

## Arzénkezelés hatása kukorica és napraforgó csiranövények fiziológiai paramétereire

<sup>1</sup>Várallyay Szilvia – <sup>2</sup>Veres Szilvia – <sup>1</sup>Garousi Farzaneh – <sup>1</sup>Bódi Éva – <sup>1</sup>Kovács Béla

Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

<sup>1</sup>Élelmiszertudományi Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>Növénytudományi 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 arzén kezelés hatásának vizsgálata volt, kukorica és napraforgó növények hajtásának és gyökerének friss-, valamint száraz tömegére nézve, a növények fejlődésének korai stádiumában. Kísérletünk során a növényeket hidropónikus körülmények között, klímaszobában neveltük. Az arzént arzenit [As(III)] és arzenát [As(V)] formájában, 3, 10 és 30 mg/kg koncentrációban alkalmaztuk. Kukorica esetén a tápoldatra helyezést követő 14. napon, míg napraforgó esetén a 21. napon került meghatározásra a növények gyökerének, valamint hajtásának friss és száraz tömege.

A kísérleti eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a növekvő koncentrációjú arzenit, illetve arzenát kezelés csökkentette a kísérleti növények hajtásának és gyökerének friss-, valamint száraz tömegét, különösképpen a 30 mg/kg kezelések esetében, mely alapján elmondható, hogy a kukorica és napraforgó arzenittel és arzenáttal történő kezelése negatív hatást eredményez a biotömeg akkumuláció tekintetében. Kísérletünk során kapott eredmények alapján az arzén toxicitásának mértéke a vizsgált paraméterek tekintetében napraforgó esetén nagyobb volt, mint kukorica esetén. Megállapítható továbbá, hogy ezen növények számára az arzenit toxikusabb, mint az arzenát.

**Kulcsszavak:** kukorica, napraforgó, arzén, friss tömeg, száraz tömeg

### SUMMARY

The environment is contaminated with heavy metals and other toxic compounds. One of the most important toxic element is the arsenic (As).

The objective of our study was to investigate the effect of As on fresh and dry weight of sunflower and maize in the early growth phases.

Seedlings were grown in climate room on nutrient solution which were treated with 3, 10 and 30 mg kg<sup>-1</sup> arsenic. The plants were treated separately with As(III) and As(V). After 14 day, changes in fresh and dry weight of maize shoots and roots were recorded. In the case of sunflower these parameters were measured after 21 day.

The applied As(III) and As(V) decreased the fresh and dry mass of the shoots and roots of seedlings, especially at concentration 30 mg kg<sup>-1</sup>. We can draw the conclusion that the treatments of the maize and sunflower roots with arsenic had negative effects on the biomass accumulation. We found that the sunflower plants are more sensitive to arsenic toxicity than maize plants, and all data demonstrate that the As(III) is more toxic to these plants than the As(V).

**Keywords:** maize, sunflower, arsenic, dry weight, fresh weight

### BEVEZETÉS

Az arzén a hazai kútvezetekben is előforduló – már régóta ismert – toxikus elem, mely a felszín alatti vízkészlet egyik legjelentősebb problémáját jelenti. Az arzénos kútvízzel érintett dél-alföldi térségben termő növények szennyeződhetnek arzénnal az öntözővíz által, mely egy súlyos élelmiszerbiztonsági probléma kialakulásának kockázatát hordozza magában (Galambos, 2006).

Az arzénnal szennyezett vízzel történő öntözés mellett a különböző bányászati tevékenységek, az arzén tartalmú növényvédő szerek használata is növeli a talaj arzén tartalmát (Williams et al., 2007; Zhu et al., 2008), mely nem csak lokális, hanem a világ több részére kiterjedő globális problémát jelent (Stoeva et al., 2003; Nrashant et al., 2007).

Az arzén a talajban, illetve a felszín alatti vizekben, szervetlen formában, nevezetesen mint arzenit és arzenát van jelen. Ez a két ionforma a természetben könnyen átalakul egymásba, valamint a növények számára is könnyen felvehető (Finngen and Chen, 2012; Xu et al., 2014).

Az arzén és a foszfor, mint kémiai elemek felépítésükben hasonlítanak egymáshoz (Zhao et al., 2009), melynek következtében az arzenátok és a foszfátok egymás antagonistái a növényi felvétel során (Ullrich-Eberius et al., 1989). Az arzén képes bármely összetett molekulába, illetve enzimbe a foszfor helyére beépülni, jelentősen csökkentve ezzel a foszfor felvételét, mely súlyos anomáliákat okozhat (Stepanok, 1998). A foszfor a növények számára esszenciális elem, mely nélkülözhetetlen a reproduktív szervek kialakulásához.

Az arzén növényekre gyakorolt negatív hatása többek között az idősebb leveleken megjelenő vöröses barna foltokban, a gyökerek sárgás-barna elszíneződésében, valamint a természetes mennyiségének csökkenésében nyilvánul meg (Bergman, 1979; Pais, 1980).

### ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérletünk célja a különböző koncentrációjú arzénkezelések hatásának vizsgálata volt kukorica és napraforgó növények friss és száraz tömegére vonatkozóan.

Kísérletünket a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási

Kar, Növénytudományi Intézet, Növényteni és Növény-életani csoportjának klímaszobájában végeztük.

### Magvak csíráztatása

A kukorica és napraforgó magvakat – a csíráztatást megelőzően – csapvízzel mostuk a csávázószer eltávolításának okából, majd a magvak felületének sterilizálása érdekében azokat 10%-os  $H_2O_2$ -oldatba helyeztük. 20 perc elteltével desztillált vízzel mostuk át. A kukorica magvakat a szemek duzzadása, valamint az egyenletesebb csírázás érdekében 2 órán keresztül áztattuk 0,1 M-os  $CaSO_4$ -oldatban. A magvak csíráztatása nedves szűrő papír közé helyezve történt, mely 5 napot vett igénybe.

### Növények nevelése tápoldaton

Kísérletünk során a kukorica és napraforgó növényeket hidropónikus körülmények között, 1,7 liter űrtartalmú edényekben neveltük. Egy-egy edénybe négy darab növényt helyeztünk, oly módon, hogy a növényeket az edénybe sterilizált szivacs segítségével rögzítettük.

Egyszikű növény nevelésére a következő összetételű tápoldatot alkalmaztuk: 2,0 mM  $Ca(NO_3)_2$ , 0,7 mM  $K_2SO_4$ , 0,5 mM  $MgSO_4$ , 0,1 mM  $KH_2PO_4$ , 0,1 mM KCl, 1  $\mu M$   $MnSO_4$ , 1  $\mu M$   $ZnSO_4$ , 0,2  $\mu M$   $CuSO_4$ , 0,01  $\mu M$   $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ , 0,1  $\mu M$   $H_3BO_3$ .

A kétszikű növény tápoldatának az összetétele a következő volt: 2,0 mM  $Ca(NO_3)_2$ , 0,7 mM  $K_2SO_4$ , 0,5 mM  $MgSO_4$ , 0,1 mM  $KH_2PO_4$ , 0,1 mM KCl, 1  $\mu M$   $MnSO_4$ , 1  $\mu M$   $ZnSO_4$ , 0,2  $\mu M$   $CuSO_4$ , 0,01  $\mu M$   $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ , 10  $\mu M$   $H_3BO_3$ .

A növények a vasat  $10^{-4}$  M Fe-EDTA formájában kapták.

A tápoldatok levegőztetése folyamatosan biztosított volt, azok cseréjét hetente 2 alkalommal végeztük. A környezeti feltételek szabályozottak voltak: fényintenzitás  $300 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ , a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra, a hőmérséklet periodicitása 25/20 °C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%.

### Alkalmazott arzénkezelések

Az arzént nátrium-arzenit ( $NaAsO_2$ ) és kálium-dihidrogén-arzenát ( $KH_2AsO_4$ ) formájában alkalmaztuk, mely során a szükséges koncentrációt arzenra vonatkoztatva számoltuk ki. Kísérletünkben mind az arzenit, mind az arzenát esetében 3, 10 és 30 mg/kg arzén koncentrációt, továbbá kontrolkezelést alkalmaztunk.

### Vizsgált fiziológiai paraméterek

Kísérletünkben kukorica és napraforgó növények hajtásának, valamint gyökerének friss és száraz tömegében bekövetkező változását vizsgáltuk az alkalmazott arzén koncentrációk függvényében. A friss és száraz tömeg meghatározására kukorica esetében a tápoldatra helyezést követő 14. napon, míg napraforgó esetén a 21. napon került sor. A száraz tömeg meghatározásához a növényi mintákat szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk 65 °C-on.

### Statisztikai módszer

Az eredmények statisztikai kiértékelésére SPSS 13.0 statisztikai programot alkalmaztunk. A paraméterek és az egyes tényezők közötti összefüggés statisztikai vizsgálatához egytényezős varianciaanalízist és Duncan-tesztet használtunk. 5%-os P-érték alatt tekintettük az eltéréseket szignifikánsnak.

### EREDMÉNYEK

#### Arzén kezelés hatása kukorica hajtásának és gyökerének száraz, valamint friss tömegére

Az arzénnal ( $KH_2AsO_4$ ) kezelt kukorica hajtásának és gyökerének friss, valamint száraz tömegében bekövetkező változást a különböző koncentrációjú arzénkezelések hatására az 1. táblázat szemlélteti.

A kísérlet során az egyes kezelések esetén alkalmazott arzén koncentrációja és a kísérleti növény hajtásának, valamint gyökerének tömege között negatív korreláció volt megfigyelhető.

1. táblázat

Arzént ( $KH_2AsO_4$ ) tartalmazó tápoldaton nevelt 14 napos kukorica növény hajtásának és gyökerének friss, valamint száraz tömege (g/növény) 0, 3, 10 és 30 mg/kg As kezelések esetén (n=4±s.e.)

Arzénkezelések (mg/kg)(1)	Hajtás(2)		Gyökér(3)	
	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)
0	2,0540±0,2285 <sup>c</sup>	0,1462±0,0166 <sup>c</sup>	0,8974±0,2231 <sup>b</sup>	0,0456±0,0095 <sup>b</sup>
3	0,6810±0,1131 <sup>b</sup>	0,0624±0,0088 <sup>b</sup>	0,3480±0,0453 <sup>a</sup>	0,0413±0,0051 <sup>b</sup>
10	0,3309±0,0051 <sup>a</sup>	0,0432±0,0182 <sup>ab</sup>	0,1366±0,0816 <sup>a</sup>	0,0293±0,0117 <sup>ab</sup>
30	0,1720±0,0126 <sup>a</sup>	0,0344±0,0028 <sup>a</sup>	0,0863±0,0024 <sup>a</sup>	0,0200±0,0005 <sup>a</sup>

Megjegyzés: az azonos oszlopban azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ( $P \leq 0,05$ )

Table 1: Fresh and dry weight of shoots ( $g plant^{-1}$ ) and roots ( $g plant^{-1}$ ) of maize plants grown on nutrient solution treated with different concentrations of As(V) (0, 3, 10, 30 mg kg<sup>-1</sup>). n=4±s.e.

Arsenic treatments (mg kg<sup>-1</sup>)(1), Shoot(2), Root(3), Fresh weight ( $g plant^{-1}$ )(2), Dry weight ( $g plant^{-1}$ )(3), Note: means followed by the same letter within columns were not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $P \leq 0,05$ )

A kukorica hajtásának friss tömege 67–92%-kal, gyökerének friss tömege 61–90%-kal csökkent a 3–30 mg/kg koncentrációjú arzénkezelés hatására. A friss tömeg legnagyobb mértékű csökkenése a 30 mg/kg-os kezelés esetén volt megfigyelhető.

A száraz tömegben bekövetkező változások hasonló tendenciát mutattak. A hajtás száraz tömege 0,1462 g-ról 0,0344 g-ra, a gyökér száraz tömege pedig 0,0456 g-ról 0,0200 g-ra csökkent a 30 mg/kg-os kezelés esetén.

Az arzén arzenit formában való jelenléte a tápoldatban szintén csökkenést okozott a kísérleti növényként alkalmazott kukorica hajtásának és gyökerének tömegében (2. táblázat).

A kontrollnövény hajtásának friss tömege megközelítőleg 27-szer nagyobb volt, mint abban az esetben, ha az arzenit formájában a kukoricát 30 mg/kg koncentrációban arzénal kezeltek. Az alkalmazott arzénstressz hatására csökkent a növény gyökérzetének tömege is.

2. táblázat

Arzént ( $\text{NaAsO}_2$ ) tartalmazó tápoldaton nevelt 14 napos kukorica növény hajtásának és gyökerének friss, valamint száraz tömege (g/növény) 0, 3, 10 és 30 mg/kg As kezelések esetén ( $n=4\pm s.e.$ )

Arzénkezelések (mg/kg)(1)	Hajtás(2)		Gyökér(3)	
	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)
0	2,0540 $\pm$ 0,2285 <sup>c</sup>	0,1462 $\pm$ 0,0166 <sup>c</sup>	0,8974 $\pm$ 0,2231 <sup>b</sup>	0,0456 $\pm$ 0,0095 <sup>b</sup>
3	0,5766 $\pm$ 0,0540 <sup>b</sup>	0,0700 $\pm$ 0,0246 <sup>b</sup>	0,3882 $\pm$ 0,0024 <sup>a</sup>	0,0356 $\pm$ 0,0085 <sup>b</sup>
10	0,2634 $\pm$ 0,0269 <sup>ab</sup>	0,0328 $\pm$ 0,0032 <sup>a</sup>	0,3188 $\pm$ 0,0061 <sup>a</sup>	0,0280 $\pm$ 0,0014 <sup>ab</sup>
30	0,0759 $\pm$ 0,0330 <sup>a</sup>	0,0157 $\pm$ 0,0051 <sup>a</sup>	0,0729 $\pm$ 0,0034 <sup>a</sup>	0,0130 $\pm$ 0,0013 <sup>a</sup>

Megjegyzés: az azonos oszlopban azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ( $P\leq 0,05$ )

Table 2: Fresh and dry weight of shoots (g plant<sup>-1</sup>) and roots (g plant<sup>-1</sup>) of maize plants grown on nutrient solution treated with different concentrations of As(III) (0, 3, 10, 30 mg kg<sup>-1</sup>).  $n=4\pm s.e.$

Arsenic treatments (mg kg<sup>-1</sup>)(1), Shoot(2), Root(3), Fresh weight (g plant<sup>-1</sup>)(2), Dry weight (g plant<sup>-1</sup>)(3), Note: means followed by the same letter within columns were not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $P\leq 0,05$ )

### Arzén kezelés hatása napraforgó hajtásának és gyökerének száraz, valamint friss tömegére

A napraforgó hajtásnak és gyökerének tömegében az arzenát formájában történő arzénkezelés hatására bekövetkező változását a 3. táblázat szemlélteti. Az összefoglalt eredmények alapján elmondható, hogy a kísérleti növényként alkalmazott napraforgó tömege az arzénkezelések koncentrációjának növekedésével csökkent. A kontroll növény hajtásának tömege 2,3039 g volt, mely 3 mg/kg, vagy azt meghaladó arzenát formájában történő arzénkezelés hatására 1 g alá csökkent. A különböző koncentrációjú (3, 10 és 30 mg/kg) kezelés hatására a hajtás és gyökér friss tömege 60–86%-kal csökkent, a csökkenés mértéke a száraz tömeg tekintetében 37–88% volt. A 65 °C-on tömegállandóság-

gig történő szárítást követően mind a kontroll, mind a kezelt növények tömege 1 g alá csökkent.

Az arzenit formájában történő kezelése hatására a napraforgó friss-, és száraz tömegében bekövetkező változásokat a 4. táblázat tartalmazza.

Napraforgó esetén az arzénkezelések eredményeként a hajtás és gyökér friss tömegének tekintetében 64–75% közötti, száraz tömege esetén 48–92% közötti csökkenés következett be. A kezelések hatására a hajtás friss tömege 1 g alá csökkent.

A napraforgóval és a kukoricával végzett vizsgálatok eredményeit összehasonlítva, megállapítható, hogy a kukorica toleránsabb az arzénal való toxicitásával/szennyezettségével/kitettséggel szemben, mint a napraforgó.

3. táblázat

Arzént ( $\text{KH}_2\text{AsO}_4$ ) tartalmazó tápoldaton nevelt 21 napos napraforgó növény hajtásának és gyökerének friss, valamint száraz tömege (g/növény) 0, 3, 10 és 30 mg/kg As kezelések esetén ( $n=4\pm s.e.$ )

Arzénkezelések (mg/kg)(1)	Hajtás(2)		Gyökér(3)	
	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)
0	2,3039 $\pm$ 0,2354 <sup>c</sup>	0,1830 $\pm$ 0,0445 <sup>c</sup>	1,0363 $\pm$ 0,1018 <sup>c</sup>	0,0657 $\pm$ 0,0221 <sup>ab</sup>
3	0,9171 $\pm$ 0,3610 <sup>b</sup>	0,0965 $\pm$ 0,0165 <sup>b</sup>	0,3500 $\pm$ 0,0096 <sup>b</sup>	0,0413 $\pm$ 0,0338 <sup>b</sup>
10	0,5531 $\pm$ 0,0299 <sup>ab</sup>	0,0335 $\pm$ 0,0195 <sup>a</sup>	0,2714 $\pm$ 0,0105 <sup>ab</sup>	0,0329 $\pm$ 0,0212 <sup>ab</sup>
30	0,3090 $\pm$ 0,0212 <sup>a</sup>	0,0267 $\pm$ 0,0080 <sup>a</sup>	0,1397 $\pm$ 0,0202 <sup>a</sup>	0,0079 $\pm$ 0,0093 <sup>a</sup>

Megjegyzés: az azonos oszlopban azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ( $P\leq 0,05$ )

Table 3: Fresh and dry weight of shoots (g plant<sup>-1</sup>) and roots (g plant<sup>-1</sup>) of sunflower plants grown on nutrient solution treated with different concentrations of As(V) (0, 3, 10, 30 mg kg<sup>-1</sup>).  $n=4\pm s.e.$

Arsenic treatments (mg kg<sup>-1</sup>)(1), Shoot(2), Root(3), Fresh weight (g plant<sup>-1</sup>)(2), Dry weight (g plant<sup>-1</sup>)(3), Note: means followed by the same letter within columns were not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $P\leq 0,05$ )

Arzén ( $\text{NaAsO}_2$ ) tartalmazó tápoldaton nevelt 21 napos napraforgó növény hajtásának és gyökerének friss, valamint száraz tömege (g/növény) 0, 3, 10 és 30 mg/kg As kezelések esetén ( $n=4\pm s.e.$ )

Arzénkezelések (mg/kg)(1)	Hajtás(2)		Gyökér(3)	
	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)	Friss tömeg (g/növény)(4)	Száraz tömeg (g/növény)(5)
0	2,3039 $\pm$ 0,2354 <sup>b</sup>	0,1830 $\pm$ 0,0445 <sup>c</sup>	1,0363 $\pm$ 0,1018 <sup>c</sup>	0,0657 $\pm$ 0,0221 <sup>a</sup>
3	0,8170 $\pm$ 0,2954 <sup>a</sup>	0,0942 $\pm$ 0,0092 <sup>b</sup>	0,6684 $\pm$ 0,0538 <sup>ab</sup>	0,0434 $\pm$ 0,0015 <sup>a</sup>
10	0,6925 $\pm$ 0,0851 <sup>a</sup>	0,0408 $\pm$ 0,0020 <sup>ab</sup>	0,5473 $\pm$ 0,0709 <sup>b</sup>	0,0214 $\pm$ 0,0061 <sup>a</sup>
30	0,5766 $\pm$ 0,0540 <sup>a</sup>	0,0154 $\pm$ 0,0019 <sup>a</sup>	0,3906 $\pm$ 0,0670 <sup>a</sup>	0,0117 $\pm$ 0,0019 <sup>a</sup>

Megjegyzés: az azonos oszlopban azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ( $P\leq 0,05$ )

Table 4: Fresh and dry weight of shoots (g plant<sup>-1</sup>) and roots (g plant<sup>-1</sup>) of sunflower plants grown on nutrient solution treated with different concentrations of As(III) (0, 3, 10, 30 mg kg<sup>-1</sup>).  $n=4\pm s.e.$

Arsenic treatments (mg kg<sup>-1</sup>)(1), Shoot(2), Root(3), Fresh weight (g plant<sup>-1</sup>)(2), Dry weight (g plant<sup>-1</sup>)(3), Note: means followed by the same letter within columns were not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $P\leq 0.05$ )

### KÖVETKEZTETÉSEK

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy kukorica és napraforgó arzénal történő kezelése negatív hatást gyakorolt az említett növények hajtásának és gyökerének friss, valamint száraz tömegére. Az

eredmények alapján az arzén toxicitásának mértéke a vizsgált paraméterek tekintetében napraforgó esetén nagyobb volt, mint kukorica esetén, továbbá elmondható, hogy az As(III) toxikusabb ezen növények számára, mint a As(V).

### IRODALOM

- Bergmann, W. (1979): Termesztett növények táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 11–23.
- Finnegan, P. M.–Chen, W. (2012): Arsenic Toxicity: The Effects on Plant Metabolism. *Frontiers in Physiology*. 3: 182.
- Galambos I. (2006): Kútvezek huminsav- és arzénmentesítése. Doktori (PhD) értekezés. Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék. Budapest. 18–21.
- Nrshant, S.–Deepak, K.–Anand, P. S. (2007): Arsenic in the environment: Effects on human health and possible prevention. *Journal of Environmental Biology*. 28: 259–365.
- Pais I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 37–45.
- Stepanok, V. V. (1998): The effect of arsenic on yield and elemental composition of agricultural crops. *Agrokimiya*. 12: 57–63.
- Stoeva, N.–Berova, M.–Zlatev, Z. (2003): Physiological response of maize to arsenic contamination. *Biologia Plantarum*. 47: 449–452.
- Ullrich-Eberius, C. I.–Sanz, A.–Novacky, A. J. (1989): Evaluation of arsenate- and vanadate-associated changes of electrical membrane potential and phosphate transport in Lemna Gibba G1. *Journal of Experimental Botany*. 40: 119–128.
- Williams, P. N.–Villada, A.–Deacon, C.–Raab, A.–Figuerola, J.–Green, A. J.–Feldmann, J.–Meharg, A. A. (2007): Greatly enhanced arsenic shoot assimilation in rice leas to elevated grain levels compared to wheat and barley. *Environmental Science and Technology*. 41: 6854–6859.
- Xu, J. Y.–Li, H. B.–Liang, S.–Luo, J.–Ma, L. Q. (2014): Arsenic enhanced plant growth and altered rhizosphere characteristics of hyperaccumulator *Pteris vittata*. *Environmental Pollution*. 194: 105–111.
- Zhao, F. J.–Ma, J. F.–Meharg, A. A.–McGrath, J. (2009): Arsenic uptake and metabolism in plants. *New Phytologist*. 181: 777–794.
- Zhu, Y. G.–Williams, P. N.–Meharg, A. A. (2008): Expose to inorganic arsenic from rice: a global health issue? *Environmental Pollution*. 154: 169–171.