

Élelmiszeripari felhasználásra szánt zöldborsó ásványi anyag összetételének vizsgálata növekvő koncentrációjú arzénkezelések függvényében

¹Várallyay Szilvia – ²Balláné Kovács Andrea – ¹Soós Áron – ¹Kovács Béla

Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

¹Élelmiszertudományi Intézet, Debrecen

²Agrokémiai és Talajtani Intézet, Debrecen

varallyay.szilvia@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Környezetünk egyre nagyobb mértékben terhelt különböző toxikus vegyületekkel és nehézfémekkel, melyek közül az egyik legjelentősebb veszélyt az élő szervezetre az arzén (As) jelenti.

Kutatásunk célja növekvő koncentrációjú arzénkezelés hatásának vizsgálata volt, zöldborsó egyes szerveinek (gyökér, szár, levél, hüvely, szem) elemtartalmára nézve, a növények fejlődésének 4. fenofázisában (teljes érés).

Kísérletünk során a növényeket tenyészházi körülmények között neveltük. Az arzént arsenát (As[V]) formájában, 0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg/kg koncentrációban alkalmaztuk.

A kísérleti eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a Ca-tartalom a gyökér és a hüvely esetén a legkisebb kezelés (3 mg/kg) hatására nőtt, majd ezt követően csökkenés volt megfigyelhető. A gyökérenél a 270 mg/kg-os kezelés esetén megnőtt a Ca-tartalom, mely töményedési effektus hatásaként fogható fel, hiszen vannak olyan elemek, amelyek képesek feldúsulni a lecsökkent biomasszában. A szár és a levél Ca-tartalmában csak a 30 mg/kg-ot meghaladó kezelések esetén volt változás megfigyelhető, mind a 90, mind a 270 mg/kg-os kezelés csökkentette a szár és a levél Ca-tartalmát. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a gyökér, szár, valamint a levél Na-tartalmát a legkisebb kezelés (3 mg/kg) növelte, az ennél nagyobb kezelések esetén azonban már csökkenő tendencia volt megfigyelhető. A generatív növényi részek esetén szintén növekedés volt megfigyelhető a 3 mg/kg-os kezelés esetén, ezt követően azonban lecsökkent a Ca-tartalom. A legnagyobb kezelés (270 mg/kg) esetén azonban ismételt növekedés volt megfigyelhető, mely a töményedési effektus eredménye lehet. A Mo-tartalomban bekövetkező változások tekintetében töményedési effektus a hüvely és a szár esetén a két legnagyobb (90 és 270 mg/kg) kezelés, míg a vegetatív részek esetén csak a legnagyobb kezelés esetén volt megfigyelhető. A hüvely és a levél esetén az alacsonyabb koncentrációjú kezelések nem okoztak számottevő változást, a gyökér és a szem esetén bár a legkisebb kezelés hatására megnőtt a Mo-tartalom, ezt követően csökkenés volt megfigyelhető. Szár esetén fordítva alakult, a legkisebb kezelés esetén csökkenés következett be a Mo-tartalomban, majd ezt követően növekedés volt megfigyelhető.

Kulcsszavak: arzén, borsó, tenyészedeény, elemtartalom

SUMMARY

The agricultural environment is contaminated with heavy metals and other toxic elements, which means more and more threats. One of the most important toxic element is the arsenic (As).

The objective of the study was to investigate the effect of As-treatments on the element content of the different parts of the green peas (root, stem, leaf, pod, pea) in the 4. phase of the plant development. Plants were grown in green house. Arsenic was applied in a form of arsenate (As[V]) and the plants were treated with 0, 3, 10, 30, 90 and 270 mg kg⁻¹ arsenic.

According to the results the Ca content of root and pod was increased in the case of the 3 mg kg⁻¹ As-treatment, after that decreasing tendency was observed. In the case of the 270 mg kg⁻¹ As-treatment, the Ca content in the root was increased, because some element is able to concentrate in the lower biomass. The Ca-content of stem and leaves was reduced when the plants were treated with more than 30 mg kg⁻¹ As. The lowest As-treatment (3 mg kg⁻¹) increased the Na content in the root, stem and leaves, however in the case of the higher As-dose, decreasing tendency was observed. In the case of the generative plant parts the 3 mg kg⁻¹ As-treatment also increased the Na content, nevertheless in the case of the higher As-treatments lower Na content was measured, however in the case of the highest As-treatment (270 mg kg⁻¹) the Na content was increased in the generative plant parts, probably the Na was concentrated in the lower biomass. In the case of the 90 and 270 mg kg⁻¹ As-treatment the Mo-content also was increased in the generative plant parts. The 270 mg kg⁻¹ As-treatment caused a similar tendency in the case of the generative plant parts as a result of the lower biomass. In the case of the pod and leaves, the lower As-doses did not cause significant changes. The Mo content was increased in the root and pea when the plants were treated with 3 mg kg⁻¹ As, but in the case of the higher treatments it was decreased. In the case of the stem it was reverse, the lowest As-treatment (3 mg kg⁻¹) decreased, nevertheless the further As-doses increased the Mo content.

Keywords: arsenic, green peas, element content, pots

BEVEZETÉS

Az arzén – melynek felfedezése Albertus Magnus nevéhez fűződik – már az ókor óta ismert elemek egyike.

Az arzén a természetben ma is mindenütt jelen van, megtalálható a levegőben, vízben, földkéregben, talajban, talajvízben, valamint az élő szervezetekben (Mandal

és Suzuki 2002). A talaj, valamint a talajvíz természetes és antropogén eredetű arzén szennyeződése a világ valamennyi részére kiterjedő globális probléma (Bundschuh és Garcia 2008). A „szennyeztelen” talajok arzéntartalma 10 mg/kg alatti (Adriano 2001). Az arzén oxidációs száma vegyületeiben -3, 0, +3 és +5 lehet (Smedley és Kinniburgh 2002). Az arzén a talaj-

ban és talajvízben elsősorban szerves formában, mint arzenit, illetve arzenát fordul elő. Oxidatív körülmények között az arzenát a fő arzenforma, míg anaerob talajokban az arzén főként, mint arzenit van jelen (Mandal és Suzuki 2002). Mind az arzenit, mind az arzenát könnyen felvehető a növények számára. Mivel az arzén toxikus a növények számára, így jelenléte mind a talajban, mind a talajvízben súlyos növényélettani rendellenességek kialakulásához vezethet (Quaghebeur és Rengel 2003, Raab et al. 2007). Számos kutató megfigyelte, hogy az arzén képes gátolni a növények növekedését, mindamelllett, hogy csökkenti a biomasszát (Carbonell-Barrachina et al. 1997), valamint a levelek számát (Shaibur et al. 2009). Habár az arzén toxikus, kis mennyiségben hasznos lehet a növények számára. Terméshozam növekedés volt megfigyelhető burgonya, búza, valamint rizs esetén kis koncentrációjú arzénkezelések esetén (Jacobs et al. 1970, Woolson et al. 1971, Xu és Thornton 1985, Carbonell-Barrachina et al. 1998a, Gulz és Gupta 2000). Az arzén nem csak a terméshozamra és az egyéb előzőekben említett paraméterekre, de a növények egyes szerveinek ásványi anyag összetételére is hatással van (Meharg és Macnair 1990). Az egyes elemek hiánya épp úgy fejlődési rendellenességek kialakulásához vezethet, mint a túlzott felvétel. Ebből adódóan kutatómunkánk célja a növekvő koncentrációjú arzén-kezelések hatásának vizsgálata volt zöldborsó egyes növényi szerveinek (gyökér, szár, levél, hüvely, szem) kalcium (Ca), nátrium (Na), valamint molibdén (Mo) felvételére nézve. Választásunk azért esett az említett elemekre, mert mindegyik kiemelkedő jelentőségű növényélettani szempontból. Egyre több fiziológia rendellenességről igazolódott be, hogy kapcsolatban van a különböző növényi szervek kalciumhiányával, valamint a kalcium növényen belüli eloszlásában bekövetkező anomáliákkal. A kalcium nélkülözhetetlen többek között a gyökerek normális növekedéséhez. A különböző növényi szervek molibdéntartalmának vizsgálata a pillangós virágú növények, így a zöldborsó esetén is kimelegedő jelentőségű. A növények esetén a nitrát-reduktáz molibdén tartalmú flavoprotein. Molibdén hiányában nitrát-akkumulációt tapasztalhatunk, hiszen nem történik meg a nitrát redukciója. A molibdén hiányára a pillangós virágúak különösen érzékenyek. A nátrium pedig a növények víz-háztartásában tölt be szabályozó szerepet (Pethő 1993).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérletünket a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrokémiai és Talajtani Intézet tenyészházában végeztük. A minta-előkészítésre, valamint az elem-analitikai vizsgálatokra a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Élelmiszertudományi Intézetében került sor.

A tenyészédes kísérletben alkalmazott teszt-növény

Kísérletünk során teszt-növényként a zöldborsót (*Pisum sativum* L.) választottuk. Döntésünket egyrészt az indokolta, hogy a borsó hazánkban a második legnagyobb területen természetet zöldsnövény, melynek élelmiszeripari jelentősége kiemelkedő, köszönhetően

konzerv- és fagyasztóipari felhasználásának. Másrésztől döntésünket erősítette, hogy a hazai zöldségtermesztő terület több mint 70%-a az Alföld térségében található, ahol a felszín alatti vízkészlet egyik súlyos problémáját az arzén jelenti. Választásunkat erősítette továbbá, hogy a kísérletben használt Avola borsó korai érésű, velő típusú fajta, mely rövid tenyészidővel rendelkezik így könnyen beilleszthető tenyészházi körülmények között végzett kísérletekbe.

A kísérletben alkalmazott talaj

A kísérletben alkalmazott talaj a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, hajdúsági löszháton elterülő Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészeledékes csernozjom talaj volt, hiszen a borsó számára legmegfelelőbb talajtípus a löszön kialakult meszes vagy mészeledékes csernozjom talaj. A kísérlet során felhasznált talaj jellemzői megegyeznek a Kovács és munkatársai (Kovács et al. 2015) kísérletében felhasznált talajéval. Munkánk során NPK-műtrágyázást alkalmaztunk, mely során a nitrogént NH_4NO_3 , a foszfort KH_2PO_4 , a káliumot pedig KH_2PO_4 , illetve K_2SO_4 formájában edényenként 100 cm^3 desztillált vizes oldat formájában jutattuk a talajba. A műtrágyák adagjainak meghatározásakor a kísérleti talaj tápanyag ellátottsága mellett, a borsó fajlagos tápanyagigényét, valamint a tervezett termésátlagot vettük figyelembe.

Alkalmazott arzénkezelések

Az arzént kálium-dihidrogén-arzenát (KH_2AsO_4) formájában alkalmaztunk, mely során a szükséges koncentrációt arzénra nézve, illetve talajra vonatkoztatva számoltuk ki.

Kísérletünkben 0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg/kg arzénkoncentrációt, továbbá kontroll kezelést alkalmaztunk.

A tenyészédes kísérlet kivitelezése

A kísérlet során 11–11 kg légszár, $1 \times 1 \text{ cm}$ átmérőjű szitán átszitált talajt mértünk be az egyes tenyészédesekbe. A műtrágyákat, valamint az arzenátot alapos keverés mellett oldat formájában ($100\text{--}100 \text{ cm}^3$ /edény) adagoltuk, kiemelt figyelmet fordítva a homogenizálásra. A talaj bekeverését követő (dátum) hét nap múlva vetettük el a magokat, mely során egy-egy tenyészédesbe 25–25 mag került elvetésre megközelítőleg 3–4 cm mélységre. A magok kelését követően a növények számát edényenként 16 darabra állítottuk be. A növények megerősödéséig edényenként napi 200 cm^3 desztillált víz segítségével történt az öntözés, majd a későbbiek során a maximális szántóföldi vízkapacitás 60%-ra nedvesítettük a talajt, tömegkiegészítés alapján. A teljes érés fenofázisában elemalanitikai vizsgálat céljából edényenként négy darab növény került felszámolásra. A növényeket óvatosan, a gyökerek épségére vigyázva eltávolítottuk a talajból. A gyökereket a talajtól folyó csapvíz alatt megtisztítottuk, majd desztillált vízzel öblítettük. Ezt követően az egyes növényi szerveket (gyökér, szár, levél, hüvely, szem) szárítószekrényben $65 \text{ }^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig szárítottuk.

Minta-előkészítés

A tömegállandóságig szárított növényi mintákat daráltuk, homogenizáltuk, majd a Kovács et al. (1996)

által kidolgozott $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ -os nedves-roncsolásos minta-előkészítési módszert alkalmaztuk, az alábbiaknak megfelelően. A növényi mintákból 0,1 g-ot mérünk be kémcsövekbe, majd $1\text{ cm}^3\text{ HNO}_3$ -at adtunk hozzá. Másnap a kémcsöveket blokkroncsoló készülék fűtőegységébe helyezve 60 °C -on 30 percen keresztül végeztük az előroncsolást. A minták szobahőmérsékletre történő lehűlését követően $0,3\text{ cm}^3\text{ H}_2\text{O}_2$ -ot adtunk hozzá, majd a főroncsolás 120 °C -on 90 percen keresztül zajlott. Ezt követően a mintákat ioncserélt vízzel 10 cm^3 -re egészítettük ki.

Elemanalitikai vizsgálatok

Az elemanalitikai meghatározásokhoz iCAP 6300 Dual (Thermo Fisher Scientific) típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométert (ICP-OES), valamint Thermo Scientific X-Series 2 Quadropole típusú induktív csatolású plazma tömegspektrométert (ICP-MS) alkalmaztunk.

Statisztikai módszer

Az eredmények statisztikai kiértékelésére SPSS 22.0 statisztikai programot alkalmaztunk. A paraméterek és az egyes tényezők közötti összefüggés statisztikai vizsgálatához egytényezős varianciaanalízist és Tukey-tesztet használtunk. A próbákat 5%-os P-érték alatt tekintettük szignifikánsnak.

EREDMÉNYEK

Arzénkezelés hatása zöldborsó egyes növényi szerveinek Ca-tartalmára

Az arzénal (KH_2AsO_4) kezelt zöldborsó egyes szerveinek (gyökér, szár, levél, hüvely, szem) Ca-tartalmában bekövetkező változásokat a különböző koncentrációjú arzén-kezelések hatására az 1. táblázat szemlélteti.

A növekvő koncentrációjú arzénkezelés hatására a hüvely Ca-tartalma a legkisebb koncentrációjú kezelés esetén 44%-kal nőtt a kontroll növény esetén mért értékhez képest. Az 10 mg/kg -os kezeléstől kezdődően azonban szignifikánsan csökkent a hüvely Ca-tartalma. A $3, 10, 30$ és 90 mg/kg -os kezelések hatására nőtt a szem Ca-tartalma, ez a növekedés statisztikailag azonban csak a 3 és a 90 mg/kg -os kezelés esetén igazolható. A legnagyobb arzéndózis (270 mg/kg) hatására azonban szignifikánsan lecsökkent a termés Ca-tartalma. A növény vegetatív részei közül a mind a szár, mind a levél esetén statisztikailag igazolható változás csak a 30 mg/kg -ot meghaladó kezelések esetén volt megfigyelhető. Szár esetén a 90 mg/kg -os kezelés 16%-os, majd a 270 mg/kg -os kezelés további 35%-os csökkenést okozott az említett növényi szerv Ca-tartalmában.

1. táblázat

Növekvő koncentrációjú arzénkezelések (0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg/kg) hatása zöldborsó egyes növényi szerveinek (gyökér, szár, levél, hüvely, szem) Ca-tartalmára

Arzénkezelés (mg/kg)(1)	Különböző növényi szervek Ca-tartalma (mg/kg)(2)				
	Gyökér(3)	Szár(4)	Levél(5)	Hüvely(6)	Szem(7)
0	14380±364 ^a	18076±215 ^a	45837±1615 ^a	13058±967 ^a	1042±79 ^a
3	21861±1408 ^b	20990±73 ^a	50011±1830 ^a	18852±320 ^b	1567±93 ^b
10	16747±2592 ^{ab}	19416±310 ^a	50919±967 ^a	16018±481 ^c	1228±39 ^a
30	15374±577 ^{ab}	20768±354 ^a	49921±781 ^a	13896±29 ^a	1189±51 ^a
90	18309±815 ^{ab}	17403±318 ^b	42199±531 ^b	12305±468 ^a	1633±42 ^b
270	22307±3258 ^b	11343±268 ^c	16793±1850 ^c	8184±50 ^d	911±12 ^c

Megjegyzés: az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között a Tukey-teszt alapján nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$)

Table 1: Effect of different arsenic treatments (0, 3, 10, 30, 90 and 270 mg kg⁻¹) on the Ca-content in the different parts of green pea (root, stem, leaf, pod, pea)

Arsenic treatments (mg kg⁻¹)(1), Ca-content in the different parts of green pea (mg kg⁻¹)(2), Root(3), Stem (4), Leaf (5), Pod (6), Pea (7), Note: means followed by the same letter within columns were not significantly different according to Tukey's multiple range test ($P \leq 0.05$).

A zöldborsó talajfelszín alatti szervének Ca-koncentrációjában bekövetkező változások tekintetében az alábbiak alapíthatóak meg. A legkisebb (3 mg/kg) és a legnagyobb (270 mg/kg) arzéndózisok esetén szignifikánsan nőtt a gyökér Ca-tartalma, a többi kezelés esetén mért értékek azonban statisztikailag nem különíthetők el sem az ezen kezelések, sem a kontroll növény esetén mért értékektől. A 270 mg/kg -os kezelés esetén tapasztalt szignifikáns növekedés valószínűleg az úgynevezett „töményedési” effektusnak köszönhető, hiszen a 270 mg/kg -os kezelés esetén a gyökér biomasszája erősen lecsökkent. A lecsökkent biomasszában pedig egyes elemek hajlamosak töményedni, dúsulni.

Arzénkezelés hatása zöldborsó egyes növényi szerveinek Na-tartalmára

A növekvő koncentrációjú arzénkezelések hatására a zöldborsó egyes szerveinek (gyökér, szár, levél, hü-

vely, szem) Na-tartalmában bekövetkező változásokat a 2. táblázat foglalja össze.

A növekvő koncentrációjú arzénkezelésben részesített talajon termesztett zöldborsó gyökerének Na-tartalma szignifikánsan csökkent, kivéve a legkisebb koncentrációjú kezelés esetén (3 mg/kg), ahol a Na-tartalom a kontroll növény esetén tapasztaltnál megközelítőleg kétszer nagyobb volt. A 10 és a 30 mg/kg -os kezelés esetén a gyökér Na-tartalmát illetően azonban statisztikailag igazolható különbség nem volt megfigyelhető. A vegetatív növényi szervek közül a levél esetében megállapítható, hogy a legalacsonyabb dózisu (3 mg/kg) kezelés hatására nőtt, a 10 mg/kg -ot meghaladó kezelések esetén azonban szignifikánsan csökkent a Na-tartalma. A szár tekintetében a 3 és 90 mg/kg -os kezelés kivételével, valamennyi kezelés csökkentette ezen növényi rész Na-koncentrációját.

2. táblázat

Növekvő koncentrációjú arzénkezelések (0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg/kg) hatása zöldborsó egyes növényi szerveinek (gyökér, szár, levél, hüvely, szem) Na-tartalmára

Arzénkezelés (mg/kg)(1)	Különböző növényi szervek Na-tartalma (mg/kg)(2)				
	Gyökér(3)	Szár(4)	Levél(5)	Hüvely(6)	Szem(7)
0	1617±45 ^a	2445±50 ^a	702±10 ^a	118±4 ^a	75±1 ^a
3	3352±94 ^b	3199±121 ^b	996±25 ^b	174±10 ^b	109±3 ^b
10	1390±80 ^c	2042±39 ^c	735±6 ^a	146±2 ^c	84±2 ^a
30	1164±99 ^c	1967±10 ^c	648±9 ^c	134±1 ^c	74±3 ^a
90	784±68 ^d	2567±47 ^d	483±17 ^d	144±1 ^c	56±2 ^c
270	402±31 ^e	1569±38 ^e	291±12 ^e	204±7 ^d	73±3 ^a

Megjegyzés: az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között a Tukey-teszt alapján nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$)

Table 2: Effect of different arsenic treatments (0, 3, 10, 30, 90 and 270 mg kg⁻¹) on the Na-content in the different parts of green pea (root, stem, leaf, pod, pea)

Arsenic treatments (mg kg⁻¹)(1), Na-content in the different parts of green pea (mg kg⁻¹)(2), Root(3), Stem (4), Leaf (5), Pod (6), Pea (7), Note: means followed by the same letter within columns were not significantly different according to Tukey's multiple range test ($P \leq 0.05$).

A generatív növényi részek közül a hüvely Na-tartalma a 3 mg/kg-os kezelés hatására szignifikánsan megnőtt a kontrollhoz képest, majd a 10, 30 és 90 mg/kg-os kezelések hatására szignifikánsan lecsökkent a 3 mg/kg-os kezelés esetén tapasztalt értékhez képest. A legnagyobb kezelés (270 mg/kg) esetén, azonban szintén növekedés volt megfigyelhető. A szem esetén a legkisebb kezelés (3 mg/kg) a borsóhüvelynél tapasztaltnál hasonlóan növekedést okozott a Na-tartalomban. A 10 és 30 mg/kg-os kezelések hatására azonban a szem Na-tartalma, a 3 mg/kg-os kezelés esetén mért értékhez képest lecsökkent, majd a 90 mg/kg-os kezelés hatására további csökkenés következett be. A legnagyobb kezelés (270 mg/kg) hatására azonban, a 90 mg/kg-os kezelés esetén tapasztalt értékhez képest szignifikáns növekedés volt megfigyelhető, a szemtermés Na-koncent-

rációja megközelítőleg a kontroll esetén mért értékkel volt azonos. A Na-tartalom tekintetében mind a hüvely, mind a szem esetén a 270 mg/kg-os kezelés esetén a 90 mg/kg-os kezelésnél mért értékhez képest fennálló szignifikáns növekedés valószínűleg a „töményedési” effektusnak köszönhető, hiszen mind a hüvely, mind a szem tömege jelentősen csökkent a 270 mg/kg-os As-dózis hatására.

Arzénkezelés hatása zöldborsó egyes növényi szerveinek Mo-tartalmára

A növekvő koncentrációjú arzénkezelésben részeltetett talajon termesztett zöldborsó gyökerének, szárának, levelének, valamint a borsóhüvelynek, illetve a szemnek a Mo-tartalmát a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat

Növekvő koncentrációjú arzénkezelések (0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg/kg) hatása zöldborsó egyes növényi szerveinek (gyökér, szár, levél, hüvely, szem) Mo-tartalmára

Arzénkezelés (mg/kg)(1)	Különböző növényi szervek Mo-tartalma (mg/kg)(2)				
	Gyökér(3)	Szár(4)	Levél(5)	Hüvely(6)	Szem(7)
0	2,50±0,19 ^a	2,85±0,06 ^a	0,449±0,054 ^a	1,15±0,07 ^a	2,89±0,20 ^a
3	5,43±0,51 ^b	1,75±0,02 ^b	0,327±0,025 ^a	1,26±0,05 ^a	2,15±0,10 ^a
10	3,29±0,40 ^c	2,05±0,03 ^{ab}	0,311±0,040 ^a	0,94±0,04 ^a	2,12±0,04 ^a
30	2,25±0,30 ^a	2,84±0,05 ^a	0,337±0,021 ^a	1,03±0,01 ^a	1,82±0,03 ^b
90	2,20±0,02 ^a	3,74±0,00 ^c	0,617±0,104 ^a	2,57±0,11 ^b	2,87±0,08 ^a
270	5,50±0,20 ^b	11,90±2,00 ^d	2,230±0,010 ^b	6,20±0,60 ^c	8,81±0,03 ^d

Megjegyzés: az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között a Tukey-teszt alapján nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$)

Table 3: Effect of different arsenic treatments (0, 3, 10, 30, 90 and 270 mg kg⁻¹) on the Mo-content in the different parts of green pea (root, stem, leaf, pod, pea)

Arsenic treatments (mg kg⁻¹)(1), Na-content in the different parts of green pea (mg kg⁻¹)(2), Root(3), Stem (4), Leaf (5), Pod (6), Pea (7), Note: means followed by the same letter within columns were not significantly different according to Tukey's multiple range test ($P \leq 0.05$).

Az összefoglalt eredmények alapján elmondható, hogy a kísérleti növényként alkalmazott zöldborsó levelének Mo-tartalma a 270 mg/kg-os kezelés esetén oly mértékben nőtt, hogy a kontroll kezelés esetén tapasztalt érték megközelítőleg ötszöröse volt megfigyelhető ezen kezelés esetén. Az alacsonyabb koncentrációjú kezelések (0, 3, 10, 30 és 90 mg/kg) esetén a levél Mo-koncentrációját illetően szignifikáns eltérés nem volt tapasztalható. A borsóhüvely Mo-tartalmát vizsgálva megállapítható, hogy a 90 mg/kg-os arzéndózis

esetén szignifikáns növekedés volt megfigyelhető, majd a 270 mg/kg-os kezelés hatására a 90 mg/kg-os kezelés estén tapasztalt érték tovább nőtt. Az alacsonyabb koncentrációjú kezelések (3, 10 és 30 mg/kg) hatására azonban nem következett be szignifikáns változás. A borsó szemtermésének Mo-koncentrációjában a 270 mg/kg-os kezelés hatására jelentős változás következett be, hiszen a kontroll esetén tapasztalt 2,89±0,20 mg/kg-os érték a legnagyobb kezelés hatására 8,81±0,03 mg/kg-ra nőtt. A borsószem Mo-tartalmában

szignifikáns változás a 3 és 10 mg/kg-os kezelések esetén nem volt tapasztalható. A 30 mg/kg-os kezelés hatására azonban szignifikáns csökkenés következett be, majd a 90 mg/kg-os kezelés hatására a szem Mo-tartalma megközelítőleg a kontroll esetén tapasztalt értékkel volt azonos. Habár a legkisebb kezelés (3 mg/kg) csökkentette a szár Mo-koncentrációját a kezelések koncentrációjának növekedésével ezt követően nőtt a szár Mo-tartalma. A tesztnövényként alkalmazott zöldborsó gyökerének Mo-koncentrációjában szignifikáns növekedés volt megfigyelhető a 3 és 10 mg/kg-os kezelések hatására, azonban a 30 és 90 mg/kg-os kezelések esetén mért értékek statisztikailag nem elkülöníthetők a kontroll esetén mért értéktől. A legnagyobb kezelés (270 mg/kg) hatására azonban szignifikáns növekedés volt megfigyelhető, mind a kontroll, mind a 10, 30 és 90 mg/kg-os kezelés esetén mért értékekhez képest.

Összességében az egyes növényi szövetek Mo-tartalmában bekövetkező változások tekintetében megállapítható, hogy a vegetatív részek esetén a 270 mg/kg-os, míg a generatív részek esetén a 90 és 270 mg/kg-os kezelések hatására bekövetkező szignifikáns növekedés valószínűleg a „töményedési” effektus eredménye.

KÖVETKEZTETÉSEK

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy az talaj növekvő arzéntartalma jelentősen befolyásolta a kísérlet során tesztnövényként alkalmazott zöldborsó Na-, Mo-, valamint Ca-koncentrációját. A Mo-tartalmában bekövetkező változások tekintetében megállapítható, hogy a levél esetén a legnagyobb (270 mg/kg) kezelés növelte, míg hüvely esetén a legnagyobb mellett a 90 mg/kg-os kezelés is szignifikáns növekedést okozott. A két legnagyobb kezelés (90 és 270 mg/kg) szintén szignifikáns növekedést okozott a szem Mo-koncentrációjában, azonban az alacsonyabb koncentrációjú kezelések esetén az átlagok tekintetében csökkenés volt megfigyelhető. A gyökér esetén a legkisebb (3 mg/kg) kezelés pozitívan hatott a gyökér Mo-felvételére, a többi kezelés esetén – a 270 mg/kg-os kezelés kivételével – azonban szignifikáns eltérés nem volt ta-

pasztalható. A 270 mg/kg-os kezelés szignifikánsan növelte a gyökér Mo-tartalmát, ugyanúgy, mint a szárét. A vegetatív részek esetén a legnagyobb, a generatív részek esetén pedig a két legnagyobb kezelés hatására bekövetkező szignifikáns növekedés az egyes részek Mo-tartalmában valószínűleg a töményedési effektusnak köszönhető. A különböző növényi részek Na-tartalmában bekövetkező változások alapján megállapítható, hogy a gyökér, valamint a levél Na-tartalmára bár a legkisebb (3 mg/kg) kezelés pozitívan hatott, a 3 mg/kg-ot meghaladó kezelések esetén a talaj As-tartalmának növekedésével szignifikánsan csökkenés volt megfigyelhető. Martínez et al. (2005) napraforgóval végzett kísérlete során szintén azt tapasztalta, hogy a növekvő koncentrációjú As-kezelések hatására csökkent a kísérleti növény gyökerének Na-tartalma. Mallick et al. (2011) kukoricával végzett kísérlete során szintén megerősítette az előzőekben leírtakat. A generatív növényi részek Na-tartalmát szintén növelte a legkisebb kezelés, majd a 3 mg/kg-os kezelés esetén mért értékhez képest csökkenés következett be a 10, 30 és 90 mg/kg-os kezelések hatására. A legnagyobb kezelés (270 mg/kg) esetén azonban növekedést tapasztaltunk, a 90 mg/kg-os kezelésnél mért értékhez képest, amely szintén a „töményedési” effektus hatásaként fogható fel. A Ca-tartalmat illetően a szár és a levél esetén a két legnagyobb kezelés (90 és 270 mg/kg) hatására szignifikánsan csökkenés volt megfigyelhető. Ezzel szemben Kumar et al. (2014), valamint Mallick et al. (2011), kísérletük során azt tapasztalták, hogy a növekvő koncentrációjú As-kezelések hatására nőtt a tesztnövény hajtásának és gyökerének Ca-tartalma. A Carbonell-Barrachina et al. (1998b) által paradicsommal végzett kísérlet esetén leírtak azonban megerősítik az általunk tapasztaltakat. A hüvely és a gyökér esetén bár a legkisebb (3 mg/kg) kezelés növelte a Ca-tartalmat, a 3 mg/kg-ot meghaladó kezelések esetén folyamatosan csökkent az említett részek Ca-koncentrációja, kivétel képez a 270 mg/kg-os kezelésben részesített talajon termesztett borsó gyökere, ahol a Ca-koncentráció jelentősen feldúsult.

IRODALOM

- Adriano, D. C. (2001): Trace Elements in the Terrestrial Environment. New York. Springer Science+Business Media LLC. 867.
- Bundschuh, J.–García, M. E. (2008): Rural Latin America - a forgotten part of the global groundwater arsenic problem? [In: Bhattacharya, P. (ed). Groundwater for Sustainable Development: Problems, Perspectives and Challenges.] CRC Press. 331–475.
- Carbonell-Barrachina, A. A.–Aarabi, M. A.–Delaune, R. D.–Gambrell, R. P.–Patrick Jr., W. H. (1998a): Bioavailability and uptake of arsenic by wetland vegetation: effects on plant growth and nutrition. *Journal of Environmental Science and Health*. 33. 1: 45–66.
- Carbonell-Barrachina, A. A.–Burló, F.–Burgos-Hernández, A.–López, E.–Mataix, J. (1997): The influence of arsenite concentration on arsenic accumulation in tomato and bean plants. *Scientia Horticulturae*. 71. 3–4: 167–176.
- Carbonell-Barrachina, A. A.–Burló, F.–López, E.–Mataix, J. (1998b): Tomato plant as affected by arsenite concentration. *Journal of Plant Nutrition*. 21. 2: 235–244.
- Gulz, P. A.–Gupta, S. K. (2000): Arsenaufnahme von Kulturpflanzen. *Agrarforschung Schweiz*. 7. 8: 360–365.
- Jacobs, L. W.–Keeney, D. R.–Walsh, L. M. (1970): Arsenic residue toxicity to vegetable crops grown on Plainfield sand. *Agronomy Journal*. 62. 5: 588–591.
- Kovács, B.–Györi, Z.–Prokisch, J.–Loch, J.–Dániel, P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27. 5–8: 1177–1198.
- Kovács, B.–Puskás-Preszner, A.–Huzsvai, L.–Lévai, L.–Bódi, É. (2015): Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 96: 38–44.
- Kumar, D.–Singh, V. P.–Tripathi, D. K.–Prasad, S. M.–Chauhan, D. K. (2014): Effect of arsenic on growth, arsenic uptake, distribution of nutrient elements and thiols in seedlings of *Wrightia arborea* (Dennst.) Mabb. *International Journal of Phytoremediation*. 17. 2–6: 128–134.

- Mallick, S.–Sinam, G.–Sinha, S. (2011): Study on arsenate tolerant and sensitive cultivars of *Zea mays* L. – Differential detoxification mechanism and effect on nutrients status. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 74. 5: 1316–1324.
- Mandal, B. K.–Suzuki, K. T. (2002): Arsenic round the world: a review. *Talanta*. 58. 1: 201–235.
- Martinez, J. P.–Kinet, J. M.–Bajji, M.–Lutts, S. (2005): NaCl alleviates polyethylene glycol-induced water stress in the halophyte species *Atriplex halimus* L. *Journal of Experimental Botany*. 56. 419: 2421–2431.
- Meharg, A. A.–Macnair, M. R. (1990): An altered phosphate uptake system in arsenic tolerant *Holcus lanatus* L. *The New Phytologist*. 116. 1: 29–35.
- Pethő M. (1993): *Mezőgazdasági növények élettana*. Akadémiai Kiadó. Budapest. 507.
- Quaghebeur, M.–Rengel, Z. (2003): The distribution of arsenate and arsenite in shoots and roots of *Holcus lanatus* is influenced by arsenic tolerance and arsenate and phosphate supply. *Plant Physiology*. 132. 3: 1600–1609.
- Raab, A.–Ferreira, K.–Meharg, A. A.–Feldmann, J. (2007): Can arsenic-phytochelatin complex formation be used as an indicator for toxicity in *Helianthus annuus*? *Journal of Experimental Botany*. 58. 6: 1333–1338.
- Shaibur, M. R.–Islam, T.–Kawai, S. (2009): Response of leafy vegetable kalmi (waters spinach; *Ipomoea aquatica* L.) at elevated concentrations of arsenic in hydroponic culture. *Water, Air, and Soil Pollution*. 202. 1: 289–300.
- Smedley, P. L.–Kinniburgh, D. G. (2002): A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. 17. 5: 517–568.
- Woolson, E. A.–Axley, J. H.–Kearney, P. C. (1971): Correlation between available soil arsenic, estimated by six methods, and response of corn (*Zea mays* L.). *Soil Science Society of America Journal*. 35. 1: 101–105.
- Xu, J.–Thornton, I. (1985): Arsenic in garden soils and vegetable crops in Cornwall, England: implications for human health. *Environmental Geochemistry and Health*. 7. 4: 131–133.