

A TALAJ ARZÉNTERHELÉSÉNEK HATÁSA A KÍSÉRLETI NÖVÉNYEK ARZÉNTARTALMÁRA NEHÉZFÉMTERHELÉSES TARTAMKÍSÉRLETBEN

Szegedi László – Nagy Péter Tamás

Absztrakt: Az 1994 őszen az Eszterházy Károly Egyetem Tass-pusztai Tangazdaságában csernozjom barna erdőtalajon szabadföldi kisparcellás nehézfémterheléses tartamkísérlet indult 8 elem (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) vízdoldható sóival, 3 terhelési szinten (30, 90 és 270 kg elem/ha), 3 ismétlésben. Jelzőnövényként 1998-ban borsó (*Pisum sativum L.*), 1999-ben silócirok (*Sorghum bicolor L.*), 2001-ben őszi árpa (*Hordeum vulgare L.*), 2002-ben fehérmostár (*Sinapis alba L.*), 2003-ban rostkender (*Cannabis sativa L.*) és 2005-ben lucerna (*Medicago sativa L.*) termesztésére került sor. A kísérlet során vizsgáltuk a talaj és a növények nehézfém tartalmát, amelynek ismeretében nyomon követhető a vizsgált elemek talajban való viselkedésének és talaj-növény rendszerben való mobilitásnak alakulása. Az arzén kifejezett depresszív hatása a kísérlet első két évében mutatkozott meg, a kísérlet további éveiben a vizsgált növények esetén mérséklődött, majd megszűnt. Az arzén a maximális terhelésnél sem dúsult a növényi szövetekben, mindössze néhány növény vegetatív szerve mutatott némi akkumulációt. A kísérleti növények szemtermése védettnek bizonyult az arzénszennyezéssel szemben. A kísérleti eredmények alapján kijelenthető, hogy az arzén mozgása gátolt a talaj-növény rendszerben, mozgékonyasága a kísérlet negyedik évétől jelentősen csökkent.

Abstract: A small-plot heavy metal load experiment was established in the field in 1994 on brown forest clay soil at the Tass-pusztá Model Farm of Eszterházy Károly University of Applied Sciences. The field trial was set up with 8 elements (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn), on 3 levels each (0/30, 90, 270 kg element ha⁻¹) in triplicate. In 1998 pea (*Pisum sativum L.*), in 1999 sorghum (*Sorghum bicolor L.*), in 2001 winter barley (*Hordeum vulgare L.*), in 2002 white mustard (*Sinapis alba L.*), in 2003 hemp (*Cannabis sativa L.*) and 2005 alfalfa (*Medicago sativa L.*) was the test plant. During the experiment we studied the heavy metal content of the soil and the plants, in the course of which we can monitor the evolution of the tested elements in the soil and the soil-plant system. The expressed depressive effect of arsenic appeared in the first two years of the experiment, in the subsequent years of the experiment it decreased in the observed plants and then ceased. Arsenic was not enriched in the plant organs at maximum load, but only a few vegetative organs of the plant showed some accumulation. The seed production of the experimental plants has been protected against arsenic contamination. Based on the experimental results it can be stated that the movement of the arsenic inhibited the soil-plant system, its mobility decreased considerably from the fourth year of the experiment.

Kulcsszavak: arzén, toxicitás, akkumuláció, szabadföldi kísérlet

Keywords: arsenic, toxicity, accumulation, yield experiment

1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben az emberi tevékenység olyan kedvezőtlen hatással van környezetére, amely gyakran irreverzibilis változásokat eredményez. A környezeti elemek közül a talaj, mint a szárazföldi ökoszisztémák alapvető és meghatározó közege, az emberi tevékenység fokozódó igénybevételének van kitéve. A nehézfémekkel szennyezett területek alapvető környezeti problémát jelentenek. Egyes talajtípusokban a természetes nehézfém tartalom igen magas lehet, gyakoribb azonban, hogy a termőtalajok természetes nehézfém tartalma emberi tevékenység következtében emelkedik meg. A talaj képes a környezetbe kerülő nehézfémek

megkötésére és tárolására. Egy bizonyos terhelési szint felett, illetve a talajban lezajló egyensúlyi folyamatok változásával a megkötött toxikus nehézfémek mobilizálódhatnak, ezáltal a vízrendszeren vagy a táplálékláncon keresztül a nehézfémek ökoszisztémába való bejutását okozhatja, veszélyeztetve ezzel az érzékenyebb fajokat, és magát az embert.

Az arzén átlagos koncentrációja a litoszférában 1,5-2 mg/kg. A talajvizekben 0,01-2.100 mg/dm³ arzén mérhető. A világ talajainak arzéntartalma 1-95 mg/kg koncentrációtartományban változik, a szennyezetlen talajok általában 10 mg/kg-nál kevesebb arzént tartalmaznak (Alloway, 1990; Adriano, 1986; Kádár, 1991; Simon 1999).

A magyarországi talajok mezőgazdaságilag művelt és az élő szervezetek számára legkönnyebben hozzáférhető felső genetikai szintjében az összes arzéntartalom 1-15 mg/kg, ami megközelíti a 15 mg/kg szennyezettségi határértéket. A vizsgált minták 79%-ában azonban az arzéntartalom kevesebb mint 7 mg/kg. Az arzén elsősorban a közethatású, illetve a vizes réti-, láp- és öntéstalajokban fordul elő (KvVM, 2010).

Az arzén a talajban a csapadékvízzel nehezen mozog, nem mosódik le. Toxicitása nagyban függ oxidációs állapotától. A jól levegőzött talajokban a kevésbé mérgező As(V) forma, a tömörödött, levegőtlen, vízzel borított talajban a mérgezőbb As(III) forma fordul elő. Az arzén- és a foszforanionok (arzenát és foszfát) kémiai rokonságuk miatt konkurálnak az agyagásványok, humusz és fémoxidok felületén való megkötődésükkor. A P/As arány meghatározó a mérgezés kialakulásakor. A foszfor nemcsak akadályozhatja az arzén oldhatóvá válását a talajban, hanem a növényi felvételét, illetve a növényen belüli transzportját is gátolhatja (Adriano, 1986; Kádár, 1991, 1995, 1996a, 1996b).

A növények számára az arzén nem esszenciális mikroelem, nagyon alacsony koncentrációban azonban serkenti a gyökér növekedését. Ezen tulajdonsága valószínűleg a foszfor felvehetőségének elősegítésével függ össze. Az arzén a növényekben nehezen szállítódik, így a gyökerekben halmozódik fel, a növény föld feletti szerveiben azonban az arzénkoncentráció nem, vagy csak kis mértékben haladja meg a nem szennyezett talajon nőtt növényzet arzénkoncentrációját (Liebig, 1966; KvVM, 2010; Kádár, 1991, 1995, 1996a, 1996b; Simon 1999a).

Az egyes növényfajok arzén érzékenysége igen eltérő. Bizonyos fajok igen jól jelzik a talaj arzén készletét, képesek az arzént nagyobb mennyiségben passzív felvétellel (tömegárammal) felhalmozni. Így pl. a szennyezetlen, kis arzénkészlettel rendelkező talajon század mg/kg nagyságrendű, míg erősen szennyezett talajon akár 6-8000 mg/kg arzén koncentráció is előfordulhat. A szennyezetlen talajon növény 10 mg/kg-nál nagyobb koncentrációban nem tartalmaz arzént. Arzén mérgezéskor a növények szövetei rózsaszínűek, majd világossárgák lesznek (Fodor, 2002; Kádár, 1991, 1995, 1996a, 1996b).

A Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium megbízásából az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetében 1991-ben indult a „Környezetünk nehézfém terhelésének vizsgálata” című kutatási program, melynek célja, hogy a főbb hazai talajokon szabadföldi kisparscellás tartamkísérletekben vizsgálják a

nehézfémek és más potenciálisan toxikus elemek viselkedését a talaj-növény rendszerben és a táplálékláncban. A kutatási programban az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetében kidolgozott irányelvek és módszertan szerint 1994-ben az Eszterházy Károly Egyetem jogelődje is bekapcsolódott. A vizsgált toxikus elemek egyike az arzén volt.

2. Anyag és módszer

A szabadföldi kisparcellás nehézfém terhelési tartamkísérlet beállítására 1994 őszén a Károly Róbert Főiskola Tass-pusztai Tangazdaságában savanyú, kötött csernozjom barna erdőtalajon 8 elemmel (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn), 3 terhelési szinten (0/30, 90 és 270 kg elem/ha), 3 ismétlésben, 35 m² területű (3,5 m x 10 m-es) parcellákkal került sor. A kezeléseket az 1. táblázat ismerteti.

1. táblázat: A nehézfémterhelési szabadföldi kísérlet kezelései (csernozjom barna erdőtalaj, Mátraalja, Tass-pusztá, 1994.)

Elem jele	Terhelési szintek kg elem/ha			Alkalmazott sók formája
	1	2	3	
Al	0	90	270	Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O
As	30	90	270	NaAsO ₂
Cd	30	90	270	3CdSO ₄ ·8H ₂ O
Cr	30	90	270	K ₂ CrO ₄
Cu	30	90	270	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Hg	30	90	270	HgCl ₂
Pb	30	90	270	Pb(NO ₃) ₂
Zn	30	90	270	ZnSO ₄ ·7H ₂ O

Forrás: Fodor, 2002

Az osztott parcellás (split-plot) elrendezésű kísérletben a 8 vizsgált elem jelentette a főparcellákat, a 3 terhelési szint az alparcellákat. A kezeléseket száma 24, az összes parcellaszám pedig 72 volt. A parcellákat 2 m-es utak határolták a jó megközelítés, valamint a művelésből adódó talajáthordás csökkentése érdekében. Az ismétléseket 4 m-es utak választották el egymástól. A kísérletet 11 m-es füvesített védősáv vette körül az eróziós talajelhordás megakadályozása céljából. A parcellák összes területe 2520 m², az utak, szegélyek védősáv területe 6728 m², a kerítéssel bekerített terület 9248 m².

A kezeléseket az elemek vízzeloldható sóival végeztük egy alkalommal, a kísérlet beállításakor. A kiszórando adagokat előre kimértük, a helyszínen száraz homokkal összekevertük és kézzel egyenletesen szétszórtuk a parcellákon. A kiszórást követően a sókat kombinátorral 8-10 cm-re a talajba dolgoztuk.

A jelzőnövény 1998-ban borsó (*Pisum sativum* L.), 1999-ben silőcírok (*Sorghum bicolor* L.), 2001-ben ősziárpa (*Hordeum vulgare* L.), 2002-ben fehér mustár (*Sinapis alba* L.), 2003-ban rostkender (*Cannabis sativa* L.) és 2005-2008 között lucerna (*Medicago sativa* L.) volt. A jelzőnövény 1998-ban borsó (*Pisum sativum* L.), 1999-ben silőcírok (*Sorghum bicolor* L.), 2001-ben ősziárpa (*Hordeum vulgare*

L.), 2002-ben fehér mustár (*Sinapis alba* L.), 2003-ban rostkender (*Cannabis sativa* L.) és 2005-2008 között lucerna (*Medicago sativa* L.) volt. A talajmunkák, trágyázás, vetés, ápolási munkák minden évben az általános üzemi agrotechnika szerint történtek. A kísérletben talajfertőtlenítés, vegyszeres gyomirtás nem volt, hogy a peszticidek esetleges hatása a kísérletet ne zavarhassa meg.

Minden kísérleti évben meghatároztuk a jelzőnövények arzéntartalmát. A növénymintavétel a növények tápláltsági állapotát leginkább meghatározó fenofázisokban történt. A mintavétel során minden parcellán háromszor egy véletlenszerűen kiválasztott folyóméterről a teljes föld feletti növényt leszedtük a parcellák szegélyétől 0,5 m-t körben elhagyva. A növényi minták elemtartalmának meghatározását tömegmérés, szárítás és darálás előzte meg. A növénymintákban kísérleti elemeket cc. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ feltárást követően ICP technikával vizsgáltattuk.

Az adatok matematikai, statisztikai értékelése a kéttényezős, osztott parcellás (split-plot) elrendezésű kísérletek esetén variancia-analízissel történt, az összefüggés-vizsgálatokat pedig regresszió analízissel végeztem. Az SzD értékek $P=5\%$ -os szignifikancia szintre vonatkoznak.

3. Eredmények és értékelésük

A talaj arzenterhelésének hatását a légszáraz növények arzéntartalmára a 2. táblázat mutatja. A táblázatból látható, hogy a kontroll parcellán termesztett növények esetén a növények, növényi szervek As-tartalma minden esetben a kimutathatósági szint alatt volt.

A borsó kísérletben a borsó szárban és hüvelyben a 270 kg/ha terhelési szinten jelentős As-akkumuláció volt mérhető. Szignifikáns kezeléshatás a 270 kg/ha terhelési szinten volt kimutatható, ahol a szár és hüvely As-tartalma elérte a 2,1 mg/kg-os értéket. A borsószem egyik terhelési szinten sem szennyeződött, az As-tartalom minden esetben kimutathatósági szint alatt volt.

A cirok esetén az arzénakkumuláció a 90 kg/ha és a 270 kg/ha terhelési szinten volt kimutatható (0,2-0,7 mg/kg), ahol az As-dúsulás mértéke statisztikailag is igazolható volt ($P=5\%$).

Az őszi árpa egyes szerveiben a növekvő talajterhelés hatására az arzén gyenge dúsulást mutatott. A talaj növekvő As-terhelésének hatása statisztikailag igazolhatóan ($P=5\%$) csak a 270 kg/ha terhelési szinten a hajtás és a szalma esetén mutatkozott meg. A legnagyobb (270 kg/ha) terhelési szinten szervenként 0,3 – 0,4 mg/kg között változott az arzéntartalom. A legmagasabb koncentráció a betakarításkori szalmában volt mérhető.

2. táblázat: A talaj arzénterhelésének hatása a légszáraz növények arzéntartalmára (mg/kg légszáraz anyag, csernozjom barna erdőtalaj, Mátraalja, Tass-puszta)

Mintavétel		Kezelés 1994 őszén. kg/ha				SzD _{5%}	Átlag
ideje	helye	0	30	90	270		
<i>Borsó kísérlet 1998-ban</i>							
07. 14.	Szár+hüvely ⁴	< 0,1	0,3	0,6	2,1	0,7	0,8
07. 14.	Szem ⁴	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<i>Cirok kísérlet 1999-ben</i>							
09. 30.	Szár+levél ⁴	< 0,1	< 0,1	0,2	0,7	0,4	0,2
<i>Őszi árpa kísérlet 2001-ben</i>							
04. 27.	Hajtás ¹	< 0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2
07. 12.	Szalma ⁴	< 0,1	0,1	0,15	0,4	0,3	0,2
07. 12.	Szem ⁴	< 0,1	0,15	0,3	0,35	0,5	0,25
<i>Mustár kísérlet 2002-ben</i>							
05. 23.	Hajtás ²	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
07. 11.	Szár ⁴	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<i>Kender kísérlet 2003-ban</i>							
05. 03.	Hajtás ²	< 0,1	< 0,1	0,1	0,6	0,3	0,2
07. 30.	Levél ⁴	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
07. 30.	Kóró ⁴	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<i>Lucerna kísérlet 2007-ben</i>							
06. 10.	Széna ³	< 0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1

¹- Bokrosodás végén, ²- 4-6 leveles korban, ³- virágzás kezdetén, ⁴- betakarításkor

Forrás: A szerző saját szerkesztése

A kísérlet nyolcadik évében a mustár esetén az arzén sem a hajtásban, sem a szárban nem volt kimutatható. A kísérleti eredmények szerint a mustár védett az As-terheléssel szemben.

A kender arzénakkumulációt csak a hajtásban mutatott a 90 kg/ha és a 270 kg/ha terhelési szinten. A legnagyobb terhelés esetén a kezeléshatás statisztikailag nem volt igazolható (P=5%). A kender levélben és a kóróban az arzén koncentráció nem érte el a kimutathatósági határt.

A kísérlet tizenkettedik évében termesztett lucernában mérsékelt As-dúsulás volt tapasztalható, ami csak tendenciájában, statisztikailag nem igazolható (P=5%) módon jelezte a kezeléshatást.

A kísérleti eredmények a kutatási program nagyhöröcsöki kísérleti helyén, mészlepedékes csernozjom vályogtalajon a közösen vizsgált jelző növények (borsó, őszi árpa, lucerna) esetén hasonló eredményeket mutatott (Kádár, 2001).

A borsó esetén arzénakkumulációt csupán a szár mutatott (2,4 mg/kg), míg a levél, hüvely és mag arzénnal nem szennyeződött. A szennyeződés mértéke a borsó szár takarmány célú felhasználását itt is megakadályozta (Kádár, 2003).

Az őszi árpa eredményei a saját vizsgálatainkkal csaknem megegyező értékeket mutattak: az arzén az őszi árpa vegetatív szerveiben (hajtás, szalma) 1,2-4,5 mg/kg, a szemben 0,2-0,4 mg/kg mennyiséget ért el. A mag a határérték feletti As-terhelés miatt emberi fogyasztásra ugyancsak alkalmatlanná vált. A lucerna esetén a szalma arzén tartalma 0,3-1,1 mg/kg koncentrációt mutatott (Kádár, 2008).

4. Következtetések, összesség, záró megjegyzések, záró gondolatok

A növényanalízisek eredményei mindkét kísérleti helyen azt mutatják, hogy az évek múlásával az arzén mozgékonyasága jelentősen csökkent a talaj-növény rendszerben. A kísérleti növények szemtermése védett az As-szennyezéssel szemben, mindössze néhány növény vegetatív szerve mutatott némi akkumulációt. A talajban az arzén a vizsgált elemek közül közepesen mobilisnak bizonyult. A viszonylag magasnak tekinthető „oldható” elemtartalom jelentéktelen As-dúsulást okozott a növényekben. A kísérleti eredmények alapján kijelenthető, hogy az arzén mozgása gátolt a talaj-növény rendszerben.

A Magyar Takarmánykódex kötelező előírásairól szóló 44/2003. (IV. 26.) FVM rendelet a takarmányok vonatkozásában az arzén esetén 2 mg/kg koncentrációt tart elfogadhatónak a szárazanyagban, a 17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet lisztben, gabonaőrleményekben maximálisan 0,1 mg/kg, száraz hüvelyesekben 0,5 mg/kg arzéntartalmat engedélyez. A vonatkozó rendeletek alapján a 270 kg/ha kezeléssű parcellán termett borsó szár és hüvely takarmányozásra nem alkalmazható és az őszi árpa magtermése is mindhárom terhelési szinten emberi fogyasztásra alkalmatlanná vált.

A 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet az összes elemtartalom vonatkozásában az arzén esetén a szennyezettségi határértéket 15 mg/kg-ban jelöli meg. 2001-2007 között a szántott réteg „összes” As-tartalma a kezelt parcellákon 10-33 mg/kg között alakult. A mustár, a kender és a lucerna esetén a növények nem mutattak határérték feletti akkumulációt. Az őszi árpa esetén a 10 mg/kg „összes” As-tartalom terhelés mellett termelt magtermés 0,1 mg/kg As-tartalma elérte a fogyasztási határértéket. A kísérleti eredmények arra utalnak, hogy megfontolandó a talajszennyezettségi határértékrendszer arzénre vonatkozó szigorítása.

A 2001-es kísérleti évben a talaj „oldható” As-tartalma a kezelt parcellákon 1,2-7,2 mg/kg érték között mozgott. Kísérleti körülményeink között az őszi árpa termése fogyasztásra alkalmatlanná vált, amikor az „oldható” As-tartalom a szántott rétegben meghaladta az 1-2 mg/kg körüli koncentrációt. A 2007-es kísérleti évben a talaj „oldható” As-tartalma a kezelt parcellákon 1,5-5 mg/kg közötti értéket mutatott, amely mellett a lucerna As-tartalma a takarmányozás célú hasznosításra megadott határérték 5-15%-át érte csak el.

Irodalomjegyzék

- Adriano, D. C. (1986): *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. Springer – Verlag, New York – Berlin – Heidelberg – Tokyo, 533 p.
- Alloway, B. J. (szerk.) (1990): *Heavy Metals in Soils*. Blackie and Son Ltd. Glasgow and London. 7-28.

- Fodor L. (2002): *Nehézfémek akkumulációja a talaj-növény rendszerben*. Doktori (PhD) értekezés. VE Georgikon Mezőgazdaság Tudományi Kar, Keszthely.
- Kádár I. (1991): *A talajok és növények nehézfém-tartalmának vizsgálata*. KTM, MTA TAKI, Budapest.
- Kádár I. (1995): *A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon*. KTM, MTA TAKI, Budapest.
- Kádár I. (1996a): *Zárójelentés a „környezetünk nehézfém terhelésének vizsgálata 1994-1996” c. témában elért 1996 évi kutatásokról*. Kézirat. MTA TAKI, Budapest.
- Kádár I. (1996b): *Jelentés „A különböző nehézfémekkel beállított tartamkísérletek eltérő kezelési parcelláinak talajszelvényében található nehézfémek mérése, mélységi elmozdulásának vizsgálata és a vizsgálati eredmények értékelése” c. témában*. Kézirat. MTA TAKI, Budapest.
- Kádár I. (2001): Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon. I. Termés és ásványi összetétel. *Agrokémia és Talajtan*, 50 (1–2): 62–82.
- Kádár I. (2003): Mikroelem-terhelés hatása az őszi árpára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*, 52 (1–2): 105–120.
- Kádár I. (2008a): A talajszennyezés megítélése kutatói szemmel 2. *Agrokémia és Talajtan*, 57 (1): 177–190.
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (KvVM) (2010): *Hazánk környezeti állapota*. Készült a Fővárosi Levegőtisztaság-védelmi Kft. gondozásában, Budapest.
- Liebig, G. F. (1966): Arsenic. In: Chapman, H. D. (szerk.): *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Univ. of California, Riverside, 12–23.
- Simon L. (1999): Fitoremediáció. In: Simon L. (szerk.): *Talajszennyeződés, talajtisztítás*. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató, 5. kötet, Budapest, 221. p.
- Simon L. (2006): *Toxikus elemek akkumulációja, fitoindikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben*. MTA Doktori értekezés. Nyíregyháza.