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. – *Sci. Total Environ.* **368**: 456–464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>
- Zimmer, D., Baum, C., Leinweber, P., Hryniewicz, K. & Meissner, R. (2009): Associated bacteria increase the phytoextraction of cadmium and zinc from a metal-contaminated soil by mycorrhizal willows. – *Int. J. Phytoremediat.* **11**: 200–213. doi: <https://doi.org/10.1080/15226510802378483>

Testing of metal accumulation of weeds in contaminated areas

Dávid Tőzsér

Department of Ecology, University of Debrecen

H-4032 Debrecen, Egyetem tér 1, Hungary

e-mail: tozser.david@windowslive.com

In the last few decades, the remediation of contaminated areas with weeds is getting more and more attention. In this work we studied the metal (Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr and Zn) accumulation potential of *Chenopodium album* L. and *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. based on the elemental concentration in roots, stem and leaves. Furthermore, we studied the correlation in metal concentration between soil and plant samples. Our results demonstrated that both species had low metal accumulation potential, compared to results from previous studies. Among plant parts of the species, we found leaves as the main metal accumulator organ. We indicated significant correlations in metal concentration between soil and plant species. We suggested that both *C. album* and *T. inodorum* can be successfully applied as metal accumulators, primarily due to high concentrations in leaves.

Keywords: metal, bioaccumulation, *Chenopodium album*, *Tripleurospermum inodorum*, weed species, plant organs