

**Az orvosi körömvirág (*Calendula officinalis* L.)
és a nagy bársonyvirág (*Tagetes erecta* L.) fitoremediációs
potenciáljának értékelése nehézfémekkel szennyezett talajokon**

MÓNOK DÁVID, KARDOS LEVENTE

Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

E-mail: monokdavid27@gmail.com

Összefoglalás

A nehézfémekkel szennyezett talajok remediációja kiemelt kérdéskör, hiszen potenciális veszélyt jelentenek a környezetre. A fitoremediáció egy környezetkímélő és költség-hatékony technika a szennyezett területek helyreállítására. Dísznövények alkalmazása fitoremediációs eljárások során előnyös lehet, például városi területeken, mivel ezek a növények a környezetet is szépítik. Kutatásunk során a releváns szakirodalmak áttekintésével értékeltük az orvosi körömvirág (*Calendula officinalis* L.) és a nagy bársonyvirág (*Tagetes erecta* L.) fitoextrakciós potenciálját. Ennek során, a korábbi kísérletek eredményei alapján, összehasonlítottuk a két növény nehézfémekre (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) vonatkozó bioakkumulációs faktor (BAF) értékeit, valamint a nehézfémek toxikus hatását a növényi biomasszára. Az eredmények alapján a nagy bársonyvirág alkalmas lehet a Cu, Zn vagy Cd-mal szennyezett területek fitoextrakciójára, mivel ezeket a nehézfémeket képes akkumulálni a szöveiteiben, és jelentős nehézfém terhelés hatására sem csökken nagymértékben a növény biomasszája. Az orvosi körömvirág a Cu, Cd és a Cr-ot képes akkumulálni, azonban jóval érzékenyebb a nehézfémek toxicitására, mint a bársonyvirág. Emiatt ez a növény csak kevésbé szennyezett talajok remediációjára lehet alkalmas.

Kulcsszavak: orvosi körömvirág, nagy bársonyvirág, fitoremediáció, nehézfém

Bevezetés

Számos korábbi kutatás bizonyította, hogy a nehézfémekkel szennyezett talajok jelentős környezeti- és humánegészségügyi kockázattal járnak (Duruibe et al. 2007; Liu et al. 2011a; Liu et al. 2013; Motuzova et al. 2014; Su 2014). Ennek oka, hogy a nehézfémek kémiai vagy biológiailag nehezen bomlanak le, így jelentős mennyiségben halmozódhatnak fel a talaj felső rétegében (Wu et al. 2010; Liu et al. 2013). A nehézfémek egy része (pl.: a Zn és a Cu) kis mennyiségben esszenciális az élő szervezetek számára, míg másik részüknek (pl.: Cd és Pb) nincs ismert biológiai funkciója. Nagy koncentrációban az esszenciális és a nem esszenciális nehézfémek is bekerülhetnek a táplálékláncba, így akár az emberi szervezetbe is, és az élő szervezetek akut vagy krónikus károsodását, végső esetben pedig pusztulását okozhatja (Kumpiene et al. 2008; Nagajyoti et al. 2010; Kirkham 2006). Ezért napjainkban egyre nagyobb figyelem irányul a nehézfémekkel szennyezett területek remediációjára (Liu et al. 2008; Wu et al. 2010; Liu et al. 2017).

A talajok nehézfém-tartalmának csökkentésére különböző fitoremediációs eljárások alkalmazhatók, melyek előnye, hogy költséghatékonyak és környezetkímélők (Han et al. 2007; Lal et al. 2008; Ali et al. 2013; Wan et al. 2016). A közelmúltban számos dísznövény fitoremediációs képességét vizsgálták, melyek olyan területeken jelenthetnek megoldást, ahol a talaj tisztítása mellett fontos a növény esztétikai megjelenése is (pl. városi területek) (Han et al. 2007; Lal et al. 2008; Liu et al. 2008; Nakbanpote et al. 2016; Liu et al. 2017). A dísznövények ilyen jellegű alkalmazása a következő előnyökkel jár (Liu et al. 2008; Nakbanpote et al. 2016; Liu et al. 2017; Noman et al. 2017):

- a táplálékláncon kívül helyezkednek el,
- esztétikai értékkel bírnak (szépítik a környezetet),
- általában nagy biomasszával rendelkeznek,
- nemesítésük során egyre több stressz toleráns és ellenálló fajtát hoznak létre.

Egyes kutatások szerint az őszirózsafélék (*Asteraceae*) családjába tartozó fajok egy része alkalmas lehet nehézfémekkel szennyezett talajok fitoextrakciójára. A fitoextrakció során a nehézfémek a talajból a növény egyszerűen betakarítható földfeletti szerveibe (hajtásába), esetleg a gyökereibe kerülnek (Kumar et al. 1995; Han et al. 2007; Lal et al. 2008). Ennél az eljárásnál kiemelten fontos az adott nehézfémek fitotoxikus hatásainak figyelembevétele, mivel a növényi biomassza jelentős csökkenése rontja a növények fitoextrakciós potenciálját (Ali et al. 2013; Nagajyoti et al. 2010; Kabata-Pendias 2011). A növényi szervezetben nagy mennyiségben felhalmozott nehézfémek gátolják a növények fotoszintézisét, sejtosztódását, vízfelvételt és gyökérképződését, melynek következménye a biomassza csökkenése (Kirkham 2006; Nagajyoti et al. 2010; Kabata-Pendias 2011). A nehézfémek növényi akkumulációját és fitotoxicitását a talaj tulajdonságai is jelentősen befolyásolják. Alacsony pH, kötöttség, és szervesanyag-tartalom esetén a növények általában több nehézfémet akkumulálnak (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011; Mónok és Fülekly 2017).

Jelen cikkünkben, a témához szorosan kapcsolódó szakirodalom kutatási eredményeinek kritikai áttekintését végezzük el. Célunk annak megállapítása, hogy az orvosi körömvirág (*Calendula officinalis* L.), valamint a nagy bársonyvirág (*Tagetes erecta* L.) alkalmas-e különböző nehézfémekkel szennyezett talajok fitoextrakciójára.

A vizsgált növények

Az ázsiai eredetű orvosi körömvirág (*Calendula officinalis*) a *Calendula* nemzetség egyik legismertebb tagja. A körömvirágot elsősorban gyógy- és fűszernövényként alkalmazzák, melynek fő oka a nagy E-vitamin tartalma, valamint a növény görcsoldó, vérzéscsillapító, sebgyógyító és enyhe hashajtó hatása. Emellett a körömvirágot gyakran használják fel egy-éves dísnövényként is (Lelesz és Csajbók 2016; Liu et al. 2017). A növény fitoremediációs hasznosítását elősegíti, hogy viszonylag igénytelen a talaj tulajdonságaira, valamint gyorsan növekedik (6-7 hetes korban már virágozhat). Korábbi kutatások alapján rokon faja a *Calendula alata* alkalmas radioaktív anyagok (pl. cézium) bioakkumulációjára (Borghesi et al. 2011).

A *Tagetes* nemzetség egyik legfontosabb faja hazánkban a nagy bársonyvirág vagy más néven nagy bűdöske (*Tagetes erecta*). Ez a növény a legismertebb egynyári virágok között van, gyakran megtalálható városi parkokban, falusi kertekben. Esztétikai értékét a dekoratív sárga vagy narancssárga virágjai, valamint sötétzöld, szeldelt levelei adják. A körömvirághoz hasonlóan a bársonyvirág is viszonylag igénytelen, gyorsan nő és nagy biomasszát produkál, ami jelentős előny a fitoremediáció során (Bála 2007; Biró 2016).

A kutatás módszertana

A kutatásban olyan irodalmi adatok vizsgálatára és értékelésére került sor, melyek során az általunk kiválasztott növényeket meghatározott dózisu nehézfém-terhelésnek tették ki. A fellelhető irodalmi adatok közül 20 felelt meg (1. táblázat) az általunk meghatározott kritériumoknak:

- az adatok elsődleges kutatásból származnak,
- az alkalmazott tesztalaj nehézfém koncentrációja meghatározott,
- a növény gyökérzetének és hajtásának bioakkumulációs faktora, vagy a gyökérzet és a hajtás adott nehézfém koncentrációja meghatározott,
- a nehézfém toxicitása a növény biomassza produkciójára (friss, esetleg száraz tömegére) meghatározott.

A kutatáshoz felhasznált 2009 és 2018 közötti kísérletekben összesen 6 különböző nehézfém (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) hatását vizsgálták a két kiválasztott növényre. A kísérletek többségében laboratóriumi körülmények között szennyezték a tesztalajt, néhány esetben a talaj valamilyen szennyezett területről származott (Hristozkova et al. 2016; Malarkodi et al. 2008; Nazir et al. 2009), míg Miao et al. (2012) szennyvízzel kezelték a talajt. Egyes kísérletekben a nehézfémeken kívül egyéb kezeléseket is alkalmaztak a növény bioakkumulációjának elősegítése érdekében, pl. Nazir et al. (2009) és Castillo et al. (2011) mikorrhiza gomba kezelést, Malarkodi et al. (2008) pedig hígtrágyás kezelést. Ebben az esetben azonban csak azokat az eredményeket vettük figyelembe az adatok értékelésénél, ahol a nehézfém kezelésen kívül mást nem alkalmaztak.

1. táblázat. A kutatás során felhasznált publikációk

Növény (1)	Nehézfémm (2)	Kezelés (3)	Hivatkozás (4)
Orvosi körömvirág (<i>Calendula officinalis</i>)	Cu	CuSO ₄ : 0-400 mg/kg Cu	Afrousheh et al. (2015a)
	Cu	CuSO ₄ : 0-400 mg/kg Cu	Goswami és Das (2016)
	Cd, Pb	szennyezett talaj: Cd (72,5-94,5 mg/kg), Pb (0,75-1,25 mg/kg) + mikorrhiza gomba	Hristozkova et al. (2016)
	Cd	CdCl ₂ : 0-100 mg/kg Cd	Liu et al. (2008)
	Cd	CdCl ₂ : 0-100 mg/kg Cd	Liu et al. (2011a)
	Pb	Pb(NO ₃) ₂ : 0-200 mg/kg Pb	Rajalakshmi és Sudha (2011)
	Cr	K ₂ Cr ₂ O ₇ : 0-25 mg/kg Cr	Ramana et al. (2013)
	Cd, Pb	Cd(NO ₃) ₂ : 0-80 mg/kg Cd, Pb(NO ₃) ₂ : 0-300 mg/kg Pb	Tabrizi et al. (2015)
Nagy bársonyvirág (<i>Tagetes erecta</i>)	Cu	CuSO ₄ : 0-400 mg/kg Cu	Afrousheh et al. (2015b)
	Cd, Pb	CdSO ₄ : 0-10 mg/kg Cd, Pb(CH ₃ CO ₂) ₂ : 0-1000 mg/kg Pb	Bosiacki et al. (2009)
	Cu	CuO: 0-2500 mg/kg Cu + mikorrhiza gomba	Castillo et al. (2011)
	Cd, Cu	CdCl ₂ : 0-300 mg/kg Cd, CuSO ₄ : 0-400 mg/kg Cu	Goswami és Das (2017)
	Cd	CdCl ₂ : 0-81,4 mg/kg Cd	Lal et al. (2008)
	Cd	CdCl ₂ : 0-50 mg/kg Cd + mikorrhiza gomba	Liu et al. (2011b)
	Ni	szennyezett talaj: 164,5 mg/kg Ni + hígtrágya	Malarkodi et al. (2008)
	Cr	szennyvízzel szennyezett talaj: 0-1025 mg/kg Cr	Miao et al. (2012)
	Cd, Cr, Cu	szennyezett talaj + mikorrhiza gomba	Nazir et al. (2009)
	Cd	CdCl ₂ : 0-400 mg/kg Cd	Rungruang et al. (2011)
	Pb	Pb(NO ₃) ₂ : 0-2500 mg/kg Pb	Shah et al. (2017)
	Cu, Zn, Pb, Cd	CuSO ₄ (0-600 mg/kg), ZnSO ₄ (0-800 mg/kg), Pb(NO ₃) ₂ (0-400 mg/kg), Cd(CH ₃ CO ₂) ₂ (0-4 mg/kg)	Mónok és Kardos (2018)

Table 1. Publications applied in our research. 1. Plant. 2. Heavy metal. 3. Treatment. 4. Reference

Adatértékelési módszerek

A kiválasztott növények fitoextrakciós potenciálját a bioakkumulációs faktor (BAF) értékkel jellemezzük. A BAF érték a tesztközeg (jelen esetben a teszttalaj) és a különböző növényi részek (hajtás, gyökérzet) nehézfém koncentrációjának hányadosa. Ha a BAF érték meghaladja az 1-et, akkor a növény felhalmozza az adott nehézfémet (Malarkodi et al. 2008; Afrousheh et al. 2015). A korábbi kísérletek egy részében kiszámolták ezt az értéket (pl.: Rungruang et al. 2011; Miao et al. 2012; Afrousheh et al. 2015a), míg a többi esetben a talaj és a növényi részek nehézfém koncentrációjából utólag határoztuk meg (pl.: Liu et al. 2008; Lal et al. 2008; Ramana et al. 2013). A kapott BAF értékeket ezek után egy ún. fasor (forest plot) ábrán mutatjuk be, és hasonlítjuk össze.

A nehézfémek toxikus hatását a kiválasztott növényekre a biomasszájuk százalékos csökkenésével jellemezhetjük. A korábbi kutatások (1. táblázat) adatai alapján lineáris korrelációt kerestünk a biomassza százalékos csökkenése, valamint a talaj nehézfém koncentrációja között. Ezt három nehézfém (Cu, Cd, Pb) esetén vizsgáltuk, mivel csak ezek esetében állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű adat. A lineáris összefüggés erősségét a determinációs koefficiens (R^2) értékkel jellemeztük. A kapott eredményeket összevetettük a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben meghatározott ún. (B) szennyezettségi határértékekkel is.

Nehézfémek bioakkumulációja a növényekben

Az orvosi körömvirág a korábbi kutatások alapján képes felhalmozni a Cu-t, Cd-t és a Cr-t a hajtásában, valamint a gyökérzetében is, mivel a BAF értékek meghaladták az 1-et (1. ábra). Goswami és Das (2016) vizsgálatai szerint a körömvirág hajtásában több mint tízszeres lehet a Cu koncentrációja a talajhoz képest, míg Ramana et al. (2013) kísérletei ugyannerre az eredményre jutottak Cr esetében. A Cd azonban elsősorban a növény gyökérzetében képes felhalmozódni (Liu et al. 2008; Liu et al. 2011a; Tabrizi et al. 2015). Az Pb koncentrációja minden esetben kisebb volt a növény hajtásában és gyökérzetében is, mint az adott kísérleti talajban (Rajalakshmi és Sudha 2011; Tabrizi et al. 2015; Hristozkova et al. 2016). Megfigyelhető, hogy egyes nehézfémeknél (Cu, Cd) jelentős különbségek vannak az eredmények között. Hristozkova et al. (2016) vizsgálataiban a növény Cd akkumulációja jelentősen kisebb mértékű (BAF<1,2), mint a többi kísérlet (Liu et al. 2008; Liu et al. 2011a; Tabrizi et al. 2015) esetében. Ennek oka a talaj nagy agyagtartalma (>60%), valamint lúgos kémhatása (7,8-9) lehet, mivel a növények kevesebb Cd-ot vesznek fel az ilyen tulajdonságokkal bíró talajokból (Kirkham 2006; Mónok és Füleký 2017). Réz esetében szintén a talaj tulajdonságai közötti eltérés okozhatja a jelentős különbséget a két vizsgált kísérlet között (Afrousheh et al. 2015a; Goswami és Das 2016).

A nagy bársonyvirág BAF értéke a Cu, Zn és a Cd esetében a legtöbbször meghaladta az 1-et, ami azt jelenti, hogy a bársonyvirág ezen nehézfémek felhalmozására lehet képes (2. ábra). Cu esetében jelentős különbségek voltak az egyes kísérleti eredmények között. Goswami és Das (2017) kísérletei alapján a bársonyvirág több mint tízszeres mennyiségben halmozza fel a Cu-t a hajtásában és a gyökérzetében is a teszttalajhoz képest. Ezzel szemben más kísérletekben (Nazir et al. 2009; Afrousheh et al. 2015b; Mónok és Kardos 2018) a Cu-re vonatkozó BAF értéke 0,78 és 2,99 között volt. Zn esetében BAF értéke Mónok és Kardos (2018) vizsgálata alapján 1,24 és 1,86 közötti.

1. ábra. Az orvosi körömvirág (*Calendula officinalis*) bioakkumulációs faktor (BAF) értékei az egyes nehézfémekre vonatkozóan (átlag+szórás). A: hajtás, B: gyökérszövet.

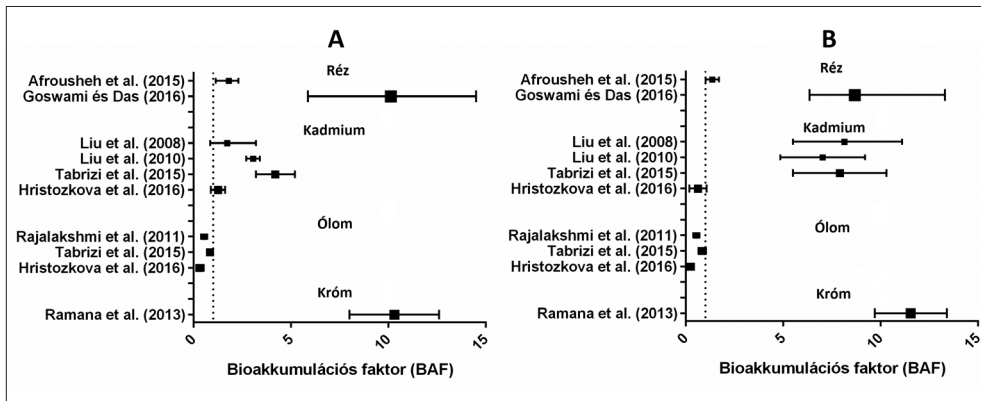


Figure 1. Bioaccumulation factor of Pot marigold (*Calendula officinalis*) for different heavy metals (mean+SD). A: shoot, B: root

2. ábra. A nagy bársonyvirág (*Tagetes erecta*) bioakkumulációs faktor (BAF) értékei az egyes nehézfémekre vonatkozóan (átlag+szórás). A: hajtás, B: gyökérszövet.

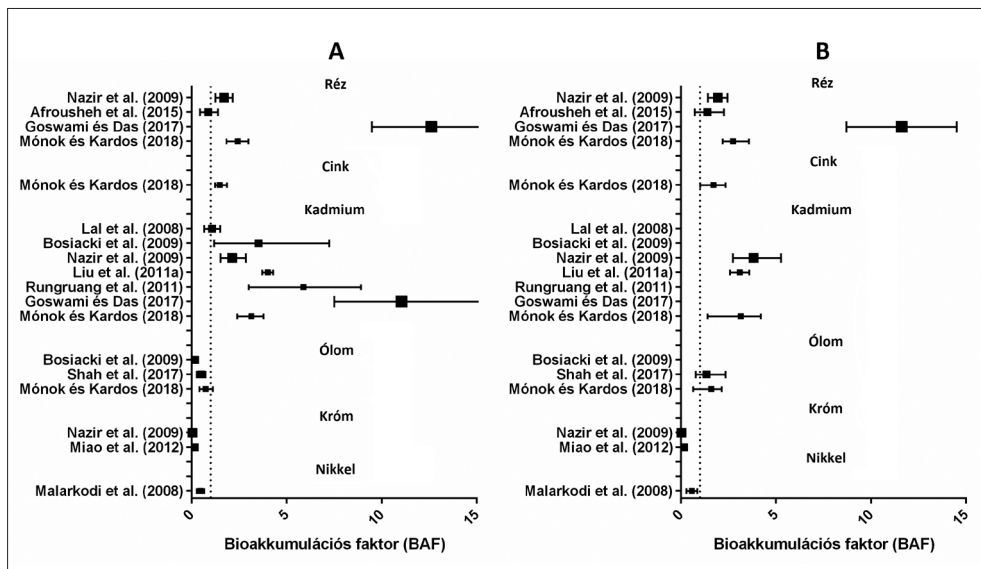


Figure 2. Bioaccumulation factor of African marigold (*Tagetes erecta*) for different heavy metals (mean+SD). A: shoot, B: root

A hajtás Cd akkumulációját tekintve szintén jelentős eltérések vannak a kísérleti eredmények között, a BAF értékek 0,76 és 16,5 között változtak. Megfigyelhető volt, hogy a BAF érték általában azokban a kísérletekben volt magasabb, amelyekben a talaj kötöttsége nagyobb volt (Lal et al. 2008; Bosiacki 2009; Nazir et al. 2009; Liu et al. 2011b; Rungruang et al. 2011; Goswami és Das 2017; Mónok és Kardos 2018). A további nehézfémek esetében (Pb, Cr, Ni) a BAF értékek nem haladták meg az 1-et (Malarkodi et al. 2008; Bosiacki 2009; Nazir et al. 2009; Miao et al. 2012; Shah et al. 2017; Mónok és Kardos 2018). Ez alól kivétel az Pb gyökérzetben való akkumulációja, ahol a BAF értékek 0,67 és 2,44 között voltak (Shah et al. 2017; Mónok és Kardos 2018).

Fontos megemlíteni, hogy a nehézfémek bioakkumulációját a talaj tulajdonságain kívül más tényezők is jelentősen befolyásolhatják. Bosiacki (2009) megállapította, hogy különböző fajtájú bársonyvirágok eltérő mértékben képesek akkumulálni a Cd-t és az Pb-t, így a fajtaválasztás is lényeges kérdés lehet ilyen jellegű kísérleteknél. Szintén meghatározó lehet a kísérletben alkalmazott nehézfém-koncentráció is, hiszen nagy mennyiségben a nehézfémek toxikusak a növényre, amely közvetve csökkenti a nehézfém felvételt (Kumpiene et al. 2008; Nagajyoti et al. 2010; Kirkham 2006). Ezen kívül a kísérletben kapott eltérő eredményekhez hozzájárulhatnak a változatos kísérleti körülmények is, mint pl. különböző hosszúságú terhelési periódus, különböző hőmérséklet, fényviszonyok, stb. (Yu et al. 2000; Cheng 2003; Clemens 2006).

Nhézfémek toxicitása a növényekre

A nehézfémek (Cu, Cd, Pb) káros hatása a körömvirág biomasszájának tömegére a 3. ábrán látható. 100 mg/kg Cu hatására közel 20%-kal csökkent a hajtás, valamint közel 40%-kal a gyökér biomasszája. 300 mg/kg koncentrációnál (a határérték négyszeresénél) már több mint 60%-os a csökkenés mindkét növényi paraméter esetében (Afrousheh et al. 2015a; Goswami és Das et al. 2016). Az adatok elemzése alapján 100 mg/kg Cd koncentráció a talajban (a szennyezettségi határérték százszorosa) kevesebb, mint 20%-kal csökkenti a növény hajtásának tömegét, és kevesebb, mint 40%-kal a gyökérzet tömegét (Liu et al. 2008; Liu et al. 2011a; Tabrizi et al. 2015; Hristozkova et al. 2016). Megállapítható továbbá az is, hogy a Cd jóval toxikusabb a gyökérzetre, mint a növény hajtására, mely megfigyelés más növények alkalmazása esetén is alá lett támasztva (Bidar et al. 2006; Golda és Korzeniowska 2016). Az Pb esetében nagyon szoros volt a kapcsolat a talaj Pb terhelése és a növény biomassza csökkenése között (a hajtás esetében $R^2=0,87$; a gyökérzet esetében $R^2=0,98$). 300 mg/kg Pb hatására (határérték háromszorosa) több mint 20%-kal csökkent a körömvirág hajtásának és gyökérének tömege (Rajalakshmi és Sudha 2011; Tabrizi et al. 2015; Hristozkova et al. 2016). Azonban fontos lehet megemlíteni, hogy az Pb kisebb mértékű toxicitása köszönhető lehet annak is, hogy a körömvirág kevés Pb-t vett fel a talajból.

A nehézfémek (Cu, Cd, Pb) káros hatása a bársonyvirág biomasszájának tömegére a 4. ábrán látható. Megállapítható, hogy a nagy bársonyvirág alapvetően kevésbé érzékeny a talaj nehézfém tartalmára, mint a körömvirág. Cu esetében 1500 mg/kg terhelés (a határérték húszszorosa) is kevesebb, mint 30%-kal csökkentette a hajtás és a gyökérzet tömegét, és 2500 mg/kg esetében sem haladja meg a 40%-ot a csökkenés mértéke (Nazir et al. 2009; Castillo et al. 2011; Afrousheh et al. 2015b; Goswami és Das 2017; Mónok és Kardos 2018). 100 mg/kg Cd koncentráció a talajban (a határérték százszorosa) kevesebb, mint 30%-kal csökkenti a növény hajtásának tömegét, és kevesebb, mint 20%-kal a gyökérzet tömegét (Lal et al. 2008; Bosiacki 2009; Nazir et al. 2009; Liu et al. 2011a; Rungruang et al. 2011; Goswami és Das 2017; Mónok és Kardos 2018).

3. ábra. Nehézfémek (Cu, Cd, Pb) hatása az orvosi körömvirág (*Calendula officinalis*) biomasszájának tömegére. A: Cu hatása a hajtásra ($R^2=0,61$); B: Cd hatása a hajtásra ($R^2=0,57$); C: Pb hatása a hajtásra ($R^2=0,87$); D: Cu hatása a gyökérre ($R^2=0,81$); E: Cd hatása a gyökérre ($R^2=0,61$); F: Pb hatása a gyökérre ($R^2=0,98$).

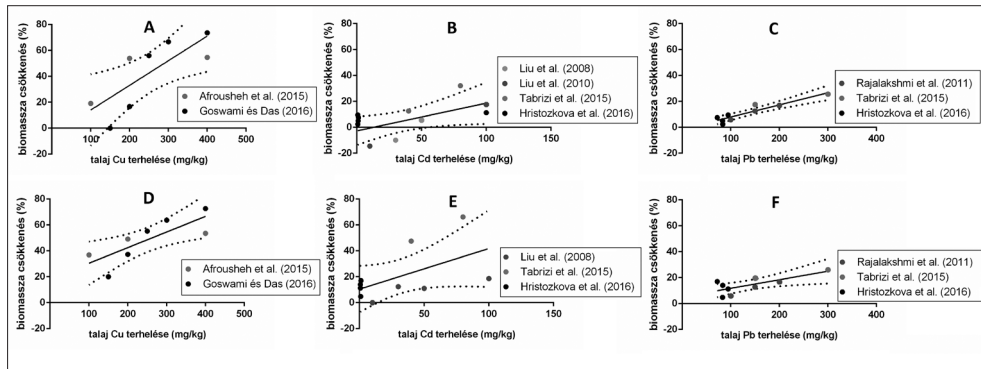


Figure 3. Effects of heavy metals (Cu, Cd, Pb) on the biomass of Pot marigold (*Calendula officinalis*).

A: effects of Cu on shoot ($R^2=0,61$); B: effects of Cd on shoot ($R^2=0,57$); C: effects of Pb on shoot ($R^2=0,87$); D: effects of Cu on root ($R^2=0,81$); E: effects of Cd on root ($R^2=0,61$); F: effects of Pb on root ($R^2=0,98$)

4. ábra. Nehézfémek (Cu, Cd, Pb) hatása a nagy bársonyvirág (*Tagetes erecta*) biomasszájának tömegére. A: Cu hatása a hajtásra ($R^2=0,51$); B: Cd hatása a hajtásra ($R^2=0,58$); C: Pb hatása a hajtásra ($R^2=0,62$); D: Cu hatása a gyökérre ($R^2=0,38$); E: Cd hatása a gyökérre ($R^2=0,57$); F: Pb hatása a gyökérre ($R^2=0,72$).

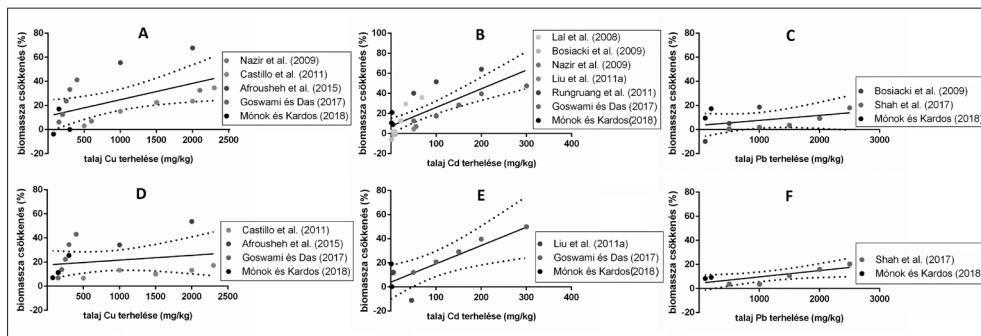


Figure 4. Effects of heavy metals (Cu, Cd, Pb) on biomass of African marigold (*Tagetes erecta*).

A: effects of Cu on shoot ($R^2=0,51$); B: effects of Cd on shoot ($R^2=0,58$); C: effects of Pb on shoot ($R^2=0,62$); D: effects of Cu on root ($R^2=0,38$); E: effects of Cd on root ($R^2=0,57$); F: effects of Pb on root ($R^2=0,72$)

Ennél a növénynél is az Pb esetében tapasztaltuk a legerősebb lineáris összefüggéseket a talaj és a növényi részek nehézfém koncentrációi között (a hajtás esetében $R^2=0,62$; a gyökérzet esetében $R^2=0,72$). 2500 mg/kg ólom terhelés (a határérték huszonötszöröse) esetén is kevesebb, mint 20%-kal csökkent a hajtás és a gyökér biomasszája (Bosiacki 2009; Shah et al. 2017; Mónok és Kardos 2018). Ennek azonban szintén az lehet a fő oka, hogy a bársonyvirág nem is veszi fel jelentős mértékben az Pb-t a talajból.

Összefoglalás

A feldolgozott szakirodalmak alapján megállapítható, hogy mindkét vizsgált növény képes a Cu és a Cd felhalmozására a hajtásában és a gyökérzetében, továbbá az orvosi körömvirág a Cr-ot, a nagy bársonyvirág pedig a Zn-et is képes felhalmozni. Ezzel szemben a Pb-t egyik növény sem akkumulálja jelentős mértékben. A nehézfémek károsító hatásának vizsgálatai alapján kiderült, hogy a nagy bársonyvirág mindhárom vizsgált nehézfémre (Cu, Cd, Pb) kevésbé volt érzékeny, mint az orvosi körömvirág. Előbbi növénynél még a szennyezettségi határérték húszszorosa is kevesebb, mint 30%-kal csökkentette a biomasszát mindhárom nehézfém esetében. Az orvosi körömvirág ezzel szemben csak a Cd-mal szemben mutatott nagy tűrőképességet. Ezek alapján a nagy bársonyvirág alkalmas lehet Cu, Zn vagy Cd-mal szennyezett területek fitoextrakciójára, míg kisebb mértékű szennyezettség esetén az orvosi körömvirág is alkalmazható. A két növény ilyen jellegű alkalmazása elsősorban olyan területeken javasolt, ahol a terület esztétikai megjelenése is fontos szempont, mint pl. városi közparkok, útszegélyek stb. Ilyen esetben érdemes lehet kombinálni más növényekkel is, amelyek szintén alkalmasak valamilyen szennyezőanyag akkumulálására, az esztétikusabb megjelenés érdekében (Nakbanpote et al. 2016; Liu et al. 2017).

A vizsgált dísznövények fitoextrakciós alkalmazásánál elengedhetetlenül fontos, hogy a növekedésüket gátló tényezőket kiküszöböljük, így szükség esetén megfelelő tápanyagellátást, öntözést, esetleg növényvédelmi ellátást kell biztosítani (Singh et al. 2003; Wu et al. 2010; Biró 2016; Liu et al. 2017). Egyes vizsgálatok alapján különböző mikorrhiza gombafajok alkalmazása elősegíti a vizsgált növények nehézfém bioakkumulációját, valamint növeli a növények ellenálló képességét (Nazir et al. 2009; Castillo et al. 2011; Liu et al. 2011a).

Ha a növényeket a nehézfémek megkötésének céljából ültetjük ki, akkor a keletkezett növényi biomasszát össze kell gyűjteni, majd ellenőrzött körülmények között hasznosítani kell (pl. égetéssel vagy komposztálással). Erre az orvosi körömvirág, valamint a nagy bársonyvirág tenyészidőszakának végén sokszor egyébként is sor kerül, mivel általában egyéves lágyszárú dísznövényként alkalmazzák őket, így ez további költséget sem jelent.

A továbbiakban célszerű lenne vizsgálatokat folytatni azon nehézfémekkel, melyekről kevés adat áll rendelkezésre (pl. Zn, Cr), illetve érdemes lenne megvizsgálni a fitoextrakciós potenciált több nehézfém együttes szennyezése esetén is, hiszen a környezetben csak ritkán fordul elő, hogy mindössze egy nehézfém okozza a talajszennyezést. Ezen kívül javasolt lenne a laboratóriumi kísérleteken kívül, szabadföldi kísérletek beállítására is.

Köszönetnyilvánítás

Ez a munka az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3-I-SZIE-38. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

1. 6/2009.(IV. 14.). (2009). KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről. Magyar Közlöny, 51(14): 14398-14413.
2. Afrousheh, M., Shoor, M., Tehranifar, A. and Safari, V.R. 2015a. Phytoremediation potential of copper contaminated soils in *Calendula officinalis* and effect of salicylic acid on the growth and copper toxicity. International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy, 50: 159.
3. Afrousheh, M., Tehranifar, A., Shoor, M. és Safari, V.R. 2015b. Salicylic acid alleviates the copper toxicity in *Tagetes erecta*. International Journal of Farming and Allied Sciences, 4.
4. Ali, H., Khan, E. and Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. Chemosphere, 91(7): 869-881.
5. Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London.
6. Băla, M. 2007. Floricultură generală și specială. Biotehnologia și tehnologia de cultură a plantelor ornamentale cultivate în câmp și în spații protejate. Editura de Vest. Timișoara
7. Bidar, G., Garcon, G., Pruvot, C., Dewaele, D., Cazier, F., Douay, F. and Shirali, P. 2006. Behavior of *Trifolium repens* and *Lolium perenne* growing in a heavy metal contaminated field: Plant metal concentration and phytotoxicity. Environmental Pollution, 147: 546-553.
8. Biró B., Sumalan R., Farkas E. és Schmidt B. 2016. Az arbuszkuláris mikorrhiza- (AM) gombák hatásának vizsgálata *Tagetes patula* L. foszforfelvételére és fejlődésére modellkísérletben. Kertgazdaság, 48(2): 45-52.
9. Borgheti, M., Arjmandi, R. and Moogouei, R. 2011. Potential of *Calendula alata* for phytoremediation of stable cesium and lead from solutions. Environmental monitoring and assessment, 181(1-4): 63-68.
10. Bosiacki, M. 2009. Phytoextraction of cadmium and lead by selected cultivars of *Tagetes erecta* L. Part II. Contents of Cd and Pb in plants. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus, 8(2): 15-26.
11. Castillo, O.S., Dasgupta-Schubert, N., Alvarado, C.J., Zaragoza, E.M. and Villegas, H.J. 2011. The effect of the symbiosis between *Tagetes erecta* L.(marigold) and *Glomus intraradices* in the uptake of copper (II) and its implications for phytoremediation. New biotechnology, 29(1): 156-164.
12. Cheng, S. 2003. Heavy metals in plants and phytoremediation. Environmental Science and Pollution Research, 10(5): 335-340.
13. Clemens, S. 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie, 88(11): 1707-1719.
14. Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C. and Egwurugwu, J.N. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International Journal of physical sciences, 2(5): 112-118.
15. Golda, S. and Korzeniowska, J. 2016. Comparison of phytoremediation potential of three grass species in soil contaminated with cadmium. Environmental Protection and Natural Resources, 27(1): 8-14.
16. Goswami, S. and Das, S. 2016. Copper phytoremediation potential of *Calendula officinalis* L. and the role of antioxidant enzymes in metal tolerance. Ecotoxicology and environmental safety, 126: 211-218.
17. Goswami, S. and Das, S. 2017. Screening of cadmium and copper phytoremediation ability of *Tagetes erecta*, using biochemical parameters and scanning electron microscopy-energy-dispersive X-ray microanalysis. Environmental toxicology and chemistry, 36(9): 2533-2542.
18. Han, Y.L., Yuan, H.Y., Huang, S.Z., Guo, Z., Xia, B. and Gu, J. 2007. Cadmium tolerance and accumulation by two species of *Iris*. Ecotoxicology, 16(8): 557-563.
19. Hristozkova, M., Geneva, M., Stancheva, I., Boychinova, M. and Djonova, E. 2016. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in attenuation of heavy metal impact on *Calendula officinalis* development. Applied soil ecology, 101: 57-63.
20. Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soils and Plants, 4th ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
21. Kirkham, M.B. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. Geoderma, 137: 19-32.
22. Kumar, P.N., Dushenkov, V., Motto, H. and Raskin, I. 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental science & technology, 29(5): 1232-1238.
23. Kumpiene, J., Lagerkvist, A. and Maurice, C. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments – a review. Waste management, 28(1): 215-225.
24. Lal, K., Minhas, P.S., Chaturvedi, R.K. and Yadav, R.K. 2008. Extraction of cadmium and tolerance of three

- annual cut flowers on Cd-contaminated soils. *Bioresource technology*, 99(5): 1006-1011.
25. Lelesz, J.É. and Csajbók, J. 2016. Relationship investigation between the marigold (*Calendula officinalis* L.) essential oil agents and quantitative presences change under different fertilization settings. *Natural Resources and Sustainable Development*, 8: 93-99.
 26. Liu, J.N., Zhou, Q.X., Sun, T., Ma, L.Q. and Wang, S. 2008. Identification and chemical enhancement of two ornamental plants for phytoremediation. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 80(3): 260-265.
 27. Liu, Y. T., Chen, Z.S. and Hong, C.Y. 2011b. Cadmium-induced physiological response and antioxidant enzyme changes in the novel cadmium accumulator, *Tagetes patula*. *Journal of hazardous materials*, 189(3), 724-731.
 28. Liu, J., Zhou, Q. and Wang, S. 2011a. Evaluation of chemical enhancement on phytoremediation effect of Cd-contaminated soils with *Calendula officinalis* L. *International journal of phytoremediation*, 12(5): 503-515.
 29. Liu, X., Song, Q., Tang, Y., Li, W., Xu, J., Wu, J. and Brookes, P.C. 2013. Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: a multi-medium analysis. *Science of the Total Environment*, 463: 530-540.
 30. Liu, J., Xin, X. and Zhou, Q. 2017. Phytoremediation of contaminated soils using ornamental plants. *Environmental Reviews*, (999): 1-12.
 31. Malarkodi, M., Krishnasamy, R. and Chitdeshwari, T. 2008. Phytoextraction of nickel contaminated soil using castor phytoextractor. *Journal of plant nutrition*, 31(2): 219-229.
 32. Miao, Q. and Yan, J. 2012. Comparison of three ornamental plants for phytoextraction potential of chromium removal from tannery sludge. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(1), 98-105.
 33. Mónok D. és Kardos L. 2018. Nehézfémek hatása a nagyvirágú bársonyvirág növekedési paramétereire. VIII. ökotoxikológiai konferencia előadás és poszter kötete, 23-24.
 34. Mónok D. és Füleky G. 2017. A talaj kadmium szennyezettségének vizsgálata angolperje (*Lolium perenne* L.) bioteszttel. *Agrokémia és Talajtan*, 66(2): 333-347.
 35. Motuzova, G.V., Minkina, T.M., Karpova, E.A., Barsova, N.U. and Mandzhieva, S.S. 2014. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144: 241-246.
 36. Nagajyoti, P.C., Lee, K.D. and Sreekanth, T.V.M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3): 199-216.
 37. Nakbanpote, W., Meesungnoen, O. and Prasad, M.N. 2016. Potential of ornamental plants for phytoremediation of heavy metals and income generation. In *Bioremediation and bioeconomy*, 179-217.
 38. Nazir, A., Firdaus, B. and Baren, B. 2009. Metal decontamination of tannery solid waste using *Tagetes patula* in association with saprobic and mycorrhizal fungi. *The Environmentalist*, 30(1): 45-53.
 39. Noman, A., Aqeel, M., Deng, J., Khalid, N., Sanaullah, T. and Shuilin, H. 2017. Biotechnological advancements for improving floral attributes in ornamental plants. *Frontiers in plant science*, 8: 530.
 40. Rajalakshmi, K. and Sudha, P.N. 2011. Evaluation of lead Phytoextraction potential of *Calendula Officinalis* L. (Marigold) from Heavy Metal Polluted Soils. *The Ecoscan - An International Quarterly Journal of Environmental Science*, Special issue, 1: 348-351.
 41. Ramana, S., Biswas, A.K., Singh, A.B., Ahirwar, N.K. and Rao, A.S. 2013. Phytoremediation ability of some floricultural plant species. *Indian Journal of Plant Physiology*, 18(2): 187-190.
 42. Rungruang, N., Babel, S. and Parkpian, P. 2011. Screening of potential hyperaccumulator for cadmium from contaminated soil. *Desalination and Water Treatment*, 32(1-3): 19-26.
 43. Shah, K., Mankad, A.U. and Reddy, M.N. 2017. Lead Accumulation and its Effects on Growth and Biochemical Parameters in *Tagetes erecta* L. *Int. J. Life. Sci. Scienti. Res*, 3(4): 1142-1147.
 44. Singh, O.V., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R. and Jain, R.K. 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61(5-6): 405-412.
 45. Su, C. 2014. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. *Environmental Skeptics and Critics*, 3(2): 24.
 46. Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M. and Moteshare Zadeh, B. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on yield and phytoremediation performance of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under heavy metals stress. *International journal of phytoremediation*, 17(12): 1244-1252.

47. Wan, X., Lei, M. and Chen, T. 2016. Cost–benefit calculation of phytoremediation technology for heavy-metal-contaminated soil. *Science of the total environment*, 563: 796-802.
48. Wu, G., Kang, H., Zhang, X., Shao, H., Chu, L. and Ruan, C. 2010. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1-3): 1-8.

Evaluation of the phytoremediation potential of Pot marigold (*Calendula officinalis* L.) and African marigold (*Tagetes erecta* L.) on heavy metal contaminated soils

MÓNOK, D., KARDOS, L.

Szent István University, Faculty of Horticultural Science

E-mail: monokdavid27@gmail.com

Summary

Remediation of heavy metal contaminated soils is an important issue, since these sites pose potential threats to the environment. Phytoremediation is an environmental friendly and cost-effective technique for restoration of these sites. Applying ornamental plants for phytoremediation could be useful, for example in contaminated urban areas, because these plants can also improve the environment by their decorative value. In our studies we conducted a systematic review of the relevant literature to evaluate the phytoremediation potential of Pot marigold (*Calendula officinalis*) and African marigold (*Tagetes erecta*). We compared the bioaccumulation factor (BAF) of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) and the toxicity of metals to plants biomass. According to our result African marigold could be suitable for phytoremediation on Cu, Zn or Cd contaminated soils, since it can accumulate these heavy metals in its tissues, and plant biomass do not decrease due to excessive amounts of heavy metals. Pot marigold can accumulate Cu, Cd and Cr, however it is more sensitive to the toxicity of heavy metals than African marigold. It means that this plant could remedy only moderately contaminated soil.

Keywords: Pot marigold, African marigold, phytoremediation, heavy metal

Szerzők

Mónok Dávid (kapcsolattartó szerző) – doktorandusz, Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Kardos Levente – PhD, egyetemi docens, Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.