

Indukált fitoextrakció alkalmazása kadmiummal szennyezett talaj-növény rendszerben

Hegedúsová Alžbeta^{1a} – Švikruhová Jana^{1a} – Simon László² – Boleček Peter^{1b} – Hegedűs Ondrej^{1a}

¹ Konstatin Filozófus Egyetem, Természettudományi Kar (Fakulta prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa), ^a Kémia Tanszék (Katedra chémie), ^b Biológia és Növénygenetika Tanszék (Katedra biológie a genetiky rastlín), Tr. A. Hlinku 1, SK-949 01 Nitra, Szlovákia,

² Nyíregyházi Főiskola, Tájgazdálkodási és Vidékfejlesztési Tanszék, 4401 Nyíregyháza, pf. 166.

E-mail: ahegedusova@ukf.sk

Összefoglalás

Tenyészedényes kísérlet beállításával megvizsgáltuk, hogy egy kadmiummal mesterségesen elszennyezett csernozjom talajon az EGTA (etilén-bisz(oxi-etilén-nitrilo)tetraecetsav), mint kelátképző serkenti-e a kukorica hajtásának kadmiumfelvételét. Megállapítottuk, hogy a 6, illetve a 12 mmol.kg⁻¹ EGTA kijuttatás egyaránt a duplájára növelte a kukorica gyökerének és hajtásának Cd-felvételét, ezért elegendő a kisebb dózisu EGTA alkalmazása. Megállapítottuk, hogy egy kadmiummal mérsékelten (5 mg . kg⁻¹ Cd) szennyezett termőtalajon 6 mmol.kg⁻¹ EGTA kijuttatásával a kukorica hajtásában több, mint 200 %-al növekszik a kadmiumtartalom. Indukált fitoextrakcióval, a kukorica hatásainak egyszeri betakarításával a talajok kadmiumszennyeződése tehát jelentősen mérsékelhető.

Summary

Pot experiment was set up to study the influence of chelate-forming compound EGTA (ethylene-bis(oxi-ethylene-nitrilo)tetraacetic acid) on the cadmium accumulation of maize grown in chernozem soil. It was found that application of 6 or 12 mmol.kg⁻¹ EGTA doubled equally the Cd accumulation in maize roots or shoots. It means that 6 mmol.kg⁻¹ EGTA is enough effective to induce Cd phytoextraction. In a moderately contaminated chernozem soil (5 mg.kg⁻¹ Cd) 6 mmol.kg⁻¹ EGTA application can enhance the Cd accumulation of shoots by more than 200%. Single harvesting of maize shoots can considerably reduce the Cd contamination of arable soils by induced phytoextraction.

Bevezetés

Szlovákia földrajzi elhelyezkedése miatt feltételezhető, hogy területe folyamatosan szennyeződik a nagyipari és energetikai komplexumok regionális hatása miatt. A toxikus anyagok akkumulációja a termőtalajban ökológiai rizikót jelent, ugyanis megnehezíti az egészséges élelmiszeripari nyersanyagok előállítását, termelését. Külön veszélyt jelenthet, hogy a szennyezőanyagok

kötöttsége a talajokban a talajok savanyodása miatt megváltozhat. Különösen érvényes lehet mindez a nagy biotoxicitású nehézfémekre. A mezőgazdasági termelés során alapvető cél, hogy a termőtalaj ne szennyeződjék, termékenysége és ökológiai funkciói hosszú távon is megmaradjanak.

Szlovákiai viszonylatban a dél-szlovákiai régió rendelkezik a legintenzívebb zöldségtermeléssel, és mint korábbi eredményeinkből kitűnik, termőtalajaiban a kadmium feldúsulása jelenti a legnagyobb rizikót (HEGEDŰSOVÁ et. al., 2000). A kadmium a talajban általában nem mozog, ezért a felső szántott rétegben veszélyes mértékben feldúsulhat. A növények számára a kadmium könnyen felvehető, és a növényen belül is könnyen szállítódik. Általában lineáris összefüggés van a talajok és a növények kadmiumtartalma között. A növényekben legtöbbször 5-20 mg.kg⁻¹ kadmiumtartalom okoz toxicitási tüneteket. Általában nagy a levélzöldségfélék és a káposztafélék kadmiumtartalma, míg a gabonafélék magvai viszonylag keveset tartalmaznak ebből a nehézfémből. A fenti okok és az emberi szervezetre gyakorolt toxikus hatása miatt a kadmiumot az egyik legveszélyesebb nehézfémnek tekintik (SIMON, 1999; VOLLMANNOVÁ et. al., 2003; HEGEDŰSOVÁ et. al., 2003). Mivel a nehézfémek sem biológiailag, sem kémiailag nem bonthatók le, hatásuk semlegesítésére más eljárásokat kell alkalmazni. Napjaink gyorsan fejlődő környezetvédelmi technológiája a fitoremediáció, amely során növények segítségével tisztítják meg a környezeti elemeket a szerves és szervetlen szennyezőanyagoktól (SIMON, 2004). A fitoremediáción belül újabb eljárások alakultak ki, amelyek közül munkánk során a fitoextrakciót alkalmaztuk. A fitoextrakció során speciális, a fémek hiperakkumulációjára képes növényekkel vonható ki a fémek a talajból (folyamatos fitoextrakció), illetve kelátképzők talajba juttatásával tehető a fémek könnyen felvehetővé nagy biomasszát képező növényfajok számára (indukált fitoextrakció). Az indukált fitoextrakció során kelátképzők (pl. etilén-diamin tetraecetsav, etilén-bisz(oxi-etilén-nitrilo)tetraecetsav, pikolinsav, citromsav) kijuttatása után a fémek mobilitása a talajban azonnal megnő (MCGRATH et al., 2002; SIMON et al., 2003; VAN ENGELEN et al., 2007), és a növények néhány napig jelentős mennyiségű fémet vesznek fel a gyökerükbe, amelynek nagy része áthelyeződik a hajtásba. A betakarított, szennyeződést tartalmazó biomasszából elégetés után visszanyerhetők a koncentrált nehézfémek.

A fenti előzmények ismeretében tenyészedényes kísérlet beállításával megvizsgáltuk, hogy egy kadmiummal mesterségesen elszennyezett talajban az EGTA (etilén-bisz(oxi-etilén-nitrilo)tetraecetsav), mint kelátképző serkenti-e a kukorica hajtásának kadmiumfelvételét?

Anyag és módszer

Tenyészedényes kísérlet – A szennyezetlen csernozjom termőtalaj (vályogos homok, pH_{KCl} 7,3) az Érsekújvári Zöldségkutató Intézet kísérleti kertjének 0–20 cm-es rétegéből származott. A 2 mm-es szitán átbocsátott, megfelelően homogenizált, légszáraz talajmintákból 400–400g-ot tenyészedényekbe mértük, majd a talajmintákat 5,0 és 10,0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ kadmiummal szennyeztük el oly módon, hogy a talajra 4 héttel a magvak elvetése előtt kadmium-szulfát ($3 \text{ CdSO}_4 \cdot 8 \text{ H}_2\text{O}$) oldatot permeteztünk. A kísérletekhez kontroll talajt használtunk, amely nem részesült ilyen kezelésben. Szabályozott légterű, 8 m^2 alapterületű klímakamrában, ahol a hőmérséklet (20°C), a páratartalom (60–70%) és a megvilágítás (max. 50 000 lux, fényperiódus: 12 óra fény/ 12 óra sötét) automatikusan állandó értékekre volt beállítva, tenyészedényes kísérletet állítottunk be 9 ismétléssel kukoricával (var. Qintal).

A kontroll és kadmiumsóval kezelt tenyészedényekben 7-7 növényt neveltünk. A talaj vízkapacitását 60-70 %-ra állítottuk be. Tápanyagként Knopp-féle tápsóoldatot juttattunk ki a talajba. A kukorica hajtásának kadmiumfelvételét 6 és 12 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ EGTA kijuttatásával serkentettük a kísérlet 6. és 7. hetében (az EGTA teljes kijuttatott mennyiségét megfelelően). A kísérletet 8 hét eltelté után bontottuk. A tenyészedények talajának 4 ismétléssel történt megmintázása után a kukorica gyökerét először csapvízzel, majd háromszor váltott desztillált vízzel és ionmentes vízzel gondosan megmostuk. A mintákat aprítottuk, megszártottuk és megdaráltuk ($<1 \text{ mm}$). A gyökér és hajtás mintákat cc. HNO_3 -val és cc. H_2O_2 -dal ZA I típusú roncsolóban (JZD Zahnašovice, Cseh Köztársaság) feltártuk, majd a minták kadmiumkoncentrációját ETA-AAS (SpectrAAS-200 Varian) készülékkel határoztuk meg 4 ismétléssel a nyitrai Konstantín Filozófus Egyetem Természettudományi Karának Kémia Tanszékén.

Statisztikai analízis – A kísérleti adatok feldolgozását és rendszerezését Microsoft Excel programmal végeztük. A mérési adatok statisztikai elemzését egyváltozós variancia-analízissel, Tukey-féle b-teszttel végeztük SPSS program (12.0 verzió) segítségével.

Eredmények

A klímakamrában kivitelezett tenyészedényes kísérletben az $5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ kadmiummal elszennyezett csernozjom termőtalajból a kukorica gyökere $8,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, hajtása $5,55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ kadmiumot akkumulált. $6 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ EGTA kijuttatása esetén ez az érték a gyökérben $15,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -ra (190%-os növekedés), a hajtásban pedig $11,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -ra emelkedett (202%-os növekedés). $12 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ EGTA az adott kadmiumszennyezés esetén a gyökér kadmiumtartalmát csupán $13,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -ra (169%-os növekedés) a hajtását pedig $11,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -ra (202%-os növekedés) növelte. Az eredményekből kitűnik, hogy

12 mmol.kg⁻¹ EGTA nem növelte tovább a kadmiumnak a gyökerekből a hajtásba történő szállítását. Ezzel szemben viszont a 10 mg.kg⁻¹ kadmiummal elszennyezett csernozjom termőtalajból a kukorica gyökere 27,3 mg.kg⁻¹, hajtása pedig 9,0 mg.kg⁻¹ kadmiumot akkumulált. 6 mmol.kg⁻¹ EGTA kijuttatása esetén ez az érték a gyökérben 60,0 mg.kg⁻¹-ra (220%-os növekedés), a hajtásban pedig 18,7 mg.kg⁻¹-ra emelkedett (207%-os növekedés). 12 mmol.kg⁻¹ EGTA az adott kadmiumszennyezés esetén a gyökér kadmiumtartalmát 61,4 mg.kg⁻¹-ra (220%-os növekedés) a hajtását pedig 17,6 mg.kg⁻¹-ra (195%-os növekedés) emelte (1. táblázat).

1. táblázat. Kukorica gyökerének és hajtásának kadmiumfelvétele EGTA kezelés hatására (klímakamrás tenyésztedényes kísérlet, Nyitra, 2007)

Kezelések	Gyökér	Hajtás
	Cd (µg/gramm szárazanyag)	
Kontroll	0,28 ^a	0,24 ^a
5/0	8,11 ^b	5,55 ^b
5/6	15,4 ^c	11,2 ^d
5/12	13,7 ^{bc}	11,2 ^c
10/0	27,3 ^d	9,0 ^{bc}
10/6	60,0 ^e	18,7 ^d
10/12	61,4 ^e	17,6 ^d

Megjegyzés: Egyváltozós variancia-analízis, Tukey-féle b-teszt. Az azonos oszlopban található különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól.

Az eredmények azt igazolták, hogy a kukorica gyökerének kadmiumfelvétele 6 mmol.kg⁻¹ EGTA hatására a kontroll kísérletekhez viszonyítva statisztikailag szignifikánsan nőtt az 5 és 10 mg.kg⁻¹ kadmiummal elszennyezett talajon. Hasonló jelenséget figyeltünk meg a kukorica hajtásának kadmiumfelvételében is (1. táblázat).

A 2. és 3. táblázat a kukorica gyökerének és hajtásának szárazanyag-hozamát és zöldtömegét szemlélteti.

Az adatok alapján nyilvánvaló, hogy a kadmiumszennyezés nem csökkentette le a növények szárazanyag-felhalmozását, illetve zöldtömegét. Mindez a kukorica kadmiumszennyezést tűró képességével hozható kapcsolatba. A kijuttatott kelátképző szer megnövelte ugyan a kukorica kadmiumfelvételét, de látható fitotoxicitási tüneteket a növényeken nem okozott.

2. táblázat. Kukorica gyökerének és hajtásának szárazanyag akkumulációja EGTA kezelés hatására (klímakamrás tenyészedényes kísérlet, Nyitra, 2007)

Kezelések	Gyökér	Hajtás
	Szárazanyag(g/tenyészedény)	
Kontroll	5,46 ^a	1,95 ^a
5/0	5,75 ^a	1,44 ^a
5/6	6,39 ^a	1,13 ^a
5/12	6,41 ^a	1,00 ^a
15/0	6,99 ^a	1,45 ^a
15/6	6,45 ^a	1,11 ^a
15/12	6,87 ^a	1,48 ^a

Megjegyzés: Egyváltozós variancia-analízis, Tukey-féle b-teszt. n=9. Az azonos oszlopban található különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól.

3. táblázat. Kukorica gyökerének és hajtásának zöldtömege (össztömege) EGTA kezelés hatására (klímakamrás tenyészedényes kísérlet, Nyitra, 2007)

Kezelések	Gyökér	Hajtás
	Zöldtömeg (g/ tenyészedény)	
Kontroll	10,67 ^a	11,97 ^a
5/0	10,54 ^a	8,82 ^a
5/6	9,98 ^a	7,91 ^a
5/12	8,97 ^a	6,76 ^a
15/0	10,07 ^a	8,50 ^a
15/6	7,71 ^a	6,73 ^a
15/12	9,54 ^a	8,38 ^a

Megjegyzés: Egyváltozós variancia-analízis, Tukey-féle b-teszt. n=9. Az azonos oszlopban található különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól.

Az adott növényfaj fontos jellemzője fitoremediációs szempontból a “biokoncentrációs faktor”, melynek értéke a növényi felvételen és transzlokáción (hajtás, gyökér) túl a talaj adott elemtartalmának is függvénye ($C_{\text{növényi rész}} / C_{\text{talaj}}$ hányadosa). A 4. táblázat a kukorica biokoncentrációs faktorait szemlélteti. A faktorok alapján is nyilvánvaló, hogy a talajból 6 és 12 mmol.kg⁻¹ EGTA kezelés hatására a kukorica gyökerében és hajtásában kétszeresére nőtt a kadmium koncentrációja.

4. táblázat. A kukorica bioakkumulációs faktora EGTA kezelés hatására (klímakamrás tenyészedényes kísérlet n=9, Nyitra, 2007)

Kezelések	Biokoncentrációs faktor		
	$C_{\text{gyökér/talaj}}$	$C_{\text{hajtás/talaj}}$	$C_{\text{hajtás/gyökér}}$
5/0	1,42	0,97	0,68
5/6	2,71	1,97	0,73
5/12	2,40	1,96	0,82
10/0	2,55	0,84	0,33
10/6	5,61	1,75	0,31
10/12	5,74	1,65	0,29

Következtetések

Tenyészedényes kísérletben tanulmányoztuk, hogy a csernozjom talajba mesterségesen kijuttatott 5 mg.kg⁻¹ és 10 mg.kg⁻¹ kadmiumszennyezés esetén a kelátképző EGTA (etilén-bisz(oxi-etilén-nitrilo) tetraecetsav) talajba juttatása milyen mértékben emeli meg a kukorica gyökerének és hajtásának kadmiumfelvételét.

Megállapítottuk, hogy a kukorica gyökerének kadmiumfelvétele 6 mmol.kg⁻¹ EGTA hatására a kezelésben nem részesült kontrollhoz viszonyítva statisztikailag szignifikáns mértékben nő, mint az 5, mint pedig a 10 mg.kg⁻¹-os kadmiumszennyezés esetén. Hasonló jelenséget tapasztaltunk a kukorica hajtásának kadmiumfelvételében 6 és 12 mmol.kg⁻¹ EGTA hatására 5 és 10 mg.kg⁻¹ kadmiummal elszennyezett talajon. Mindez megerősíti MCGRATH et al. (2002) korábbi megfigyeléseit, mely szerint a talaj EGTA-kezelése elősegíti a növények Cd-felvételét. Az eredményekből kitűnik, hogy a 6 és 12 mmol. kg⁻¹ EGTA kijuttatás egyaránt a duplájára növelte a Cd-felvételét úgy a gyökérben mint a hajtásban. Indukált fitoextrakciós célra tehát elegendő a kisebb dózis alkalmazása. Előző kutatási eredményeink alapján megállapítottuk, hogy Dél-Szlovákia jó minőségű termőtalajának kadmiumszennyeződése nem haladja meg az 1 mg.kg⁻¹-ot. Az ilyen talajokon termesztett zöldségfélék kadmiumtartalma azonban már megközelíti a maximálisan megengedett határértéket (pl. az 1 mg. kg⁻¹ kadmiumot tartalmazó talajon termesztett sárgarépában 0,2 mg. kg⁻¹ kadmiumot mértünk; HEGEDŰSOVÁ et al., 2006; HEGEDŰSOVÁ et al., 2004).

Eredményeink alapján megállapítható, hogy ha egy kadmiummal mérsékelten (5 mg. kg⁻¹ Cd) szennyezett termőtalajba csupán 6 mmol.kg⁻¹ EGTA-t juttatunk ki, a kukorica hajtásában már 202 %-al növekszik a kadmiumtartalom. Ha mindez szabadföldi körülmények között is teljesül, akkor

akár 1 éven belül a talaj kadmiumszennyezettségét kukorica termesztésével és EGTA kijuttatásával olyannyira le tudjuk csökkenteni, hogy a talaj növénytermesztésre ismét alkalmassá válhat.

Mivel a kukorica nagy zöldtömeggel rendelkező növény, kadmiummal mérsékeltenszennyezett biomasszáját – ellenőrzött körülmények között elégetve azt – bioenergetikai célra fel lehet használni.

Köszönetnyilvánítás

A fenti munkát a VEGA 1/4370/07 és az OTKA T043479 kutatási programok támogatták.

Irodalomjegyzék

- HEGEDŰSOVÁ, A., HEGEDŰS, O., BELKO, I., (2004): Existuje riziko kumulácie kadmia v mrkve a hlávkovom šaláte (Fennáll-e a veszélye annak, hogy a kadmium a sárgarépában és a fejjessalátában feldúsul)? *Záhradnictví* **8** 4. 28-29.
- HEGEDŰSOVÁ, A., HEGEDŰS, O., MUSILOVÁ, J., (2006): Riziká kontaminácie pôd kadmium. *Vedecká monografia. (A talajok kadmiumszennyeződésének veszélyei. Tudományos monográfia).* FPV UKF Nitra. 25-46.
- HEGEDŰSOVÁ, A., HEGEDŰS, O., VALŠÍKOVÁ, M., (2003): Pohyb kadmia v systéme pôda – rastlina (A kadmium mozgása a talaj-növény rendszerben). In: *Kvalita rostlinné produkce: Současnost a perspektivy směrem k EU (A növénytermelés minősége. A jelenlegi helyzet, és a perspektívák, közlved az EU-hoz).* VÚRV, Praha, 115-122.
- HEGEDŰSOVÁ, A., HEGEDŰS, O., VOLLMANNOVÁ, A., (2000): Kontaminácia poľnohospodárskych pôd a zelenín ťažkými kovmi na južnom Slovensku (Mezőgazdasági talajok és zöldségek szennyeződése kadmiummal Dél-Szlovákiában). *Hort.Sci. (Prague)* **27**. 2. 57-64.
- VOLLMANNOVÁ, A., TOMÁŠ, J., TÓTH, T., STANOVIČ, R., LAHUČKÝ, L., JOMOVÁ, K., (2003): Anthropic influences on heavy metal contains in the plants of buckwheat. *Phytopedon.* **2**. 2.107-111.
- MCGRATH, S.P.; ZHAO, F.J.; LOMBI, E., (2002): Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. *Advances in Agronomy* **75**. 1-56.
- SIMON, L. (szerk.), (1999): Talajszennyeződés, talajtisztítás. *Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató.* 5. kötet. Környezetgazdálkodási Intézet. Budapest. 1-221.
- SIMON, L., SZEGVÁRI, I., CSILLAG, J., (2003): Impact of picolinic acid on the chromium accumulation in fodder radish and komatsuna. *Plant and Soil* **254**. 337-348.
- SIMON, L., (2004): Fitoremediáció. *Környezetvédelmi Füzetek. Azonosító: 2318.* BMKE OMIKK, Budapest. 1-59.

VAN ENGELEN, DL., SHARPE-PEDLER, RC., MOORHEAD, KK., (2007): Effect of chelating agents and solubility of cadmium complexes on uptake from soil by (*Brassica juncea*). Chemosphere **68**. 401-408.