

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**ELTÉRŐ ARZÉNFORMÁK HATÁSA NÉHÁNY SZÁNTÓFÖLDI
NÖVÉNY NÖVEKEDÉSI PARAMÉTEREIRE ÉS
ELEMFLVÉTELÉRE A FEJLŐDÉS KORAI STÁDIUMÁBAN**

Készítette:
Várallyay Szilvia
doktorjelölt

Témavezető:
Dr. Kovács Béla
egyetemi tanár



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola

Debrecen
2017

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A talaj – mint a szárazföldi ökoszisztémák alapvető és meghatározó közege –, valamint a felszíni és a felszín alatti vízkészlet szennyeződése súlyos környezeti problémát jelent. Az arzén (As) egyike azon szennyező elemeknek, melyek e tekintetben a világ valamennyi részére kiterjedő globális problémát okoznak. Az arzén az emberre, az állatra, valamint a magasabb rendű növényekre nézve egyaránt toxikus.

A talajban, valamint a talajvízben elsősorban szerves formában, mint arzenát [As(V)] és arzenit [As(III)] van jelen, ezért munkám során növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatását vizsgáltam tápoldat-növény, illetve talaj-növény rendszerben. Ehhez háromféle kísérlet típust állítottam be, melyek a következők voltak: tápoldatos, rizoboxos és tenyészedényes kísérletek. Vizsgálataim tárgyát e kísérletekből származó növény- és talajminták képezték.

A talajvizsgálatok során célom annak meghatározása volt, hogy a talaj összes arzén-tartalmának hány százaléka hozzáférhető a növények számára (oldható arzén-tartalom), valamint, hogy a talaj összes, illetve oldható arzén-tartalmának arányát nézve milyen mértékű különbség figyelhető meg az alkalmazott As(III)- és As(V)-kezelések hatása között?

A növényi minták vizsgálata során pedig az alábbi kérdések megválaszolását tűztem ki célul:

- Az egyes növényi részek szárazanyag-produktumára milyen hatást gyakorolnak a különböző szerves arzénformák [As(III) és As(V)]?
- Van-e kedvező hatása az arzenitnek [As(III)], illetve az arzenátnak [As(V)] a vizsgált koncentráció tartományban?
- A vizsgált koncentráció tartományon belül milyen As(III)-, illetve As(V)-koncentráció értékeknél jelentkeznek az As-toxicitás látható tünetei?
- Mennyi az az As(III)-, illetve As(V)-mennyiség, amely már oly mértékben toxikus, hogy a növények pusztulását indukálja?
- A növények fejlődésének kezdeti szakaszában az As(III)-, illetve As(V)-kezelések milyen hatást gyakorolnak a gyökérnövekedés intenzitására?
- Az As(III)- és As(V)-kezelések hogyan hatnak a különböző növényi részek arzén-tartalmára, valamint az arzén mely növényi részben akkumulálódik főként?
- Az egyszikű, valamint kétszikű növények arzén felvétele között megfigyelhető-e különbség?

- A növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatására a kísérleti növények mennyi arzént vonnak ki a tápoldatból, illetve a talajból, valamint a kivont arzén mennyisége hogyan oszlik meg a különböző növényi részek között?
- Az alkalmazott As(III)- és As(V)-kezelések hogyan befolyásolják a növények makro-, illetve mikroelem készletét?
- Az alkalmazott szervesetlen arzénformák, valamint a vizsgált makro- és mikroelemek között kimutatható-e szinergista vagy antagonistista kapcsolat?
- Milyen különbségek figyelhetők meg az As(III)- és As(V)-kezelések hatása között a vizsgált paraméterek tekintetében?

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Tápoldatos, illetve rizoboxos kísérletben teszt növényként egy egyszikű (kukorica) és egy kétszikű (napraforgó) növényt használtam, melyeknek mind gazdasági, mind humánélelmelésbeli szerepe jelentős.

A növények nevelésére a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Növénytudományi Intézet Növénytani és Növényélettani Csoport Klímaszobájában került sor, ahol a kísérlet során a környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra, a hőmérséklet periodicitása 25/20°C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65-75%.

Egyszikű növény nevelésére a következő összetételű tápoldatot alkalmaztam: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM MgSO_4 , 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl , 1 μM MnSO_4 , 1 μM ZnSO_4 , 0,2 μM CuSO_4 , 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, 1 μM H_3BO_3 .

A kétszikű növény tápoldatának az összetétele a következő volt: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM MgSO_4 , 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl , 1 μM MnSO_4 , 1 μM ZnSO_4 , 0,2 μM CuSO_4 , 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, 10 μM H_3BO_3 . A növények a vasat 10^{-4} M Fe-EDTA formájában kapták. Az arzént nátrium-arzenit (NaAsO_2) és kálium-dihidrogén-arzenát (KH_2AsO_4) formájában alkalmaztam, mely során a szükséges koncentrációt arzénra vonatkoztatva számoltam ki. A kísérlet során mind arzenit, mind arzenát esetében az alkalmazott kezelések a következők voltak: 0, 1, 3, 10, 30 és 90 mg kg^{-1} . A hidropónikus körülmények közt végzett kísérlet során a kukorica csíranövényeket 14 napig, a napraforgó csíranövényeket pedig 21 napig neveltem.

A rizoboxos kísérlet esetén a 2,5-3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket 23,5 cm x 10 cm x 1 cm dimenziójú, műanyagból készült, egyik oldalán átlátszó speciális növénynevelő dobozban helyeztem el, mely lehetővé tette a rizoszféra tanulmányozását is.

A kísérlet kivitelezéséhez a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepről származó mészlepedékes csernozjom talajt használtam fel. A kísérleti talajt a szántóföldi vízkapacitás 60%-ának megfelelő ioncserélt vízzel, illetve a kezeléseknek megfelelő koncentrációjú nátrium-arzenit (NaAsO_2), valamint kálium-dihidrogén-arzenát (KH_2AsO_4) oldattal nedvesítettem, mely során a szükséges koncentrációt arzénra nézve, illetve a talajra vonatkoztatva számoltam ki. A kísérletben 3, 10, 30, 90 és 270 mg kg^{-1} , továbbá kontroll kezelést alkalmaztam. A kísérleti talaj jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A kísérletben alkalmazott mészlepedékes csernozjom talaj jellemzői

Mélység	0-0,3 m
pH (KCl)	5,71
pH (H ₂ O)	6,58
Arany-féle kötöttség (K _A)	43
CaCO ₃	0,202%
Humusz	3,54%
AL-oldható P ₂ O ₅	199 mg kg ⁻¹
AL-oldható K ₂ O	451 mg kg ⁻¹
KCL-oldható NO ₃ -N+NO ₂ -N	8,04 mg kg ⁻¹
AL-oldható Na	332 mg kg ⁻¹
KCl-oldható Mg	176 mg kg ⁻¹
KCl-oldható SO ₄ ²⁻ -S	6,04 mg kg ⁻¹
KCl-EDTA-oldható Cu	5,79 mg kg ⁻¹
KCl-EDTA-oldható Zn	7,9 mg kg ⁻¹
KCL-EDTA-oldható Mn	262 mg kg ⁻¹
Vízoldható összes só	0,015%

A csíranövények talajba történő helyezését követően a rizoboxok átlátszó oldalát fekete fóliával borítottam be. A növényeket geotrópusan stimuláltam, – azaz 45°-os szögben megdöntve helyeztem el egy speciális boxtartó keretben – melynek következtében a gyökerek a nevelőbox fala mentén növekedtek, lehetővé téve ezáltal a gyökerek növekedésének nyomon követését. A gyökér növekedését, valamint az egyes rizoboxok tömegét naponta mértem és a transpiráció, valamint az evaporáció következtében leadott víz mennyiségét tömeg-kiegészítés alapján pótoltam. A kísérlet lezárására, valamint a növényi mintavételre akkor került sor, amikor valamely kezelési szintnél a növények gyökere elérte a box alját, kukorica esetén ez az ültetést követő 6., míg napraforgónál az 5. napon következett be.

A tenyészedényes kísérletet a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Agrokémiai és Talajtani Intézet Tenyészházában állítottam be 2016. április-június között. A tenyészedényes kísérlet során tesztnövényként zöldborsót (*Pisum sativum* L.) választottam. Döntésemet az indokolta, hogy a hazai zöldségtermesztő terület több mint 70%-a az arzénal szennyezett talajvízzel érintett Alföld térségében található. Választásomat erősítette, hogy hazánkban a zöldségfajok közül a zöldborsót termesztik a legnagyobb területen. A kísérletet szintén a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Látóképi Kísérleti Telepről származó mészlepedékes csernozjom talajon állítottam be. A kísérleti talaj tápanyag-ellátottságát, a zöldborsó fajlagos tápanyagigényét, valamint a tervezett termésátlagot figyelembe véve számoltam ki az NPK műtrágyák adagjait. A műtrágyázás során a nitrogént NH₄NO₃ (0,568 g edény⁻¹), a foszfort KH₂PO₄ (0,229 g edény⁻¹), a káliumot pedig KH₂PO₄ (0,079 g edény⁻¹),

illetve K_2SO_4 ($0,148 \text{ g edény}^{-1}$) formájában juttattam a talajba edényenként 100 cm^3 desztillált vizes oldat formájában. Az arzént kálium-dihidrogén-arzenát (KH_2AsO_4), valamint nátiumarzenit ($NaAsO_2$) formájában ioncserélt vízben feloldva juttattam a talajra, mely során a szükséges koncentrációt arzénra nézve, illetve talajra vonatkoztatva számoltam ki. A kísérletben 3, 10, 30, 90, 270 mg kg^{-1} , továbbá kontroll kezelést alkalmaztam. A tenyészvényes kísérlet felszámolására a borsó fejlődésének négy különböző fenofázisában (4 nódusos állapot, virágzás kezdete, zöldérés, teljesérés) szakaszosan került sor.

A növény és talajminták elemanalitikai vizsgálatát induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel (ICP-MS) és induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) végeztük. Növényminták esetén $HNO_3-H_2O_2$ -os nedves-roncsolásos mintaelőkészítési módszert alkalmaztam. A talajminták „összes” As-tartalmának meghatározásához mintaelőkészítési módszerként szintén atmoszférikus nyomáson tömény salétromsav és hidrogén-peroxid segítségével végzett nedves roncsolást használtam. A talaj növények számára hozzáférhető As-tartalmát a Lakanen-Erviö féle kivonószer felhasználásával határoztam meg.

Az eredmények statisztikai elemzéséhez az SPSS 22.0 statisztikai programot alkalmaztam. A paraméterek és az egyes tényezők közötti összefüggés statisztikai vizsgálatához egytényezős varianciaanalízist és Duncan-féle tesztet használtam. 5%-os P-érték alatt tekintettem az eltéréseket szignifikánsnak. Az azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés hatásának összehasonlítására két mintás T-próbát használtam (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. Talajminták vizsgálati eredményei

Munkám során meghatároztam a rizoboxos, illetve a tenyészedényes kísérlet esetén alkalmazott mészlepedékes csernozjom talaj összes, valamint Lakanen-Erviö oldható As-tartalmát. Az elemanalitikai vizsgálatok eredmények alapján megállapítottam, hogy az As(III)-, illetve As(V)-kezelések hatására a talaj összes, valamint oldható As-tartalma egyenletesen nőtt, azonban a talaj összes As-tartalmának csak kis része volt a növények számára hozzáférhető (2. táblázat).

2. táblázat: A rizoboxos és tenyészedényes kísérletek során alkalmazott mészlepedékes csernozjom talaj „összes” és „oldható” As-tartalma (mg kg^{-1}), valamint ezek aránya az alkalmazott kezelések (0, 1, 3, 10, 30, 90, 270 mg kg^{-1} As) függvényében ($n=3\pm s.e.$)

As-kezelés (mg kg^{-1})	"Összes" As-tartalom (mg kg^{-1}) (A)	"Oldható" As-tartalom (mg kg^{-1}) (B)	B/A
0	2,07±0,04 ^a	0,799±0,064 ^a	0,386
1	3,23±0,17 ^a	1,61±0,12 ^{ab}	0,497
3	5,20±0,28 ^a	2,54±0,78 ^{ab}	0,488
As(III) 10	12,4±1,7 ^b	4,84±0,12 ^b	0,390
30	31,9±1,8 ^c	19,3±1,6 ^c	0,607
90	93,4±1,2 ^d	53,3±3,2 ^d	0,570
270	273±6 ^e	162±10 ^e	0,593
0	2,07±0,04 ^a	0,799±0,064 ^a	0,386
1	3,20±0,60 ^a	1,57±0,20 ^{ab}	0,490
3	5,26±0,25 ^a	2,53±0,37 ^{ab}	0,481
As(V) 10	11,6±0,1 ^b	4,42±0,18 ^{ab}	0,382
30	32,1±0,5 ^c	15,7±1,1 ^b	0,488
90	92,0±4,3 ^d	39,1±2,6 ^c	0,425
270	269±4 ^e	153±17 ^d	0,569

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($P\leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$.

Az elemanalitikai eredmények alapján megállapítható, hogy a kontroll talaj is tartalmazott arzént ($2,07\pm 0,04 \text{ mg kg}^{-1}$), valamint bizonyítottam, hogy a különböző kezelések esetén az arzén eloszlása a talajban egyenletes volt. Megfigyeltem továbbá, hogy a kontroll talaj „összes” arzén-tartalmának 38,6%-a, az As(V)-tel kezelt talajban a 38,2-56,9%-a, míg a As(III)-kezeléseknél a 39-60,7%-a volt a növények számára felvehető formában jelen. A talajvizsgálati eredmények arra is rámutattak, hogy az azonos koncentrációjú, de eltérő formájú [As(III) és As(V)] kezeléseknél a növények számára hozzáférhető As-tartalom nagyobb volt az As(III)-kezelések alkalmazásakor, mint az As(V)-dózisoknál.

3.2. Növényminták vizsgálati eredményeiből levont következtetések

3.2.1. Növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatása a kísérleti növények szárazanyag-termékére, valamint a rizoboxban nevelt növények gyökérnövekedésére

A tesztnövények szárazanyag-termékét tanulmányozva általánosságban elmondható, hogy a tápoldatos kísérlet esetén, a növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatására csökkent mind a kukorica-, mind a napraforgó csíranövény szerveinek száraztömege (3-4. táblázatok).

3. táblázat: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövények szárazanyag-termékében (g növény⁻¹) bekövetkező változások a növekvő koncentrációjú (0, 1, 3, 10 és 30 mg kg⁻¹) As(III)- és As(V)-kezelések függvényében (n=12±s.e.)

As- kezelések (mg kg ⁻¹)	Kukorica csíranövény szárazanyag-terméke (g növény ⁻¹)			
	Hajtás		Gyökér	
	As(III)	As(V)	As(III)	As(V)
0	0,3028±0,0666 ^a	0,3028±0,0666 ^a	0,0964±0,0227 ^a	0,0964±0,0227 ^a
1	0,2497±0,0353 ^b	0,2801±0,0805 ^a	0,0522±0,0175 ^b	0,0655±0,0207 ^b
3	0,0752±0,0209 ^c	0,0724±0,0192 ^b	0,0506±0,0164 ^b	0,0370±0,0112 ^c
10	0,0318±0,0103 ^c	0,0399±0,0134 ^b	0,0214±0,0051 ^c	0,0205±0,0032 ^{cd}
30	0,0296±0,0086 ^c	0,0334±0,0078 ^b	0,0200±0,0061 ^c	0,0149±0,003 ^d

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (P ≤ 0,05). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: * p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

4. táblázat: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövények szárazanyag-termékében (g növény⁻¹) bekövetkező változások a növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések függvényében (n=12±s.e.)

As- kezelések (mg kg ⁻¹)	Napraforgó csíranövény szárazanyag-terméke (g növény ⁻¹)			
	Hajtás		Gyökér	
	As(III)	As(V)	As(III)	As(V)
0	0,811±0,208 ^a	0,811±0,208 ^a	0,228±0,025 ^a	0,228±0,025 ^a
1	0,498±0,055 ^b	0,567±0,068 ^{b*}	0,191±0,018 ^b	0,205±0,026 ^{ab}
3	0,399±0,024 ^b	0,522±0,111 ^{b*}	0,167±0,005 ^c	0,215±0,031 ^{a**}
10	-	0,374±0,005 ^c	-	0,178±0,008 ^b

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (P ≤ 0,05). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: * p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

A növekvő koncentrációjú As-kezelések egy- és kétszikű növényekre gyakorolt hatását elemezve azt is megfigyeltem, hogy a napraforgó (kétszikű növény) érzékenyebben reagált az As-toxicitásra, mint a kukorica (egyszikű növény). Azt tapasztaltam ugyanis, hogy a tápoldatos kísérletben a kukorica csíranövény számára a 90 mg kg⁻¹-os kezelés mindkét szervetlen As-forma tekintetében oly mértékben toxikusnak bizonyult, hogy már a kísérlet kezdetén a növények pusztulását okozta. A napraforgó csíranövényeknél viszont a 90 mg kg⁻¹-os kezelés mellett a 30 mg kg⁻¹-os dózis esetén mindkét kezelés típus, míg a 10 mg kg⁻¹-os koncentrációnál pedig az As(III)-kezelés hatására a kísérleti növények pusztulása következett be. Mindez

nemcsak az egy- és kétszikű növények eltérő érzékenységére, de az As(III) és As(V) toxicitásának különbségére is felhívja a figyelmet.

Amíg a tápoldatos kísérletben a kijuttatott As teljes mennyiségében elérhető volt a növények számára, addig a rizoboxos kísérletben a talajba juttatott As-nak csak kis része volt hozzáférhető a növények számára, melyből adódóan az arzén toxikus hatása rizoboxos kísérlet esetén kevésbé nyilvánult meg, a nagyobb koncentrációjú kezelések sem okozták a növények pusztulását. A rizoboxos kísérleti eredményeket értékelve azt tapasztaltam, hogy a kezelések hatására a kukorica és napraforgó növények szárazanyag-tartalmában számottevő változás nem következett be, csupán a 10 mg kg⁻¹-os As(V)-kezelés hatására nőtt meg szignifikánsan a kukorica csíranövény hajtásának száraztömege. Az arzénnal kezelt kukorica és napraforgó fejlődése, valamint az As(III)- és As(V)-kezelések hatása közötti különbségek a rizoboxos kísérlet gyökérnövekedési eredményeit tanulmányozva azonban jól megmutatkoznak. Megállapítottam ugyanis, hogy a kukorica csíranövényeknél az As(III)-kezelések esetén a kontroll növény gyökérnövekedése volt a legintenzívebb, az alacsonyabb koncentrációjú (1-10 mg kg⁻¹) As(III)-kezelések számottevő hatást nem gyakoroltak, ugyanakkor a nagyobb As(III)-dózisok (30-90 mg kg⁻¹) már akadályozták a gyökér fejlődését. Ezzel ellentétben az As(V)-tel kezelt növények tekintetében a kontroll növény gyökere fejlődött a legkisebb mértékben, a növekvő koncentrációjú As(V)-kezelések pedig egyre jobban fokozták a kukorica csíranövény gyökérnövekedését. A napraforgó teszt növényvel végzett rizoboxos kísérlet esetén a kontrollhoz képest az As(V)-kezelések az alábbi sorrendnek megfelelően szintén fokozták a csíranövények gyökérnövekedését: 30 mg kg⁻¹ > 3 mg kg⁻¹ > 10 mg kg⁻¹ > 1 mg kg⁻¹ > 90 mg kg⁻¹ > kontroll. Ezzel szemben az As(III)-mal kezelt kukorica növény gyökér növekedését csupán a 3 mg kg⁻¹-os dózis serkentette, az 1 és 10 mg kg⁻¹-os dózisok a kontrollhoz viszonyítva jelentős hatást nem gyakoroltak a gyökér növekedésére, a 30-90 mg kg⁻¹-os kezelések azonban már erőteljesen gátolták a gyökér fejlődését. Mindez megint csak felhívja a figyelmet az As(III)- és As(V)-kezelések növényekre gyakorolt eltérő hatására, valamint az egy- és kétszikű növények eltérő érzékenységére.

A tenyészedényes kísérlet eredményei arra mutattak rá, hogy a teszt növényként alkalmazott zöldborsó fejlődését nagymértékben meghatározta a kísérletben alkalmazott kezelési forma. A tenyészedényes kísérlet száraztömeg eredményeit elemezve megállapítottam ugyanis, hogy az As(III)-kezelések hatására a zöldborsó növény egyes részeinek szárazanyag-produktuma csökkent, a növények fejlődésének előrehaladtával szignifikáns csökkenést a talajfelszín feletti vegetatív részek, valamint a generatív szervek esetében azonban csak az egyre nagyobb

koncentrációjú kezelések eredményeztek. Továbbá a teljesérés fenofázisában az alkalmazott legkisebb (3 mg kg⁻¹) As(III)-kezelés már pozitívan hatott a levél szárazanyag felhalmozására. Ezzel szemben az As(V)-tel kezelt zöldborsó növény szárazanyag-produktumát figyelembe véve megállapítottam, hogy az alacsonyabb koncentrációjú kezelések fokozták a száraztömeg gyarapodását, melyet statisztikai értelemben is igazolni tudtam a szárnál és a gyökérnél a 3 mg kg⁻¹-os kezelés esetén az I. fenofázisban, illetve a 10 mg kg⁻¹-os kezelésnél nőtt a levél szárazanyag tartalma a II-IV. fenofázisokban, a száré a III-IV. fenofázisokban, a borsóhévelyé pedig a növény fejlődésének IV. fenofázisában. A 10 mg kg⁻¹-ot meghaladó As(V)-dózisok azonban gátolták a zöldborsó fejlődését valamennyi fenofázisban, melyet több alkalommal statisztikailag is bizonyítottam.

3.2.2. Növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatása a kísérleti növények As felvételére

A kísérleti növények As felvételét tanulmányozva, megállapítottam, hogy a tápoldatos (5-6. táblázatok) és a rizoboxos kísérletek esetében a növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatására a kukorica és napraforgó hajtásának, valamint gyökerének As-tartalma egyaránt nőtt, melyet statisztikailag számos esetben bizonyítani tudtam.

5. táblázat: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövény As-tartalma a növekvő koncentrációjú (0, 1, 3, 10 és 30 mg kg⁻¹) As(III)- és As(V)-kezelések függvényében (n=3±s.e.)

As-kezelések (mg kg ⁻¹)	Kukorica csíranövény As-tartalma (mg kg ⁻¹)		
	Hajtás	Gyökér	
As(III)	0	0,620±0,039 ^a	1,57±0,11 ^a
	1	8,51±2,95 ^{ab}	27,2±4,4 ^a
	3	30,05±3,23 ^b	146±17 ^b
	10	125±16 ^c	389±29 ^c
	30	131±21 ^c	448±64 ^d
As(V)	0	0,620±0,039 ^a	1,57±0,11 ^a
	1	5,01±0,30 ^a	15,8±3,5 ^a
	3	25,1±4,1 ^b	93,5±17,5 ^{a*}
	10	53,3±6,9 ^{c*}	400±66 ^b
	30	93,5±10,6 ^d	716±132 ^{b**}

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (P≤0,05). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: * p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

6. táblázat: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövény As-tartalma a növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések függvényében ($n=3\pm s.e.$)

As-kezelés (mg kg ⁻¹)	Napraforgó csíranövény As-tartalma (mg kg ⁻¹)	
	Hajtás	Gyökér
As(III)	0	<k.h. ^a
	1	77,4±3,8 ^b
	3	97,3±1,7 ^c
As(V)	0	<k.h. ^a
	1	81,4±1,9 ^{b***}
	3	86,4±0,7 ^{b*}
	10	132±7 ^c

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($P\leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$. Jelmagyarázat: <k.h. jelentése kimutatási határ alatt.

Megállapítottam továbbá mind a tápoldatos, mind a rizoboxos kísérlet tekintetében, hogy az As(III)- és As(V)-kezelések a napraforgó esetén intenzívebb As-akkumulációt eredményeztek, mint a kukorica csíranövényénél. Ezáltal bizonyítható, hogy a tápoldaton nevelt napraforgó azért reagált érzékenyebben az As-terhelésre, mert As felvétele a kukoricához viszonyítva sokkalta erőteljesebb volt. Mindemellett a mérési eredmények azt is igazolják, hogy a napraforgó csíranövény a kukoricához képest nagyobb mértékben képes az arzént felhalmozni szöveteiben anélkül, hogy az As-toxicitás egyes látható tünetei megjelenjenek, mely ismételten kiemeli az egy- és kétszikű növények As felvétele és érzékenysége közötti különbségeket.

Az eredmények értékelése során fontosnak tartottam annak meghatározását is, hogy egy adott növény mennyi As-t von ki a tápoldatból/talajból, valamint, hogy a kivont As-mennyiség hogyan oszlik meg a növényben, figyelembe véve az egyes növényi részek száraztömegét. Megállapítottam, hogy a kukorica és napraforgó csíranövény hajtásában, gyökerében, valamint magában a teljes csíranövényben jelenlévő As mennyisége az As(III)- és As(V)-kezelések koncentrációjának növekedésével fokozatosan emelkedett, csupán a tápoldaton nevelt napraforgó növény esetén figyeltem meg, hogy a 10 mg kg⁻¹-os kezelés már kismértékben visszaesést eredményezett a teljes növény által kivont As-tartalom tekintetében. A tápoldatos és a rizoboxos kísérlet során azt is tapasztaltam, hogy az As mindkét kezelési forma esetén döntően a kukorica-, illetve napraforgó csíranövények gyökerében akkumulálódott és csak kisebb rész volt jelen a hajtásban, mely véleményem szerint a növény detoxifikációs mechanizmusának részeként értelmezhető.

A tápoldatos kísérlet eredményeit tanulmányozva továbbá megállapítottam, hogy a napraforgó csíranövényénél kisebb arányban jutott be az arzén a hajtásba, mint a kukorica esetében. A rizoboxban kivitelezett kísérlet esetén az 1 mg kg⁻¹-os dózis esetén tapasztaltaktól eltekintve, mind az As(III)-, mind az As(V)-kezelések esetén ennek az ellenkezőjét tapasztaltam (7-8. táblázatok).

7. táblázat: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövény által felvett As mennyisége a növekvő koncentrációjú (0, 1, 3, 10, 30 és 90 mg kg⁻¹) As(III)- és As(V)-kezelések függvényében (n=3±s.e.)

As-kezelések (mg kg ⁻¹)	Kukorica csíranövény által felvett As mennyisége (µg)			
	Hajtás	Gyökér	Teljes növény	
As(III)	0	0,00229±0,00012 ^a (18)	0,0105±0,0004 ^a (82)	0,0127
	1	0,00680±0,00010 ^{ab} (27)	0,0182±0,0001 ^a (73)	0,0250
	3	0,00785±0,00009 ^{ab} (4)	0,175±0,003 ^b (96)	0,183
	10	0,00976±0,00002 ^{ab} (4)	0,208±0,001 ^b (96)	0,218
	30	0,0132±0,0005 ^b (2)	0,639±0,002 ^b (98)	0,652
	90	0,0247±0,0003 ^b (1)	3,26±0,01 ^b (99)	3,28
As(V)	0	0,00229±0,00012 ^a (18)	0,0105±0,0004 ^a (82)	0,0127
	1	0,00970±0,00047 ^{ab} (30)	0,0224±0,0005 ^a (70)	0,0321
	3	0,0134±0,0003 ^{b*} (5)	0,243±0,004 ^b (95)	0,256
	10	0,0171±0,0001 ^{b*} (5)	0,357±0,013 ^b (95)	0,374
	30	0,0174±0,0010 ^b (1)	1,15±0,04 ^{c*} (99)	1,17
	90	0,0338±0,0021 ^b (1)	4,23±0,15 ^c (99)	4,26

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (P≤0,05). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001. A zárójelben feltüntetett értékek az adott növényi rész és a teljes növény által felvett As mennyiségének az arányát fejezik ki %-ban.

8. táblázat: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény által felvett As mennyisége a növekvő koncentrációjú (0, 1, 3, 10, 30 és 90 mg kg⁻¹) As(III)- és As(V)-kezelések függvényében (n=3±s.e.)

As-kezelés (mg kg ⁻¹)	Napraforgó csíranövény által felvett As mennyisége (µg)			
	Hajtás	Gyökér	Teljes növény	
As(III)	0	0,00938±0,00006 ^a (22)	0,0329±0,0001 ^a (78)	0,0423
	1	0,0140±0,0004 ^b (22)	0,0500±0,0001 ^a (78)	0,0640
	3	0,0203±0,0002 ^b (20)	0,0794±0,0007 ^a (80)	0,0997
	10	0,0289±0,0005 ^b (8)	0,322±0,007 ^b (92)	0,351
	30	0,0888±0,0022 ^b (11)	0,693±0,004 ^b (89)	0,781
	90	0,424±0,023 ^c (11)	3,57±0,11 ^c (89)	3,99
As(V)	0	0,00938±0,00006 ^a (22)	0,0329±0,0001 ^a (78)	0,0423
	1	0,0173±0,0004 ^{b*} (28)	0,0437±0,0012 ^{a*} (72)	0,0610
	3	0,0243±0,0007 ^b (20)	0,0940±0,0027 ^{a*} (80)	0,118
	10	0,0698±0,0006 ^{b***} (20)	0,274±0,013 ^{b*} (80)	0,344
	30	0,800±0,034 ^{c***} (40)	1,17±0,08 ^{c***} (60)	1,97
	90	0,361±0,008 ^{d*} (7)	4,46±0,05 ^{d*} (93)	4,82

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (P≤0,05). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001. A zárójelben feltüntetett értékek az adott növényi rész és a teljes növény által felvett As mennyiségének az arányát fejezik ki %-ban.

A tenyészedényben nevelt zöldborsó As-tartalmát a növény fejlődésének több fenofázisában (4 nóduszos állapot, virágzás kezdete, zöldérés, teljesérés) is vizsgáltam. A tenyészedényes kísérleti eredményeket figyelembe véve megállapítottam, hogy a növény fejlődésének valamennyi szakaszában az alkalmazott As(III)- és As(V)-kezelések fokozták a különböző növényi részek As-tartalmát, a legtöbb esetben a növekedés statisztikailag is igazolható volt. A tenyészedényes kísérletből származó eredmények alapján megerősíthető az a korábbi megállapításom, mely szerint a növényen belül az arzén nehezen mozog, nagyobb részt a gyökérben van jelen és csak kisebb rész kerül át az egyéb növényi szervekbe. Megállapítottam, hogy a növény fejlődésének előrehaladtával, valamint az As(III)-kezelések koncentrációjának növekedésével, a felvett As egyre nagyobb mértékben a szárban maradt, a IV. fenofázis esetén azonban a szár As-visszatartó képessége kissé visszaesett. Ezzel ellentétben az As(V)-kezeléseknél a talajban jelenlévő As-koncentrációja, valamint a növény fejlettségi állapota nagyban befolyásolta, hogy az As a vegetatív szervek közül a szárban vagy a levélben halmozódik-e fel nagyobb mértékben.

Általánosságban elmondható továbbá, hogy a növény fejlődésének valamennyi szakaszában a kezelési koncentrációk növekedésével fokozódott a gyökérben visszatartott As mennyisége, a generatív szervek megjelenésével azonban a talajból kivont As az alacsonyabb koncentrációjú kezeléseknél nagyobb arányban nem a gyökérben, hanem a levélben volt jelen.

A talajfelszín feletti vegetatív részek As-tartalmát elemezve megállapítottam továbbá, hogy az I. fenofázis esetén a levélben található As aránya meghaladta a szárét, azonban a növény fejlődésének előrehaladtával a szár As-visszatartó képessége oly mértékben fokozódott, hogy a teljes érés fenofázisában a szárban jelenlévő As aránya a magasabb koncentrációjú dózisok esetén felülmúlta a levélét. A generatív részek által felvett As-mennyisége jóval kisebb volt, mint a vegetatív szerveké, illetve a borsószem a borsóhévelyhez képest általában kevésbé akkumulálta az arzént (9-10. táblázatok).

Megfigyeltem továbbá, hogy a teljes növény által felvett As mennyiségének növekedésével az esetek többségében csökkent a generatív szervekbe jutott As aránya. Humán egészségügyi szempontból lényeges megállapítás továbbá, hogy azon kezelési szintek esetén, ahol a szár As-visszatartó képessége felerősödött, a borsószembe a teljes növény által felvett As mennyiségének csupán 1% alatti része került be.

9. táblázat. Tenyészedényben nevelt, teljesérés fenofázisában lévő zöldborsó növények által felvett As mennyisége a növekvő koncentrációjú (0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg kg⁻¹) As(III)-kezelések függvényében (n=3±s.e.)

As(III)- kezelések (mg kg ⁻¹)	Zöldborsó által felvett As mennyisége (µg)					
	Szem	Hüvely	Levél	Szár	Gyökér	Teljes növény
0	0,0365±0,0019 ^a (5)	0,0665±0,0013 ^a (10)	0,18±0,003 ^a (26)	0,153±0,003 ^a (22)	0,261±0,001 ^a (37)	0,697
3	0,0873±0,0026 ^a (3)	0,203±0,011 ^b (8)	1,02±0,02 ^b (39)	0,608±0,058 ^b (23)	0,702±0,002 ^a (27)	2,62
10	0,0923±0,0007 ^a (2)	0,192±0,003 ^b (3)	1,65±0,02 ^b (28)	0,912±0,011 ^b (16)	3,02±0,06 ^b (51)	5,87
30	0,0733±0,0008 ^a (1)	0,164±0,008 ^b (1)	1,74±0,01 ^b (12)	2,11±0,01 ^c (15)	10,1±0,2 ^c (71)	14,1
90	0,0805±0,0022 ^a (0,4)	0,123±0,001 ^b (0,4)	3,68±0,15 ^c (13)	4,57±0,25 ^d (16)	20,6±0,5 ^d (71)	29,1
270	0,1306±0,0032 ^b (0,3)	0,437±0,007 ^c (1)	1,71±0,04 ^b (5)	4,42±0,04 ^d (12)	29,4±0,12 ^d (81)	36,1

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (P≤0,05). A zárójelben feltüntetett értékek az adott növényi rész és a teljes növény által felvett As mennyiségének az arányát fejezik ki %-ban.

10. táblázat. Tenyészedényben nevelt, teljesérés fenofázisában lévő zöldborsó növények által felvett As mennyisége a növekvő koncentrációjú (0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg kg⁻¹) As(V)-kezelések függvényében (n=3±s.e.)

As(V)- kezelések (mg kg ⁻¹)	Zöldborsó által felvett As mennyisége (µg)					
	Szem	Hüvely	Levél	Szár	Gyökér	Teljes növény
0	0,036±0,002 ^a (5)	0,0664±0,0013 ^a (10)	0,18±0,003 ^a (26)	0,153±0,003 ^a (22)	0,261±0,001 ^a (37)	0,696
3	0,170±0,001 ^{b**} (7)	0,162±0,002 ^{b*} (6)	0,845±0,002 ^{b*} (33)	0,786±0,011 ^a (30)	0,623±0,011 ^a (24)	2,59
10	0,182±0,008 ^{b**} (3)	0,259±0,003 ^{b*} (4)	2,64±0,01 ^{c*} (44)	1,53±0,01 ^{b**} (25)	1,41±0,01 ^{b**} (23)	6,02
30	0,140±0,01 ^{b**} (1)	0,198±0,001 ^b (2)	2,36±0,01 ^{c*} (19)	1,98±0,01 ^b (16)	7,82±0,07 ^{c*} (63)	12,5
90	0,18±0,01 ^{b**} (0,5)	0,408±0,007 ^{b**} (1)	2,9±0,01 ^{c*} (7)	5,19±0,04 ^c (13)	30,42±0,09 ^{d*} (78)	39,1
270	0,07±0,001 ^{b**} (0,1)	0,79±0,017 ^{c**} (1)	5,63±0,17 ^{d***} (10)	10,8±0,2 ^{d***} (18)	41,23±0,21 ^{d**} (70)	58,5

Az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (P≤0,05). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés esetén: * p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001. A zárójelben feltüntetett értékek az adott növényi rész és a teljes növény által felvett As mennyiségének az arányát fejezik ki %-ban.

3.3. Növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatása a kísérleti növények As felvételére

Munkám során vizsgáltam azt is, hogy a növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hogyan befolyásolják a növények makro-, illetve mikroelem készletét. A kísérleti növények **P koncentrációjának** meghatározását kifejezetten fontosnak tartottam, hiszen az arzenátok és foszfátok kémia viselkedésükben hasonlítanak egymáshoz, melynek következtében a kutatók egy része antagonistá kapcsolatot állapított meg köztük. Az antagonistá kapcsolat meglétét kukorica esetén mind a tápoldatos, mind a rizoboxos kísérletben igazolni tudtam, azonban a tenyészedényben nevelt zöldborsónál, illetve a napraforgónál mindkét kísérlet típus esetében azt tapasztaltam, hogy az As(V)-kezelések hatására megnőtt egyes növényi részek P-tartalma. Véleményem szerint ez összefüggésbe hozható azzal, hogy a növények P felvételében szerepet játszó transzporterek lehetnek kis-, illetve nagy affinitású foszfát transzporterek. A nagy affinitású foszfát transzporterek nagyobb affinitást elsősorban nem az arzenát, hanem a foszfát iránt mutatnak, így az ilyen felvételi rendszerrel rendelkező növények esetén a termőközeg

emelkedett As-tartalma mellett sem csökken a P felvétele. Feltételezésem szerint tehát, amíg a kukorica esetén elsősorban a kis affinitású foszfát transzporterek, addig a napraforgó és a zöldborsó tekintetében a nagy affinitású foszfát transzporterek jelenléte a domináns.

Az As(III)-mal kezelt tesztnövények P koncentrációjában bekövetkező változások megegyeznek az As(V)-tel kezelt növények esetén ismertetettekkel.

A kísérleti növények **S-tartalmát** megvizsgálva a napraforgó, illetve zöldborsó tesztnövényeknél az esetek többségében növekedést figyeltem meg, a kukorica csíranövényénél az As(III)- és As(V)-kezelések azonban többnyire gátolták a S beépülését.

Tápanyagos kísérletnél a napraforgó mindkét vizsgált növényi részének, míg a rizoboxos kísérletben a hajtás S-tartalma az As(III)-, és As(V)-kezeléseknél egyaránt megemelkedett. Zöldborsó tekintetében a S koncentrációjának növekedését figyeltem meg az As(V)-dózisok esetében a borsószemnél és a gyökérnél a 3 és a 270 mg kg⁻¹-os, a borsóhüvelynél a 3 és a 90-270 mg kg⁻¹-os, a levélnél a 10-270 mg kg⁻¹-os, a szárnál pedig a 270 mg kg⁻¹-os kezelés hatására. Az As(III) kijuttatásakor a borsószem S-tartalma a 90 mg kg⁻¹-os, a borsóhüvelyé a 3-10 és a 90-270 mg kg⁻¹-os, a levélé a 90 mg kg⁻¹-os, a szára a 90-270 mg kg⁻¹-os, a gyökéré pedig a 30-270 mg kg⁻¹-os dózisok hatására fokozódott szignifikánsan.

Az előzőekben említettekkel ellentétben a kukorica csíranövény gyökerének S-tartalma a tápanyagos és rizoboxos kísérlet esetében egyaránt csökkent a növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatására, továbbá a rizoboxban nevelt kukorica hajtásának S-koncentrációja is visszaesett az As(V)-dózisok alkalmazásakor.

Megállapítható tehát, hogy azon növények esetén melyeknek magasabb a S igénye - hiszen a napraforgónál, mint olajnövényénél a S alapvetően fontos a zsírsavak bioszintéziséhez, a zöldborsónál, pedig mint fehérjenövényénél, a S mint a fehérjék alapvető építőköve elengedhetetlen a megfelelő minőségű és mennyiségű fehérje-tartalom kialakításához - az esetek többségében a S-tartalom növekedése következett be. Az alacsonyabb S igénnyel bíró tesztnövény (kukorica) esetén azonban a S-tartalom több esetben is visszaesett mindkét kezelés típusnál.

A növények **Mg felvételét** tanulmányozva megállapítottam, hogy az esetek döntő részében a növények gyökerének Mg-tartalma az As(III)- és As(V)-kezelések hatására lecsökkent, melyet statisztikai értelemben a kukoricánál, illetve napraforgónál mind a tápanyagos mind a rizoboxos kísérletben bizonyítani tudtam. A talajfelszín feletti növényi részek Mg-koncentrációjában viszont elsősorban növekedés volt tapasztalható, csökkenést nagyobb részt csak a magasabb koncentrációjú kezelések indukáltak. A kukorica hajtásának Mg koncentrációját tápanyagos kísérletben a 3-10 mg kg⁻¹-os As(V)-kezelések, valamint az 1-3 mg kg⁻¹-os As(III)-dózisok

serkentették, azonban a 30 mg kg⁻¹-os kezelés már gátolta a Mg beépülését, mindkét kezelés típus esetében. Rizoboxos kísérletben megnőtt a napraforgó csíranövény hajtásának Mg-tartalma az alkalmazott As(III)- és As(V)-kezelések hatására. Tenyészedényes kísérletben több alkalommal is a Mg koncentráció növekedését tudtam kimutatni az As(V)-kezelések esetén, valamennyi növényi részben, az As(III)-kezeléseknél pedig a borsóhüvelyben, a levélben, a szárban, valamint a gyökérben. Ugyanakkor a magasabb koncentrációjú dózisok gátló hatása is megmutatkozott a legnagyobb (270 mg kg⁻¹) As(V)-dózisnál a levélben, a legnagyobb koncentrációjú (270 mg kg⁻¹) As(III)-kezelésnél pedig a borsóhüvelyben.

Az alkalmazott As(III)- és As(V)-kezelések a növények mikroelem készletére is hatással voltak. A növényminták mikroelem összetételét megvizsgálva megállapítottam, hogy az alkalmazott As(III)- és As(V)-kezelések legtöbbször fokozták a kísérleti növények **Fe-tartalmát**. Tápoldatos kísérletben napraforgónál a gyökér, kukorica esetében pedig mind a gyökér mind a hajtás esetén megfigyeltem, hogy az As(III)- és As(V)-dózisok egyaránt növelték a Fe koncentrációját, melyet az esetek többségében statisztailag is bizonyítani tudtam. Rizoboxos kísérletben a napraforgó hajtásában valamennyi As(V)-dózisnál, illetve az 1-30 mg kg⁻¹-os As(III)-kezeléseknél jegyeztem fel Fe-tartalom növekedést, a gyökérben a Fe koncentráció szignifikáns megemelkedését a 10 mg kg⁻¹-os As(III)-kezelés idézte elő. A rizoboxban nevelt kukorica hajtásnak Fe-tartalma mindkét kezelési formánál több esetben is szignifikánsan megnőtt, kukorica csíranövény gyökérben, az arzén Fe felvételt fokozó hatását csak az As(V)-kezeléseknél tudtam bizonyítani. A tenyészedényes kísérletben megnövekedett Fe koncentrációt az alábbi esetekben figyeltem meg: az As(III)-mal kezelt növény esetén a borsószemnél a 30-90 mg kg⁻¹-os, a borsóhüvelynél, a levélnél és a gyökérnél a 3 mg kg⁻¹-os, a szár esetében pedig a 90-270 mg kg⁻¹-os dózisok eredményezték a Fe-tartalom szignifikáns emelkedését. Az As(V)-kezeléseknél a borsószemben a 3-30 mg kg⁻¹-os, a borsóhüvelyben a 10-270 mg kg⁻¹-os, a levélben és a szárban a 270 mg kg⁻¹-os dózis okozott szignifikáns növekedést. Ennek magyarázata lehet részben, hogy az arzénát a Fe³⁺ ionnal komplexet képez, majd a vas(III)-arzenát a foszfáttal megegyező úton kerül felvételre, így a megnövekedett arzén felvétel maga után vonja a Fe-tartalom fokozódását is. További lehetséges magyarázat, hogy az arzénnek kitett növények az As(V) → As(III) átalakulás során reaktív oxigén gyököket (ROS) generálnak, a felszabaduló szabadgyökök megkötése az antioxidáns enzimrendszer feladata, melynek fontos komponense a Fe.

Az As és a **Mn** között antagonista kapcsolatot állapított meg, amelyet elsősorban a kukoricával végzett kísérletekben tudtam bizonyítani. Tápoldatos kísérletben a 10-30 mg kg⁻¹-os As(III)-, valamint valamennyi As(V)-kezelés hatására szignifikánsan csökkent a kukorica hajtásának Mn

koncentrációja, a gyökér tekintetében pedig szignifikáns Mn-tartalom csökkenés jelentkezett valamennyi kezelési szintnél mindkét arzénforma esetében. Rizoboxos kísérletben az As és Mn antagonista kapcsolata a kukorica gyökerében az alkalmazott As(III)- és As(V)-dózisoknál egyaránt megfigyelhető volt, a hajtás Mn-tartalma azonban csak a magasabb koncentrációjú (30-90 mg kg⁻¹-os) As(V)-kezeléseknél esett vissza.

Az előzőekben leírtakkal szemben azonban a napraforgónál, mint kétszikű növénynél a Mn-tartalom növekedését figyeltem meg csakúgy, mint a tenyészedenyben nevelt zöldborsónál (kétszikű). A napraforgó hajtásának és gyökerének Mn-tartalma egyaránt megnőtt a tápoldatos kísérletben. Rizoboxos nevelési körülmények között, a napraforgó Mn koncentrációjának növekedése mindkét kezeléstípusnál megfigyelhető volt a hajtásban. Tenyészedenyben az alkalmazott As(V)-dózisok több esetben növelték a vegetatív és generatív szervek Mn-tartalmát. Az As(III)-mal kezelt növényeknél növekedést a borsóhüvelyben a 3 mg kg⁻¹-os, a levélben a 10-90 mg kg⁻¹-os, a szárban és a gyökérben pedig a 3-90 mg kg⁻¹-os kezelési szinteken figyeltem meg.

Megállapítottam továbbá, hogy az As(III)-, illetve As(V)-dózisok kijuttatása számos esetben gátolta a kísérleti növények **Mo felvételét**. A Mo koncentráció visszaesését tapasztaltam tápoldatos kísérletben a napraforgó hajtásánál valamennyi kezelési szint esetén, valamint a gyökerében a 3 mg kg⁻¹-os dózisok hatására, mindkét kezelési formánál. Rizoboxos kísérletben a kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének Mo-tartalma az As(III)- és As(V)-dózisok alkalmazásakor egyaránt csökkent, a napraforgó csíranövény esetén csökkenés az As(III)-mal kezelt növény hajtásában volt megfigyelhető. Tenyészedenyben szintén észlelhető volt, hogy az arzén kijuttatása gátolta a zöldborsó növény Mo felvételét. Az As(III)-mal kezelt növényeknél szignifikáns csökkenést tudtam kimutatni a 3-90 mg kg⁻¹-os kezeléseknél a borsószemben, az As(V)-tel kezelt növényeknél a borsószemben a 3-30 mg kg⁻¹-os dózisoknál, a borsóhüvelyben és a levélben a 90 mg kg⁻¹-os kezelésnél. Az arzén által okozott Mo hiány felismerése kiemelkedő jelentőségű, hiszen a Mo a nitrát-reduktáz enzim fő komponense, így hiányában nitrát akkumuláció jelentkezhethet, ugyanis a redukciója nem történik meg, amely azon kívül, hogy növényélettani rendellenességekhez vezet, tovább súlyosbítja az arzénnal erőteljesen szennyezett területről származó élelmiszer- és takarmánynövények felhasználásának egészségügyi veszélyeit.

A kísérleti eredmények arra is rámutattak, hogy a növekvő koncentrációjú As(III)-, valamint As(V)-kezelések hatására az esetek többségében visszaesett a növények **Zn felvétele**, mely bizonyítja, hogy az As és a Zn között antagonista kapcsolat áll fenn. A Zn-tartalom csökkenését figyeltem meg a tápoldatos kísérletnél a napraforgó és kukorica hajtásában mindkét kezelési

forma esetén, valamint az As(III)-mal kezelt kukorica gyökerében. Rizoboxos kísérletben a kukorica csíranövény gyökerének Zn koncentrációja mindkét kezelés típusnál csökkent, a napraforgónál Zn-tartalom csökkenést a 90 mg kg⁻¹-os As(III)-kezelésnél a hajtásban jegyeztem fel. Tenyészedényes kísérletben pedig a Zn koncentráció visszaesését figyeltem meg a borsószemnél és a levélnél a 30-270 mg kg⁻¹-os, a borsóhüvelynél a 90 mg kg⁻¹-os, a szárnál a 10-90 mg kg⁻¹-os, a gyökéknél pedig a 3-90 mg kg⁻¹-os As(V)-dózisoknál. Az As(III)-kezelések Zn-tartalomra gyakorolt negatív hatását a levél, illetve a gyökér tekintetében tudtam bizonyítani a 10-270 mg kg⁻¹-os, valamint a 10-90 mg kg⁻¹-os kezeléseknél.

Kumar et al. (2015) arról számolt be, hogy a növekvő koncentrációjú arzénkezelések hatására nőtt a kísérletben alkalmazott tesztnövény **Cu-tartalma**, mely az általam végzett kísérletek esetében is több alkalommal megfigyelhető volt. A Cu koncentráció növekedését figyeltem meg a tápoldaton nevelt napraforgó gyökerében mind az As(III)-, mind az As(V)-dózisoknál. Rizoboxos kísérletben az As(III)-mal kezelt kukorica gyökerében, valamint hajtásában mindkét kezelési forma esetében a Cu-tartalom növekedése következett be. Tenyészedényes kísérletben az As(III)-mal kezelt növény talajfelszín feletti szerveiben több esetben is szignifikánsan megnőtt a Cu mennyisége. A 3-10 és 270 mg kg⁻¹-os As(V)-kezelések a borsószem, a 3-30 és 270 mg kg⁻¹-os a borsóhüvely, a 270 mg kg⁻¹-os a levél, a szár és a gyökér Cu koncentrációját serkentette.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Tápoldatos kísérletben bizonyítottam, hogy a napraforgó, mint kétszikű növény érzékenyebben reagál az As-toxicitásra, mint a kukorica (egyszikű növény). Napraforgó esetén ugyanis a 30 és 90 mg kg⁻¹-os dózis mindkét szervetlen arzén formánál, a 10 mg kg⁻¹-os koncentráció pedig az As(III)-kezelésnél a csíranövény pusztulását okozta. Kukorica esetén azonban csak a 90 mg kg⁻¹-os As(III)- és As(V)-kezelések voltak oly mértékben toxikusak, hogy a növény pusztulása következzen be.
2. Tápoldatos kísérletben bizonyítottam, hogy a napraforgó csíranövény (kétszikű növény) hajtásába kisebb arányban került be az arzén, mint a kukorica csíranövény (egyszikű növény) esetén.
3. Tápoldatos kísérletben bizonyítottam, hogy az As(III)- és As(V)-kezelések eltérő módon hatnak a kukorica (egyszikű növény) és a napraforgó (kétszikű növény) Mn felvételére, ugyanis amíg a Mn-tartalom a kukorica csíranövény esetén csökkent, addig a napraforgó Mn felvétele fokozódott.
4. Megállapítottam, hogy a talajban az azonos koncentrációjú, de eltérő formájú [As(III) és As(V)] kezeléseknél a növények számára hozzáférhető As-tartalom nagyobb volt az As(III)-kezelések alkalmazásakor, mint az As(V)-dózisoknál.
5. Kukorica és napraforgó csíranövények esetén igazoltam, hogy a kísérleti növények által felvett As mennyisége döntően a gyökérben akkumulálódik és csak kisebb rész transzlokálódik a hajtásba, megállapítottam továbbá, hogy a kezelési koncentrációk emelkedésével a gyökér szűrő hatása mindkét arzénforma [As(III) és As(V)] esetén fokozódik.
6. Tenyészedényes kísérletben bizonyítottam, hogy az arzén zöldborsó növényen belüli eloszlását elsősorban a növény fejlettségi állapota, valamint az alkalmazott dózis nagysága határozza meg, a kezelés formája csak kismértékben befolyásolja.

7. Tenyészedényes kísérletben megállapítottam, hogy a magasabb koncentrációjú (90-270 mg kg⁻¹) As(III)- és As(V)-kezeléseknél a gyökér szűrőhatása mellett a szár As-visszatartó képessége is felerősödik, melynek következtében a borsószembe a teljes növény által felvett As mennyiségének kevesebb mint 1%-a kerül be. Az alacsonyabb kezelési szinteken (0-30 mg kg⁻¹) azonban a teljes zöldborsó növény As-tartalmának 5-7%-a a borsószemben fordul elő.
8. Megállapítottam, hogy a növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések eltérőképpen hatnak az egy- (kukorica), és kétszikű növények (napraforgó, borsó) P felvételére. As(III)- és As(V)-kezelések valamennyi kísérlet típus esetén fokozták a kétszikű kísérleti növények (napraforgó, borsó) P-tartalmát, az egyszikű tesztnövénynél (kukorica) a P koncentráció azonban visszaesett.

5. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Rizoboxban nevelt kukorica esetén bizonyítottam, hogy a növekvő koncentrációjú As(III) és As(V)-kezelések hatására visszaesik a növények Mo felvétele. A Mo a nitrát-reduktáz enzim egyik fő komponense, így hiányában nitrát akkumuláció jelentkezhet, amely újabb veszélyt jelent az arzénal szennyezett területről származó növények élelmiszerként, valamint takarmányként való felhasználásakor.
2. Tenyészedényes kísérletben bizonyítottam, hogy a generatív és vegetatív szervek As-tartalmában nagyságrendnyi eltérés van. Az As nagy része a vegetatív szervekben akkumulálódik és a generatív szervek csak kis hányadát tartalmazzák, mely humán élelmezés szempontjából kiemelkedő jelentőségű.
3. Tenyészedényes kísérletben megállapítottam, hogy amíg az As(III)-mal szennyezett talajon történő borsótermesztés esetén csökken a növényi biomassza, illetve a termés mennyisége, addig az olyan talajok esetén, amelyeknek az As-tartalma 10 mg kg^{-1} vagy az alatti és az az arzén As(V) formájában fordul elő, a növények intenzívebb fejlődése, valamint a terméshozam növekedése várható.



Nyilvántartási szám: DEENK/274/2017.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Várallyay Szilvia
Neptun kód: H91BRM
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10040651

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Várallyay, S.**, Veres, S., Soós, Á., Bódi, É., Kovács, B.: Arzén kezelés hatása kukorica növény tápanyagfelvételére rhizoboxos nevelési körülmények között.
In: Georgikon Napok konferenciakötet [elektronikus dokumentum] : 2015-ös előadások, Pannon Egyetem, [Keszthely], 458-464, 2015. ISBN: 9789639639829

Idegen nyelvű, hazai könyvrészletek (3)

2. Garousi, F., Veres, S., Bódi, É., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Changes of pH during uptake of selenate and selenite by sunflower plants growing in nutrient solution.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. Közread.: Nyugat-magyarországi Egyetem, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 327-331, 2014. ISBN: 9789639941940
3. **Várallyay, S.**, Kovács, B., Garousi, F., Bódi, É., Veres, S.: Effect of different arsenic treatments on sunflower and maize plant production.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. Közread.: Nyugat-magyarországi Egyetem, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 415-419, 2014. ISBN: 9789639941940
4. Bódi, É., Veres, S., Garousi, F., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Growth of maize and sunflower seedlings by effect of molybdenum treatments.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. Közread.: Nyugat-magyarországi Egyetem, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 297-302, 2014. ISBN: 9789639941940

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (6)

5. **Várallyay, S.**, Balláné Kovács, A., Soós, Á., Kovács, B.: Arzénnal szennyezett területen termesztett zöldborsó élelmiszer- és takarmánybiztonsági megítélése.
Élelmiszer- és Takarmánybiztonsági Közlemények, [15], 2017. ISSN: 0422-9576.



6. **Várallyay, S.**, Balláné Kovács, A., Soós, Á., Kovács, B.: Élelmiszeripari felhasználásra szánt zöldborsó ásványi anyag összetételének vizsgálata növekvő koncentrációjú arzénkezelések függvényében.
Agrártud. közl. 72, 203-208, 2017. ISSN: 1587-1282.
7. **Várallyay, S.**, Balláné Kovács, A., Soós, Á., Kovács, B.: Arzénkezelés hatása zöldborsó (*Pisum sativum* L.) arzén- és foszforkoncentrációjára, valamint szárazanyag-produktumára.
Agrokém. talajt. 65 (2), 275-295, 2016. ISSN: 0002-1873.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/0088.2016.65.2.7>
8. **Várallyay, S.**, Szilva, D., Soós, Á., Kovács, B.: Talaj- és növény minta arzéntartalmának meghatározására irányuló minta-előkészítési módszerek összehasonlító vizsgálata.
Agrártud. közl. 69, 167-170, 2016. ISSN: 1587-1282.
9. **Várallyay, S.**, Veres, S., Garousi, F., Bódi, É., Kovács, B.: Arzénkezelés hatása kukorica és napraforgó csíranövények fiziológiai paramétereire.
Agrártud. közl. 64, 81-84, 2015. ISSN: 1587-1282.
10. Bódi, É., Veres, S., András, D., Garousi, F., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Molibdénnel kezelt kukorica és napraforgó növények vizsgálata rizoboxos kísérletben.
Agrártud. közl. 64, 11-14, 2015. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

11. Garousi, F., Veres, S., Bódi, É., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Assessment and comparison of selenium-enriched maize with sodium selenite and sodium selenate.
Agrártud. közl. 68, 11-15, 2016. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (8)

12. **Várallyay, S.**, Balláné Kovács, A., Soós, Á., Kovács, B.: Effect of different arsenic-treatments on the dry weight of vegetative plant parts of green pea in the different phenophase of the plant development.
Annals of Academy of Romanian Scientists Series on Agriculture, Silviculture and Veterinary Medicine Sciences. 6 (1), 144-151, 2017. ISSN: 2069-1149.
13. Bódi, É., **Várallyay, S.**, Soós, Á., Kovács, B.: Effect of molybdenum treatments on growth and molybdenum uptake of green pea.
Annals of Academy of Romanian Scientists Series on Agriculture, Silviculture and Veterinary Medicine Sciences. 6 (1), 130-135, 2017. ISSN: 2069-1149.
14. **Várallyay, S.**, Bódi, É., Garousi, F., Veres, S., Kovács, B.: Effect of arsenic on dry weight and relative chlorophyll content in greeningmaize and sunflower tissues.
J. Microbiol. Biotech. Food Sci. 4 (3), 167-169, 2015. ISSN: 1338-5178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.special3.167-169>



15. Garousi, F., Veres, S., Bódi, É., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Effect of selenite and selenate uptake by maize plants on specific leaf area.
World Academy of Science, Engineering and Technology : International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering. 5 (9), 379-382, 2015. ISSN: 2010-376X.
16. Bódi, É., Veres, S., Garousi, F., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Effects of molybdenum treatments on maize and sunflower seedlings.
World Academy of Science, Engineering and Technology : International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering. 5 (9), 375-378, 2015. ISSN: 2010-376X.
17. Garousi, F., Kovács, B., Bódi, É., **Várallyay, S.**, Veres, S.: Physiological reactions of sunflower plants to different species of selenium.
Bull. of Univ. of Agr. Sci. and Vet. Med. 72 (2), 403-408, 2015. ISSN: 1843-5246.
18. Garousi, F., Kovács, B., **Várallyay, S.**, Bódi, É., Veres, S.: Relative chlorophyll content changes during uptaking of selenite and selenate by maize plants grown in nutrient solution.
J. Microbiol. Biotech. Food Sci. 4 (3), 44-47, 2015. ISSN: 1338-5178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.special3.44-47>
19. Garousi, F., Veres, S., Bódi, É., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Role of selenite and selenate uptake by maize plants in chlorophyll A and B content.
World Academy of Science, Engineering and Technology : International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering. 9 (6), 549-552, 2015. ISSN: 2010-376X.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

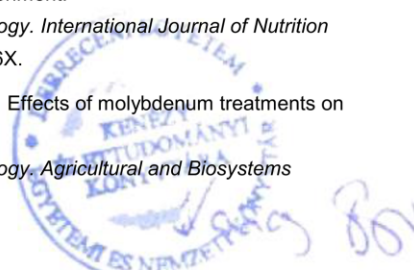
20. **Várallyay, S.**, Balláné Kovács, A., Soós, Á., Kovács, B.: Arzénkezelés hatása a zöldborsó kén, magnézium, valamint vas felvételére.
In: Magyar Spektrokémia vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia. Debrecen, 2017. 08. 23-25 : Program és előadás összefoglalók, [Debreceni Egyetem], [Debrecen], 150-153, 2017.
21. Bódi, É., **Várallyay, S.**, Soós, Á., Kovács, B.: Molibdén kezelés hatása a zöldborsó makroelem felvételére.
In: Magyar Spektrokémia vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia. Debrecen, 2017. 08. 23-25 : Program és előadás összefoglalók, [Debreceni Egyetem], [Debrecen], 147-149, 2017.
22. **Várallyay, S.**, Veres, S., Soós, Á., Bódi, É., Kovács, B.: Arzén kezelés hatása kukorica növény tápanyagfelvételére rhizoboxos nevelési körülmények között.
In: LVII. Georgikon Napok = 57th Georgikon Scientific Conference : Kivonat-kötet : Programfüzet, valamint az elhangzó és poszter előadások rövid kivonatainak gyűjteménye : [agrárgazdaság a növekedéskor után] : [2015. október 1-2., Keszthely]. Szerk.: Nagy Zita Barabara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 123, 2015. ISBN: 9789639639812



23. **Várallyay, S.**, Veres, S., Bódi, É., Garousi, F., Kovács, B.: Hidropónikus körülmények között nevelt napraforgó tápoldatának pH-érték változása különböző arzén kezelések hatására.
In: Tavaszi Szél Absztraktkötet 2015 : Absztraktkötet. Szerk.: Keresztes Gábor, Publio Kiadó, Budapest, 44, 2015. ISBN: 9789633977026

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (12)

24. **Várallyay, S.**, Veres, S., Soós, Á., Bódi, É., Kovács, B.: Effect of different arsenic treatments on the uptake of Ca, K, S, P and Mg by maize seedlings.
In: 1st Meeting of Young Researchers from V4 Countries. Book of Abstract. Ed.: Monika Wesolowska, University of Rzeszow, Rzeszow, 90, 2016.
25. Bódi, É., **Várallyay, S.**, Soós, Á., Kovács, B.: Effect of molybdenum treatment on the element content of maize and green pea in a long-term field experiment.
In: 1st Meeting of Young Researchers from V4 Countries : Book of Abstract. Ed.: Monika Wesolowska, University of Rzeszow, Rzeszow, 17, 2016.
26. **Várallyay, S.**, Bódi, É., Garousi, F., Veres, S., Kovács, B.: Effect of arsenic on dry weight and relative chlorophyll content in greening maize and sunflower tissues.
In: 10th International Scientific Conference Biotechnology and Quality of Raw Materials and Foodstuffs Book of Abstracts and Posters, [ISCBQRMF], Stará Lesná, 110, 2015.
27. **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Effect of arsenic on the mineral nutrient uptake by plant.
In: Student in Bucovina Abstracts : International Conference for Students "Student in Bucovina" May, 7th-9th, 2015, Faculty of Food Engineering, Stefan cel Mare University of Suceava, Suceava, 157, 2015, (ISSN 2068-7648)
28. **Várallyay, S.**, Veres, S., Bódi, É., Garousi, F., András, D., Kovács, B.: Effect of arsenic treatment on elements contents of sunflower growing on nutrient solution.
World Academy of Science Engineering and Technology. Agricultural and Biosystems Engineering. 2 (5), 465, 2015. ISSN: 2010-376X.
29. **Várallyay, S.**, Kovács, B., Bódi, É., Garousi, F., Veres, S.: Effect of different arsenic treatments on root growth of sunflower seedlings in rhizobox experiment.
World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Nutrition and Food Engineering. 2 (6), 1, 2015. ISSN: 2010-376X.
30. Bódi, É., Veres, S., Garousi, F., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Effects of molybdenum treatments on maize and sunflower seedlings.
World Academy of Science, Engineering and Technology. Agricultural and Biosystems Engineering. 2 (5), 516, 2015. ISSN: 2010-376X.





31. Garousi, F., Veres, S., Bódi, É., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Changes of pH during uptaking of selenate and selenite by sunflower plants growing in nutrient solution.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. A magyar és nemzetközi agrár- és élelmiszer-gazdaság lehetőségei. Szerk.: Schmidt Rezső, Bali Papp Ágnes, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 34, 2014. ISBN: 9789633341933
32. **Várallyay, S.**, Kovács, B., Garousi, F., Bódi, É., Veres, S.: Effect of different arsenic treatments on sunflower and maize plants production.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. A magyar és nemzetközi agrár- és élelmiszer-gazdaság lehetőségei. Szerk.: Schmidt Rezső, Bali Papp Ágnes, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 21, 2014. ISBN: 9789633341933
33. Bódi, É., **Várallyay, S.**, Garousi, F., Kovács, B.: Effect of molybdenum treatment on the element uptake of spinach and garden sorrel in a long-term field experiment.
In: 14th International Nutrition and Diagnostics Conference : Book of Abstracts. Ed.: A. Horna, Radanal Ltd., Prága, 167, 2014. ISBN: 9788073957766
34. Bódi, É., Veres, S., Garousi, F., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Growth of maize and sunflower seedlings by effect of molybdenum treatments.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. A magyar és nemzetközi agrár- és élelmiszer-gazdaság lehetőségei. Szerk.: Schmidt Rezső, Bali Papp Ágnes, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 33, 2014. ISBN: 9789633341933
35. **Várallyay, S.**, Bódi, É., Garousi, F., Kovács, B.: Risk assessment of arsenic contamination.
In: 14th International Nutrition and Diagnostics Conference : Book of Abstracts.. Ed.: A. Horna, Radanal Ltd., Prága, 166, 2014. ISBN: 9788073957766

További közlemények

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (2)

36. Soós, Á., Reichenbach, R., **Várallyay, S.**, Bódi, É., Kovács, B.: Pest, Zala és Bács-Kiskun megyékből származó propolisz minták elemtartalmi összetétele.
Agrártud. közl. 72, 149-153, 2017. ISSN: 1587-1282.
37. Soós, Á., **Várallyay, S.**, Kovács, B.: Hazai kékfrankos borok toxikus elem koncentrációja.
Agrártud. közl. 68, 87-90, 2016. ISSN: 1587-1282.





Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

38. Soós, Á., Reichenbach, R., **Várallyay, S.**, Bódi, É., Molnár, S., Kovács, B.: Kis mennyiségű propolisz minták előkészítése és mérése ICP-OES és ICP-MS technikákkal.
In: Magyar Spektrokémia vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia. Debrecen, 2017. 08. 23-25 : Program és előadás összefoglalók, [Debreceni Egyetem], [Debrecen], 113-116, 2017.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (11)

39. **Várallyay, S.**: A tejről őszintén: mérég vagy áldás?: avagy a tejben található ásványi alkotók vizsgálata és azok élettani hatásai.
In: Debreceni Fejlődés és Környezet Konferencia írásos anyagainak összefoglalói / fel. szerk. Balla Zoltán, DE AGTC Kerpely Kálmán Szakkollégium, Debrecen, 10, 2013.
40. **Várallyay, S.**, Andrási, D., Kovács, B.: Mintaelőkészítési módszerek összehasonlítása tejminta elemtartalom vizsgálatára.
In: A Magyar Szabad-gyök Kutató Társaság VII. konferenciája, Magyar Szabadgyök-Kutató Társaság, Debrecen, 41, 2013.
41. **Várallyay, S.**, Andrási, D., Soós, Á., Kovács, B.: Mintaelőkészítési módszerek összehasonlítása tejminta elemtartalom vizsgálatára.
In: XI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia : Program és Előadás Összefoglalók, KAT13, Hajdúszoboszló, 93, 2013.
42. **Várallyay, S.**: Mérési paraméterek és mintaelőkészítési módszerek vizsgálata, tej elemtartalom meghatározásához ICP technikákkal.
In: Kari Tudományos Diákköri Konferencia : meghívó és programfüzet, DE AGTC MÉK, Debrecen, 45, 2013.
43. **Várallyay, S.**: Mérési paraméterek és mintaelőkészítési módszerek vizsgálata, tej elemtartalom meghatározásához ICP technikával.
In: IV. Kerpely Kálmán Szakmai Napok a Gyakorlatorientált Oktatásért, AGTC, Debrecen, 7, 2013.
44. Sánta, K., **Várallyay, S.**: Nehézfémek káros hatásai a környezetre.
In: Ökonapok az Agráron 2013, AGTC, Debrecen, 11, 2013.
45. **Várallyay, S.**: Ásványvizek minőségét meghatározó paraméterek összehasonlító elemzése.
In: XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekció : pályaművek összefoglalói, BCE, Budapest, 87, 2013. ISBN: 9789635035366
46. **Várallyay, S.**: Ásványvizek minőségét meghatározó paraméterek összehasonlító elemzése.
In: Fiala kutatók az egészséges ételmiszerért : tudományos ülés. Szerk.: Bódi Éva, Fekete István, Kovács Béla, Debreceni Egyetem Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok Doktori Iskola, Debrecen, 41-46, 2013. ISBN: 9789634736011



47. **Várallyay, S.:** Felszín alatti vízkészlet védelme a megfelelő minőségű víz biztosításának érdekében.
In: II. SzaKKKör Konferencia : Szakkollégiumok konferenciája a környezet- és természetvédelemért : II. SzaKKKör Konferencia összefoglalói : Természetvédelem Szekció, Környezetvédelem Szekció, Egyéb Társadalomtudományok Szekció, Poszterszekció / fel. szerk. Takács Márton, SZIE Környezetvédelmi (Zöld) Szakkollégium, Gödöllő, 18, 2012. ISBN: 9789632692883
48. **Várallyay, S.:** Ásványvizek minőségét meghatározó paraméterek összehasonlító elemzése.
In: XIX. Országos Magyar Élelmiszertudományi és Technológiai Egyesület Tudományos Diákköri Konferencia : Absztrakt kötet, Debreceni Egyetem, Debrecen, 102, 2012.
49. **Várallyay, S.:** Ásványvizek minőségét meghatározó paraméterek összehasonlító elemzése.
In: Tudományos Diákköri Konferencia, 2011/2012. tanév őszi félév : Debrecen, 2011. október 20. : meghívó és programfüzet, DE MÉKK, Debrecen, 52, 2011.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

50. Kovács, B., Bódi, É., Garousi, F., **Várallyay, S.**, Soós, Á., Vágó, X., Andrási, D.: Problems and solutions in the application of ICP-MS for analysis of trace elements in various samples.
World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Nutrition and Food Engineering. 2 (6), 1, 2015. ISSN: 2010-376X.
51. Kovács, B., Bódi, É., Garousi, F., **Várallyay, S.**, Andrási, D.: What are the problems in the case of analysis of selenium by inductively coupled plasma mass spectrometry in food and food raw materials?
World Academy of Science, Engineering and Technology. Agricultural and Biosystems Engineering. 2 (5), 1, 2015. ISSN: 2010-376X.

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudánymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.09.05.

