

TDK DOLGOZAT

Lajos Károly

2012

Kecskeméti Főiskola
Kertészeti Főiskolai Kar
Környezettudományi Intézet
Kecskemét

**Arzénnel szennyezett tápoldat hatása hidrokultúrában termesztett fejes saláta egyes növényi
részeinek arzéntartalmára (2009-2011)**

Tudományos Diákköri Dolgozat

Készítette: **Lajos Károly**
IV. évfolyam

Konzulens:
Hüvely Attila
Főiskolai tanársegéd

2012

Tartalomjegyzék

I. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS.....	- 4 -
II. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	- 5 -
II. 1. Az arzén, mint kémiai elem	- 5 -
II. 1.1. Néhány természetes közeg arzéntartalma	- 6 -
II. 2. Arzén megjelenése a természetben emberi, és természetes úton.....	- 7 -
II. 2.1. Ipari és bányászati tevékenység okozta nehézfém-szennyezés.....	- 9 -
II. 3. Az arzén élő szervezetekre gyakorolt hatása	- 10 -
II. 4. Az arzén szerves, és szervetlen formája	- 10 -
II. 5. Arzén növényekre gyakorolt hatása.....	- 11 -
II. 5. 1. Arzén mérgezési tünetei a növényeken.....	- 11 -
II. 5. 2. A feldolgozott szakirodalomban közölt tenyészedényes kísérletek eredményei	- 11 -
II. 5. 3. A feldolgozott szakirodalomban közölt hidrokultúrás kísérletek eredményei.....	- 13 -
II. 6. Arzén mozgása a talajban	- 13 -
II 7. Hidrokultúrában termesztett saláta	- 14 -
II. 7. 1. Tápanyagfelvétel, tápanyagigény.....	- 15 -
II. 7. 2. Táplálkozási jelentőség	- 15 -
III. ANYAG ÉS MÓDSZER	- 16 -
III. 1. A hidrokultúrában termesztett saláta az arzénnel kapcsolatos kísérletsorozatban	- 16 -
III. 1. 1. Az aggregát hidropónia, más néven agtropónia.....	- 16 -
III. 2. A termesztés módszere	- 16 -
III. 2. 1. A rendszer bemutatása	- 16 -
III. 2. 2. A szennyezett öntözővíz készítése.....	- 18 -
III. 3. A kísérlet bemutatása	- 18 -
III. 3. 1. Palántanevelés, magvetés (2009, 2010, 2011).....	- 18 -
III. 3. 2. A palánták beültetése.....	- 19 -

III. 4. A kísérlet bontása, mintavétel	- 19 -
III. 5. A növényvizsgálat módszere.....	- 21 -
III. 5. 1. Minta-előkészítés, roncsolás.....	- 21 -
III. 5. 2. Roncsolás.....	- 23 -
III. 6. A műszeres mérés módszere	- 25 -
III. 6. 1. Az atom-emissziós spektrometria (ICP-AES) jellemzői	- 25 -
III. 6. 2. A készülék működésének a lényege	- 25 -
III. 7. Statisztikai értékelés módszere.....	- 26 -
III. 7. 1. A varianciaanalízis lényege	- 26 -
III. 7. 2. Számításmenet	- 27 -
III. 7. 3. A szignifikáns differencia ($SzD_{p\%}$).....	- 28 -
III. 7. 4. Véletlen blokkrendezés.....	- 29 -
III. 7. 4. 1. A varianciatáblázat kitöltése	- 29 -
IV. EREDMÉNYEK.....	- 31 -
IV. 1. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben, 2009/2010/2011	- 31 -
IV. 2. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben, 2009/2010/2011.....	- 34 -
V. KÖVETKEZTETÉSEK	- 36 -
Összefoglalás	- 37 -
Irodalomjegyzék.....	- 38 -
Ábrajegyzék	- 41 -
Melléklet	- 43 -
1. A kísérlet statisztikai értékelés szerinti eredményei (2010).....	- 43 -
2. A kísérlet statisztikai értékelés szerinti eredményei (2011).....	- 46 -

I. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A magyarországi vízellátásban az egyik legtöbb gondot okozó elem az arzén (As), amely hosszabb távon akár az egészségre is ártalmas lehet. Az EU-ban, így Magyarországon is, a hatályos rendelet szerint [201/2001. Korm.rendelet] vezetékes ivóvizünk legfeljebb 10 µg/l, növényi eredetű élelmiszereink (pl.: zöldségfélék) pedig 200 µg/kg koncentrációban tartalmazhatják [17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet].

Magyarországon a leginkább veszélyeztetett régió a dél-alföldi régió, ahol az arzén-szennyezettség a legnagyobb arányban lelhető fel. Ez azért is jelentős, mert Magyarország öntözött zöldségtermesztésének kb. a 80 %-át végzik ebben a térségben.

Dolgozatom megírásához azért választottam ezt a témát, mert érdekelt, hogy miként hat ez a toxikus elem az általunk felhasznált tesztnövényre, és miként halmozódhat fel a növény egyes részeiben az arzén, különösen a levélben, amelyet fogyasztunk.

A Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézetének valamint a Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumának összefogásában végeztük kísérletünket. Kísérleti növényünk a fejes saláta volt. Hároméves kísérletet hajtottunk végre, mely során azt vizsgáltuk, hogy az érintett térségben természetes körülmények között előforduló arzénkoncentrációkat felhasználva megállapítsuk, hogy az arzén akkumulálódhat-e a növény vegetatív szerveiben, és ha igen, akkor milyen mennyiségben illetve hatással van-e a növényre. A természetes arzénkoncentrációk mellett felhasználtunk extrém öntözési körülményeket modellező kezeléseket is, melyek a dél-alföldi régióban geológiai okokból előforduló legmagasabb koncentráció (200 µg/l) háromszorososa, négyszerese. A kísérletben a mintacsoportot arzénmentes tápoldattal neveltük.

II. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

II. 1. Az arzén, mint kémiai elem

Az arzén (légykő; régi kohászati és gyógyszerési neve cobaltum), vegyjele As, atomtömege 74,9. Már a görögök is ismerték; oxidjából Schröder állította először elő 1694-ben; sajátosságait Brandt tanulmányozta közelebbről (1733). A természetben, színállapotban is előfordul. Vegyületei gyakoribbak; ilyenek a realgár (As_2S_2) és az auripigmentum (As_2S_3). Az arzén oxigén-vegyületei



(As_2O_3 , As_2O_5) is előfordulnak. Fémekkel és kénnel együtt számos érceben is előfordul, ilyen érc például az arzenopirit (FeAsS). Leginkább fűrtöt alkotva veseszerű halmazokban, héjas szerkezettel fordul elő. A kristályok ritkák; a véglapjuk romboéderekes. Fehéres ólomszürke, néha szürkésfekete lehet a színük. Gyakran van antimonnal keverve, néha az aranynak, ezüstnek, vasnak nyomait is tartalmazza. Forrasztása előtt elillan, gőze fokhagymaszagú. Leginkább arzéntartalmú ezüstércekkel terem együtt. Ismeretesebb termőhelyei: Freiberg, Annaberg (Szászország), Joachimsthal (Csehország), Andreasberg (Harz). A gyakorlatban alkalmazott arzénnek kis részét teszi a természetes arzén. Antimonnal keverve, mint allemontit ismeretes [PALLAS NAGYLEXIKON, 1998].

Általában, kis mennyiségben vegyületei elterjedtek; egyes ásványos vizekben is előfordul (lippiki, cigelkai, roncenoi, levicoi ásványvizekben). Előállítás arzenopiritből történik, amelyet a levegőtől elzárva erősen hevítenek; az As felszáll és ferroszulfid marad vissza; egészen tisztán az arzén-trioxidból szénrel való redukció útján készül. Szürke, fémfényű, törékeny elem, amely a hatszögű rendszerben kristályosodik; sűrűsége 5727 kg/m^3 ; fajhője $328,66 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$. A hevítéskor nem olvad meg, hanem mindjárt gőzzé alakul, azonban zárt edényben, nagy nyomáson levegőben megolvasztható. Az As különösen nedvesen, a levegőn elég könnyen oxidálódik; levegőben vagy oxigénben hevítve arzén-trioxiddá ég el kékes, fakó lánggal. A klórral már közönséges hőmérsékleten is egyesül. Az As egészen kis mennyiségekben esszenciális, de leginkább toxikus hatásai jelentősek. Az emberi szervezetnek naponta $0,012\text{-}0,025 \text{ mg}$ arzénre van szüksége. A jóval ritkábban előforduló As(III) vegyületei sokkal mérgezőbbek, mint az As(V)-éi. Szerves vegyületei kevésbé toxikusak, mint a szervetlenek. Az egyes élőlények rendkívül eltérően reagálnak az

arzéterhelésre — a növények többnyire jóval érzékenyebben, mint (az édesvízi halak kivételével) az állatok [PALLAS NAGYLEXIKON, 1998].

A biotranszformáció növelheti, de csökkentheti is hatását. Így például a *Penicillium brevicaulis* egysejtű gombafaj az arzént nagyon mérgező trimetil-arzénné alakítja, viszont a meleg tengerek táplálékláncában az arzén az állatvilágra veszélytelen arzén-betainné alakul át, és az további biotranszformáció nélkül kiürül a szervezetből. Éppen ezért a tengervízben élő halak, rákok és kagylók hihetetlenül sok — akár 10 mg/kg — arzént is képesek felhalmozni a legcsekélyebb károsodás nélkül [SZABÓ, 1987].

II. 1.1. Néhány természetes közeg arzéntartalma

kőszén 5–45 g/t, (pernye, korom kb. 440 g/t-ig)

kőolaj 0,2–0,3 mg/l

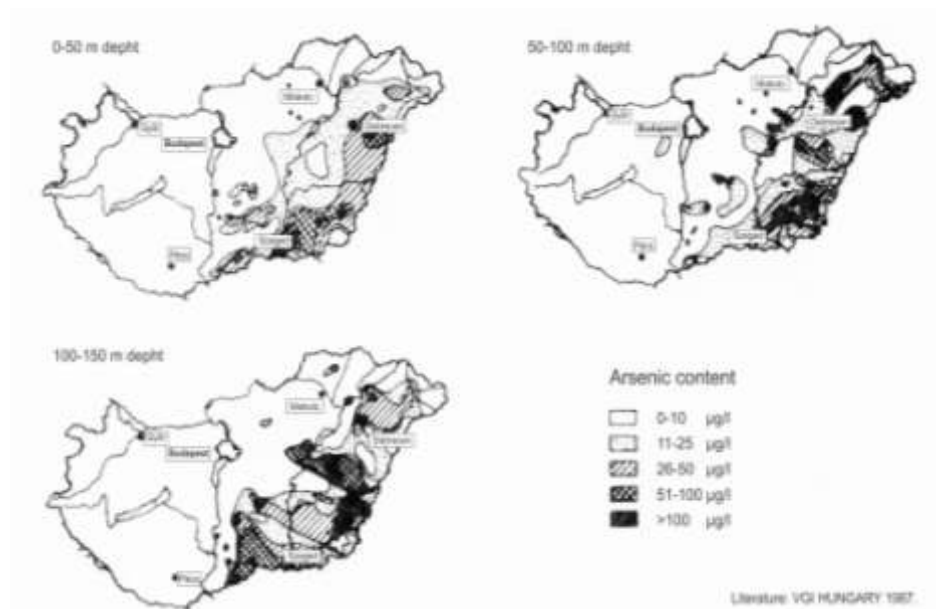
folyóvíz átlag 1,7 µg/l

tengervíz átlag 3,7 µg/l

ásványvizek 1 –190 µg/l

A magyarországi vízszolgáltatók számára komoly problémát jelent, hogy vezetékes víz szolgáltatására fűrt kútjaink az ország egyes részein 30-150 µg/l As-koncentrációval szennyezett vizet adnak, így a kormány jelentős összegeket kénytelen fordítani az ivóvíz megtisztítására [BARTHA, 2004].

Egyértelmű dúsulásai közül a Szamos–Kraszna környéke és a Mátra vidéke az ércesedett földtani–geokémiai háttérrel hozható kapcsolatba (Erdélyi Érchegység, Parád, Recsk). Szubanomális értékekkel megjelenik a Zempléni hegység D-i, DNY-i részén, beleértve a Szerencsi dombságot is. Egyéb felhalmozódásai nagyrészt egybeesnek a sekély mélységből megismert arzénos rétegvizek előfordulásaival. A következő ábrán (1. ábra) Magyarországon az egyes mélységközökben előforduló felszín alatti vizek arzén-tartalma látható.



1. ábra. A felszín alatti vizek arzén-tartalma (Országos Vízügyi Hivatal, 1987)

A fenti ábrán jól látható, hogy az arzén az Alföld déli, valamint keleti részén halmozódott fel. A legnagyobb arzénkoncentráció éppen ott található, ahol az ország öntözött zöldségtermesztésének kb. 80 %-át végzik.

Az öntözéshez és a tápoldatok készítéséhez szükséges vizet gyakorlatilag 100 %-ban a termelő gazdaságok telepein fűrt, 30-100 m mély kutakból nyerik ki [BALÁZS, 1994].

II. 2. Arzén megjelenése a természetben emberi, és természetes úton

Az arzén az esetek túlnyomó többségében geológiai eredetű, a talaj mélyebb víztartó rétegeiben fordul elő és onnan kerül az ivóvízbe. Magyarországon (a Kárpát-medencében) van a világ harmadik legnagyobb kiterjedésű természetes jellegű arzén előfordulása (Nevada – USA – és Banglades után). Természetesen emberi tevékenység is szennyezheti a környezetet (bányászat, meddőbányák, fémolvasztás, szén, olaj, hulladékok égetése). Az arzén tipikus koncentrációja a felszíni vizekben általában 1-2 µg/l vagy az alatt van. Ugyanakkor a talajvizek egyes területeken és bizonyos rétegekben ennél sokkal nagyobb, akár 5-10 mg/l koncentrációban is tartalmazhatják ezt az elemet. Hazánkban és a Kárpát-medence szomszédos országaiban a múlt század első harmadától kezdődően az akkoriban sok áldozatot szedő fertőző betegségek kiküszöbölésére egyre inkább a mély rétegekbe fűrt kutak váltak az ivóvíz forrásává. Ezek arzén-tartalma a megfűrt rétegtől függően néhány µg/l és 300 µg/l között lehetett. A levegő arzén-tartalma minimális, de a dohányfüstből származó expozíció már nem elhanyagolható [ÁNTSZ, 2010].

A kémiai környezetszennyezés kérdéskörében egyre nagyobb figyelem fordul nehézfémekkel összefüggő veszélyek felé, hiszen a mikroelemek és a toxikus nehézfémek felhalmozódása

meghatározó humán-egészségügyi, ökológiai, biológiai jelentőséggel bír. A mikroelemek és a nehézfémek környezeti kibocsátása az ipari korszak fejlődésével többszörösére emelkedett; amelyben a közlekedés és az ipari tevékenység mellett a mezőgazdaság modernizációjával szintén potenciális nehézfém-szennyező forrássá vált [CSATHÓ, 1994; KÁDÁR, 1995].

Az arzén eltávolíthatóságát sok tényező befolyásolja: extrém magas vagy alacsony pH, nagy lebegőanyag valamint oldott szilárd anyag tartalom, más fém- és egyéb ionok (ólom, alumínium, szulfát, klorid, nátrium, fluorid, stb.) magas koncentrációja. Leggyakrabban használt arzénmentesítési technológiák: szorpciós folyamatok (ioncsere; aktív alumíniumoxid, granulált vashidroxid); kémiai kicsapatási folyamatok (vas és mangán alkalmazásával; oxidációs és szűrési eljárással; koagulálás és szűrés; meszes lágyítás); membránszűrőes folyamatok (reverz ozmózis; nanoanyagokkal/membránokkal történő szűrés; koagulációval elősegített mikroszűrés) [ÁNTSZ, 2010].

A Föld különböző pontjain a mélységi rétegvizek - geokémiai okokból – elég sok arzént tartalmazhatnak, így hazánk területén (Békés megye délkeleti községeiben) viszonylag magas az arzén-tartalom, de ezt a veszélyt például ioncserés eljárásokkal aránylag jól lehet kezelni [PAIS, 1999].

A talaj toxicitás kérdése azonban rendkívül összetett. Függ többek között a szennyezőanyag típusától, koncentrációjától, oxidációs fokától, a vegyület összetételétől, amelyben a kémiai elem megtalálható, a rendszerben lévő más elemek jelenlététől vagy hiányától és azokkal való kölcsönhatásától, az expozíciós idő hosszától és az élő szervezettel történő érintkezés módjától és a bejutás körülményeitől, továbbá alapvető befolyásoló tényezőként a talajtípustól és a talajok tulajdonságaitól függően változik [KÁDÁR és SZABÓ, 2002].

A talaj természetes arzéntartalma átlagosan 5 mg/kg (1-40 mg/kg), de arzénban gazdag ásványi előfordulások vagy korábbi arzén-tartalmú növényvédőszer alkalmazások közelében ezt lényegesen meghaladhatja (50-500 mg/kg) [ÁNTSZ, 2010].

Az arzén a 20. leggyakrabban előforduló elem a földkéregben. A kőzetekhez kötött arzén viszonylag könnyen szabaddá válik időjárási jelenségek, biológiai aktivitás, vulkáni aktivitás, antropogén hatások és vízben oldódás következtében. Az így mobilizált arzén az esővel vagy a lebegő részecskékhez kötődve újból a felszínre kerül. Az arzén környezeti hatásáról készített tanulmányok nem képviselnek egységes nézetet. Annyi azonban közös, hogy az antropogén eredetű szennyezések döntő többsége bányászati tevékenységre és kőolajszármazékok égésére vezethető vissza [CHILVERS, 1987].

Irodalmi adatok szerint a természetes: antropogén eredetű arzénszennyezés mértékének aránya kb. 60:40, tehát az emberi tevékenység szignifikáns mértékben beleavatkozik az arzén környezeti körforgásába. Annak ellenére, hogy az arzénszennyezettség mértéke felbecsülhetetlen, az arzén

körülöttünk mindenütt jelen van: a légkörben, a vizekben, a talajban, az üledékben és az élőlényekben egyaránt [CHILVERS, 1987].

Mivel sok geológiai réteg arzén tartalma magas lehet, kőolaj- és szén elégetésével kapcsolatban a közeli környezeti levegőben viszonylag magasabb lehet az arzén-tartalom, de általában ez sem jelentős a táplálékból és ivóvízből eredő arzénterheléshez képest. Veszélynek a munkavédelmi szabályoknak nem megfelelően üzemelő fémfeldolgozóknak (a vason kívül egyéb fémek), az üvegiparban, a fakonzerválásban stb. dolgozók lehetnek kitéve. Egyes bányákban nagy lehet a kockázat a kitermelt érc arzén tartalma miatt – pl. a rodéziai aranybányákban észlelt magas tudórák halálozás egyértelműen az arzénnek volt betudható. Korábban a mezőgazdaságban is széles körben használtak arzén tartalmú növényvédő (inszekticid, fungicid, herbicid) szereket, ezért a dohány pl. jelentősen hozzájárul a dohányosok többlet arzén terheléséhez, és a nem megfelelően tárolt, elhelyezett növényvédő szerek sok esetben veszélyeztették a környezetet. Ezeket a szereket már kivonták a forgalomból, a dohányosok arzén expozíciója azonban még mindig némileg nagyobb (szálanként 0,25 µg-ra becsülik), bár ez a többlet lényegesen kisebb, mint korábban volt [ÁNTSZ, 2010].

A felszínhez közeli víztartó rétegek arzén-tartalma valóban kisebb, de ezek sem mennyiségi, sem egyéb minőségi tekintetben nem biztonságosak. Sokkal inkább ki vannak téve az emberi tevékenységből származó szennyeződéseknek (nitrát, növényvédőszer stb.), mint a szóban forgó mélyebb, védett rétegek. Eredetileg éppen ezért került sor a védett rétegek ivóvízellátásra történő bevonásába [ÁNTSZ, 2010].

II. 2.1. Ipari és bányászati tevékenység okozta nehézfém-szennyezés

Vizsgálatot végeztek egy elhagyott aranybánya környezetének arzénszennyezettségét illetően. A salakok arzéntartalma igen heterogén volt, 0,12 és 7,2 % között váltakozott. Néhány növényfaj As akkumulátornak mutatkozott: szittyó (*Juncus tenuis*): 834 mg/kg; zsurló (*Equisetum fluviatile*): 538 mg/kg és tippan (*Agrostis tenuis*): 579 mg/kg As. A tenyészedény kísérletben a salakon nőtt paradicsom, retek és bab növények fejlődésükben szignifikánsan visszamaradtak a homokon nőttökhöz képest. Növényi tápanyagoknak a salakhoz adagolása nem mérsékelte a toxicitást. A salakon nőtt növények As-toleranciája retek → paradicsom → bab sorrendben csökkent. A salakdepónián átfolyó patakban 4 hétig nevelt hal szignifikánsan több As-t akkumulált, mint a kontroll körülmények között nevelt [DALE és FREEDMAN, 1982].

Egy kárpátaljai terület színesfém üzeme által szennyezett barna erdőtalaj és réti talaj Hg és As-tartalmát vizsgálták. A színesfém üzem 30 km sugarú körben szennyezett. A talajok eredeti, ásványi

eredetű Hg és As-tartalma is magasabb ezen a vidéken az átlagosnál. A higany a folyó teraszon és a part (lejtő) alsó szakaszán akkumulálódott. Az arzén helyenkénti feldúsulása bekövetkezett az üzem szennyező hatásának eredményeképpen. Az évi középhőmérséklet $+10^{\circ}\text{C}$, csapadék 900 mm ezen a területen [ZÜRIN és SZADOVNIKOVA, 1988].

II. 3. Az arzén élő szervezetekre gyakorolt hatása

Az arzén erős mérge, emberen a becsült halálos dózisa 100-300 mg. Nagy dózisban erős gyomortáji fájdalom jelentkezik, hányással és hasmenéssel, ami nagyfokú folyadékvesztéssel jár. Kisebb koncentrációk hosszan, évtizedeken át tartó bevitele esetén csak sok év után okoz észrevehető tüneteket. Ezek elsősorban bőrtünetek, mint pl. fokozott elszarusodás, hiperpigmentáció vagy éppen ellenkezőleg, a bőr pigmentációjának csökkenése. Ezeknél az is nehézséget jelent, hogy előfordulásuk nemcsak arzénhez köthető, és a növekvő életkorral egyébként is előfordulhatnak [ÁNTSZ, 2010].

Az arzén szervetlen formái súlyos mérgek, fogyasztásuk esetén az emberi test egész része károsodik, az idegrendszer, a vese, a vérképző rendszer, a légzőszervek és a máj működése csökken; valamint szaporodási és genetikai anomáliák, rákképződés is előfordulhatnak [FERGUSON, 1991].

II. 4. Az arzén szerves, és szervetlen formája

Amint az széles körben ismert, az arzén a történelem során gyilkossági szándékkal talán leggyakrabban használt mérge, de a növényvédelemnek és az állati kártevők irtásának is korán felfedezett alapanyaga volt. Az arzénvegyületek többsége vízben jól oldódik, ez is megkönnyíti ilyen célú alkalmazásukat, amint az is, hogy az akut arzénmérgezés legnyilvánvalóbb kezdeti hatásai nehezen különböztethetők meg a más okból bekövetkező akut bélrendszeri (pl. fertőzéses) betegségektől. Az arzén természetben előforduló vízzoldható szervetlen vegyületei közül a háromértékű arzenit toxikusabb az ötértékű arzenátnál. A szerves arzénszármazékok egy része az anyagcsere során a szervezetben keletkezik, és ezek általában kevésbé toxikusak és gyorsabban kiürülnek [ÁNTSZ, 2010].

Az arzén vegyületeiben három vagy öt vegyértékű. Az oxidált állapotú arzén oldatban leginkább az öt vegyértékű arzenát (H_2AsO_4^-), ill. a három vegyértékű arzenit (H_2AsO_3^-) formájában fordul elő. A szervetlen arzén önállóan az As (III), As (V) oxidált formákban vagy ezek keverékeként lehet jelen. Az arzenát inkább a felszíni vizekben, és oxidáló környezetben található meg, az arzenit ezzel szemben az anaerob felszín alatti vizekre jellemző. A szerves arzén-vegyületek előfordulása ritka, koncentrációja a természetes vizekben kicsi. Az arzén és különböző szerves és szervetlen

vegyületei vízben jól oldódnak. Vulkanikus tevékenységek valamint az emberi eredetű arzénszennyezés (fémolvasztók, szén-, olaj- és fatüzelés, gyapotfeldolgozás stb.) körzeteiben a levegőben eloszlott finom porban, szerves formájában is előfordul. Az egészségre általában sokkal veszélyesebb szerves arzén egyes üledékes kőzetekben és vulkanikus tevékenységek körzetében fordul elő a természetben, a legnagyobb mennyiségben, és az itt uralkodó reduktív körülmények elősegítik a vízben történő oldódását. Az állati szervezetekben és a növényekben a szerves arzén vegyületek dominálnak, de a szerves: szerves részarány változó; legnagyobb (90-100%) arányban, a halakban és a zöldségfélékben, gyümölcsökben, és kisebb arányban (25-35%) a húsokban és a tejtermékekben található meg [ÁNTSZ, 2010].

II. 5. Arzén növényekre gyakorolt hatása

A P nemcsak az As oldhatóvá válását akadályozza a talajban, hanem a növényi felvételét, ill. a növényen belüli transzportját is. Az egyes növényfajok As érzékenysége igen eltérő az eddigi adatok szerint. Egyes fajok igen jól jelzik a talaj As készletét, képesek felhalmozni, mert a passzív felvétel (tömegárammal) a meghatározó. Így pl. a szennyezetlen, kis As készlettel rendelkező talajon század ppm, míg az erősen szennyezett akár 6-8000 ppm As koncentráció is előfordulhat [KÁDÁR, 1991].

II. 5. 1. Arzén mérgezési tünetei a növényeken

Az idősebb leveleken vörösesbarna nekrotikus foltok, a gyökereken barnás elszíneződések, a növény egészen fejlődési rendellenességek jelentkeznek. Kísérletünk során tesztnövényünk a fenti tünetek egyikét sem mutatta, és fejlődési rendellenesség, növekedési stressz sem jelentkezett. Feltehető, hogy a szerző által leírt jelenségek csak nagyobb dózisú terhelés során jelentkeznek [KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 1984].

A fentiekkel párhuzamban áll az a megállapítás, mely szerint oldatkultúrában az arzén az úgy nevezett közepesen toxikus elemek közé tartozik, vagyis a növények fejlődésében 1 és 100 mg/l koncentráció között mutat gátlást [BOWEN, 1966].

II. 5. 2. A feldolgozott szakirodalomban közölt tenyészedényes kísérletek eredményei

Bányahomokkal, illetve homoktalajjal beállított tenyészedény-kísérletben tanulmányozták a 0-2-5-10-15 mg/kg arzénadagok hatását a talaj, valamint a burgonya, sárgarépa, retek és paradicsom termésének As-tartalmára. Az emberi fogyasztásra alkalmas növényi részek az 1 mg/kg kritikus As koncentrációt az alábbi talaj As értékeknél érték el: burgonya 6-7 mg/kg, sárgarépa 9-10 mg/kg,

hónapos retek 13-14 mg/kg talaj As-tartalomnál. A fentiek alapján a talaj higiénés szempontból megengedhető As-tartalmát 6-7 mg/kg-ban adják meg [HORVÁTH et al., 1983].

Gyengén savanyú (pH~6,0) homokos csernozjom talajon, 5 kg-os tenyészedenyben vizsgálták (egységes NPK alaptrágyázás mellett) a 0-5-10-50-100 mg/kg NaAsO₂ formájában adott arzén hatását a tavaszi árpa és a vöröshagyma termésére és arzéntartalmára. A MgSO₄ formájában adott Mg-nak az As-tartalmat csökkentő hatását is tanulmányozták egyes kezelésekben. A növényminták As és Mg tartalmát kénsav-hidrogénperoxidos roncsolás után állapították meg [KISS et al., 1990] (1. táblázat).

1. táblázat. Az As és a Mg hatása a tavaszi árpa és a vöröshagyma As és Mg tartalmára

Árpa						
Kijuttatás módja	Adott As mg/kg	Adott Mg mg/kg	Szem As mg/kg	Szem Mg %	Szalma As mg/kg	Szalma Mg %
Talajra	0	-	0,04	0,12	0,12	0,23
	5	-	0,06	0,10	0,19	0,22
	10	-	0,16	0,11	0,40	0,20
	50	-	0,68	0,11	1,54	0,21
	100	-	0,88	0,10	3,04	0,21
	50	500	0,51	0,12	1,52	0,24

Hagyma						
Kijuttatás módja	Adott As mg/kg	Adott Mg mg/kg	Hagymatest As mg/kg	Hagymatest Mg %	Szár, levél As mg/kg	Szár, levél Mg %
Talajra	0	-	0,02	0,18	0,19	0,44
	5	-	0,04	0,14	0,24	0,49
	10	-	0,13	0,18	0,27	0,49
	50	-	0,20	0,17	0,99	0,44
	100	-	0,47	0,18	2,23	0,45
	50	500	0,15	1,20	0,83	0,48
Levéltre	50	-	0,45	0,18	1,99	0,44

Arzénes kezelés hatására – a kontroll termését 100-nak véve – az árpa szemtermés 90-78-75-65 volt, a Mg-t is kapott kezelésben pedig 92. A vöröshagyma termése 85-72-60-46-ra változott, Mg kiegészítéssel 80% volt. Magnézium kiegészítéssel az árpa szem As-tartalma 1/4-ével csökkent. As hatására a növények gyengén fejlődtek, leveleik vöröses elszíneződést mutattak. Az arzénes vízzel való öntözés (azonos As szinten) a hagyma As koncentrációját 1/7-ével növelte a talajba adott As kezeléshez képest. A Mg kompetitív gátlás révén csökkenti a növények As-tartalmát. A dél-tiszántúli fűt kutak As-tartalma mintegy 50%-kal magasabb, mint a WHO által javasolt 0,05 mg/l. A kút mélységével csökkent az As-tartalom az ivóvízben [KISS et al., 1990].

II. 5. 3. A feldolgozott szakirodalomban közölt hidrokultúrás kísérletek eredményei

22 különböző, fitoremediációban alkalmazott növényfaj esetében bizonyították, hogy az egyes növényi részeket összehasonlítva a legmagasabb arzénkoncentráció a növények gyökerében alakul ki, talajos és hidrokultúrás körülmények között egyaránt [ROFKAR, DWYER és FRANTZ, 2007].

Sor került más hidrokultúrában termesztett fejes saláta vizsgálatára, ahol a standard tápoldathoz 2 mg/l-es koncentrációban adtak arzént. A vizsgálatok során a tesztnövény gyökerében 278 mg/kg, a levelekben 3,18 mg/kg arzént találtak [SMITH, JUHASZ és WEBER, 2008].

Kádár kísérleti eredményei, azt mutatták, hogy a tesztnövények gyökerében maximálisan 30 mg/kg, szárában és levelében 1-5 mg/kg arzént talált arzén-terhelés hatására [KÁDÁR, 1993].

A következő táblázat az egyes növényeket arzénmérgezéssel szembeni ellenálló képességük szerint szemlélteti [OVERCASH és PAL, 1979] (2. táblázat).

2. táblázat. A növények toleranciája az As mérgezéssel szemben [Fazekas E., 2008]

*Morris-Swingle, 1927; Morris, 1938; Liebig, 1966 alapján

Nagyon toleráns*	Meglehetősen toleráns	Gyenge tolerancia
spárga	cukorrépa	lucerna
sárgarépa	takarmányrépa	árpa
szeder	borsó	uborka
szőlő	régi perje	limabab
tök	földimogyoró	hagyma
rozs	tippan	paprika
szudánifű	sütőtök	rizs
dohány	csomós ebir	bab
paradicsom	földieper	áfonya
tarlórépa	cukornád	lóhere
bükköny	csemegekukorica	koreai here
burgonya	zab	-
reték	búza	-

II. 6. Arzén mozgása a talajban

A talajban lévő arzén mennyisége általában 10 ppm alatti, azonban ez egy-két nagyságrenddel is feldúsulhat a felső rétegben. A talajban meglehetősen nehezen mozog, és nem lúgozódik ki. Mérgezést, vagy terméseszkökenést ritkán okoz a növényben [KÁDÁR, 1991].

Az arzénnal kapcsolatos legfontosabb agronómiai probléma az As-szennyezett talajok termékenységének helyreállítása [LIEBIG, 1966].

Gyakoriak ugyanis a terméseszkökenések a korábbi kiterjedt As-tartalmú peszticid használatának alávetett talajokon. Ezen körülmények között a gyökérzet As-tartalma igen magas lehet, a földfeletti részben ugyanakkor csak kismértékben haladja meg a nem szennyezett talajokon nőtt növényzet As

koncentrációját. A humán táplálkozásban, illetve állattenyésztésben az As mérgezés elsődleges forrása e növények talajjal, illetve porral való szennyezettsége lehet. Cinkszulfátnak talajba juttatása, illetve Zn-EDTA lombtrágyaként való alkalmazása serkentette a növekedést As-szennyezett területeken. Fe-szulfát, Al-szulfát és mésztalajba keverése is mérsékelte a termés-csökkenést arzénmaradványos talajokon. Az arzén és a foszfor hasonló kémiai viselkedése következtében ugyanakkor problémát jelenthet olyan javítóanyagot találni, mely egyidejűleg nem csökkenti a felvehető foszfortartalmat is [CSATHÓ, 1994].

Meglehetősen kevés azon esetek száma, amikor az eredetileg magas As-tartalom az oka a talaj csökkent termékenységének. A víz As-tartalma – olyan területeken is, ahol korábban arzéntartalmú növényvédőszeret nem juttattak ki – toxikus lehet az állatok számára [RUSSEL és DUNCAN, 1956].

A felvehető vagy könnyen oldható tartalom a fontosabb, a kísérletek szerint a különböző módszerekkel meghatározott „felvehető” As jobban korrelált a növényi felvétellel, mint az összes tartalom. A savanyú talajok meszezése gyakran azért nem csökkenti az As felvételét, mert oldható $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ vegyületek képződnek a talajban. Kötött talajokon ritkábban léphet fel As toxicitás, mint homokon, a magasabb klorid tartalom, ill. a jobb megkötődés miatt [KÁDÁR, 1991].

II 7. Hidrokultúrában termesztett saláta

Dolgozatomban szeretnék néhány szót említeni a kísérletben szereplő fejes salátáról. A levélzöldségek közül a legnagyobb jelentőségű növényfaj. A fejes saláta hajtásával a franciák már a XVII. században üveg alatt is foglalkoztak, tőlük vették át a termesztési módszert a németek és az angolok, és már a XIX. században mind a két országban sokfelé alkalmazták. Ennek köszönhetően a salátatermesztés olyan országokban is elterjedt, ahol a kedvezőtlen klímadottságok miatt nem lett volna lehetséges. A fejes saláta, tudományos nevén *Lactuca sativa* L. var. *capitata* L. a Földközi-tenger környékén régóta fogyasztott zöldségnövény. Őse, a vadon nálunk is előforduló, jelentős mennyiségű keserűanyagot tartalmazó, és fejet nem képező keszgesaláta *Lactuca serriola*. A talaj nélküli hajtatást üzemi szinten 1970-es években kezdték el Hollandiában. Azóta egyre több módszerrel és növényfajjal próbálkoztak. A saláta egyszerű termesztetősége és rövid tenyészideje miatt technikailag bármelyik talaj nélküli termesztésben előállítható. Meggondolandó hogy a helyi klimatikus és piaci körülmények között, milyen technológiával volna folytatható gazdaságos termesztés [TERBE, SLEZÁK, 2008].

Az öntözőrendszer kiválasztásánál legfontosabb szempont, amit figyelembe kell venni, a növény igénye és a víz minősége. Magyarországon a maximális napi vízigény nyáron, nagy besugárzásnál: 8-10 l/m² és legalább óránként 3 öntözés [TERBE, SLEZÁK, 2008].

A termesztő közegek pH-ja alapvetően befolyásolja a tápanyagok felvételét és ezen keresztül az össztermést. Ezért nagyon fontos, hogy a közeg kémhatását rendszeresen ellenőrizzük [TERBE, SLEZÁK, 2008].

II. 7. 1. Tápanyagfelvétel, tápanyagigény

A tápanyagfelvétel dinamikája a növekedés ütemét követi és a fejesedés idejéig a legintenzívebb. A fejesedés alatt aztán fokozatosan csökken a felvett tápanyag mennyisége. Érzékeny a víz- és tápanyag-gazdálkodásra a sekély gyökérzete miatt is. Az öntözés, szellőztetés hibája gyakran okoz élettani, tápanyag-felvételi zavarokat. Gyakori a relatív mészhiány, amikor nem a talaj Ca-tartalma alacsony, hanem annak felvehetőségét akadályozza a magas páratartalom, az erős szárazság, vagy magas sótartalom, K-antagonizmus. Táplálkozási zavarokat gyakran a helytelen tápelem-arányok és a magas sótartalom okozza [HORINKA, 1994].

A tápanyag-kijuttatás legeredményesebb és biztonságos módja a folyamatos, kis adagokkal végzett tápoldatozás. A lombozat szárazon tartása növény-egészségügyi szempontból, az egyenletes alacsony töménységű tápanyag a gyökérzet működése szempontjából kedvező [HORINKA, 2010].

Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy a viszonylag kevés tápanyagot meglehetősen rövid idő alatt veszi fel a talajból, amiből következik, hogy könnyen felvehető tápanyagokat igényel, s a tápanyagoknak viszonylag a sekélyen elhelyezkedő, 20 cm-es gyökérzónában kell lennie [HODOSSI-KOVÁCS-TERBE, 2004].

II. 7. 2. Táplálkozási jelentőség

A fejes saláta hajlamos az emberi szervezet számára káros nitrát felhalmozására. Ezt kizárólag a helytelen nitrogén-műtrágyázásnak tulajdonítják, pedig ebben a folyamatban számos egyéb környezeti tényező is fontos szerepet játszik, mint például a fény vagy hőmérséklet. Néhány szerző szerint, nitrát szempontjából, a spenóttal együtt a legveszélyesebb növények csoportjába tartozik. Az 1 kg élősúlyra számított NO_3 -tartalom elérheti a 2500 mg-ot, de ennél lényegesen nagyobb értékeket is megállapítottak a fejes salátában [BALÁZS, 1994].

III. ANYAG ÉS MÓDSZER

III. 1. A hidrokultúrában termesztett saláta az arzénnel kapcsolatos kísérletsorozatban

Kísérlet sorozatunkban fejes káposztával, paprikával, paradicsommal, gyökérzöldségekkel folytatott öntözéses kísérletek után intézetünk jelenleg a fejes salátát vizsgálta, hidrokultúrás körülmények között.

III. 1. 1. Az aggregát hidropónia, más néven aggropónia

Ez egy tápoldat csatornás rendszer, cirkulált (forgatott) tápoldattal, ahol a tápoldat cirkulálását egy keringető rendszer végzi. A növény gyökérzete a tápoldatban fejlődik, de a növény rögzítése céljából egy semleges közeg - a mi esetünkben egy kőgyapot kocka - áll a tápoldat csatorna medencéjében, ezt szövi át a gyökérzet, ez tartja meg a növényt.

III. 2. A termesztés módszere

Kísérletünk megvalósítására a Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézet üvegházában működő, tápoldat-csatornás hidrokultúrás termesztési rendszert használtuk fel. Az első kísérlet 2009 augusztusától szeptemberéig, a második kísérlet 2010 márciusától áprilisáig és a harmadik kísérlet pedig 2011 márciusától áprilisáig tartott.

Az első kísérleti évben 3 dózist alkalmaztunk, ezek: a 200; 400; 600 µg/l dózisok. A második kísérletben: 25; 50; 75; 100; 200 µg/l dózisokat alkalmaztunk, amelyek közül a legnagyobb a 200 µg/l koncentráció, amely tükrözi a dél-alföldi régióban található legnagyobb természetes kútvíz-koncentráció értéket és megegyezik az öntözővizekre jellemző legnagyobb töménységű arzénértékkel. A harmadik kísérletben nyolc dózist használtunk fel, amely kísérlet az előző két év dózisait összevontan tartalmazza. Az öntözővíz As koncentrációját a laboratórium többször is visszamérte és rendben találta. A kísérletet talaj nélküli termesztésben végeztük aggregát hidropóniás rendszerrel.

III. 2. 1. A rendszer bemutatása

A termesztőházban három termesztőasztal áll, ezeken egyenként három hidrokultúrás tápoldat csatorna fekszik. A csatornák műanyaglemezből készültek, hosszuk egyenként 4,3 m, magasságuk és szélességük 12 és 30 cm (1. ábra).



1. ábra. Az egymás mellett lévő termesztőasztalok

A szükséges tápanyagokat az előre elkészített törzsoldat megfelelő adagolásával biztosítottuk. A felhasznált tápoldatot a Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézet receptje alapján Ferticare IV. műtrágyakomplex felhasználásával állítottuk elő. A Ferticare IV. műtrágya törzsoldat hidrokultúrára kifejezetten ajánlott kálium túlsúlyos komplex műtrágya, melyben az N:P:K arány: 6:14:30%. Ebből összesen 130 liter vízben 60 g-ot oldottunk. Ezen kívül 4 g mennyiségben Bentley IX. mikroelem-műtrágya kijuttatására is sor került.

A tápoldat keringetését egy alsó és egy felső tartály beiktatásával oldottuk meg. A tápanyag az alsó tartályba került, majd később az arzén is ide került kijuttatásra és innen búvárszivattyú segítségével került az oldat a felső tartályba. Ebből a tartályból gravitációval folyt a tápoldat a csatornák elejéhez, műanyag csöveken keresztül. A csatorna lejtése miatt a növénytörök alatt a csatornában végigfolyt a tápoldat, az alsó tartályba pedig összegyűlt a felesleg (2. ábra). A keringetést, a tápoldatozás időtartalmát időkapcsolóval oldottuk meg. A környezeti tényezők alakulásától, valamint a növény fejlettségétől függött az átfolyási időtartam meghatározása. A pH-t 5,5–5,8 közé állítottuk be salétromsav segítségével a saláta igényeinek megfelelően. A sótartalom (EC) 1,8-2,0 mS/cm körül alakult, amelyet foszforsavval tartottunk egyensúlyban.

Hetente egyszer cseréltük le az egész tápoldat mennyiséget (csatorna-rendszerenként 25 liter). Átlagosan napi 3-5 litert kellett utánpótolni (a dózis megfelelő fenntartásával) a párologás-párologtatás okozta folyadékvesztés miatt.



2. ábra. A keringető rendszer

III. 2. 2. A szennyezett öntözővíz készítése

A termesztés során felhasznált, arzénrel szennyezett tápoldatot arzén törzsoldat adagolásával állítottuk elő. A törzsoldatot laboratóriumi körülmények között készítettük el a Kertészeti Főiskolai Kar akkreditált Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában.

A kiinduló vegyület arzén-trioxid-ból készített arzénsav (H_3AsO_4), így az arzénhígítás után arzenát (H_2AsO_4^-) formában van jelen az oldatban. A szennyezett, a kitermelés során levegővel érintkező felszín alatti természetes vizekben, vagyis az érintett hazai területek öntözővizében szintén ez az ionos forma jelenik meg. Két liter, azaz 2000 cm^3 oldatban, $1,3204 \text{ g As}_2\text{O}_3$ azaz arzén-trioxid-ot oldottunk, így kaptuk meg a $0,5 \text{ g/l}$ töménységű törzsoldatot.

III. 3. A kísérlet bemutatása

III. 3. 1. Palántanevelés, magvetés (2009, 2010, 2011)

Kísérleteinket mindhárom évben Emerald fajtával végeztük. A hajtásban általános a drázsírozott vetőmag használata, ez viszonylag drágítja a vetőmagot, ugyanakkor egyszerűsíti a vetést. A csíráztató közeg, jelen esetben kőgyapot vetőelem volt, ebbe került a mag. A tűzdelés során a vetőelemet a kőgyapot-kockákba helyeztük, ezután került sor a kiültetésre. Nem szabad túl magas tápanyag szintet beállítani a csíranövény só érzékenysége miatt. A palánták nevelése fűtetlen termesztő berendezésben történt, illetve nappal végeztünk szellőztetést az üvegházban, éjjel $10-12^\circ\text{C}$ körül alakult a hőmérséklet. A magvetés ideje (2009): július 18, palántanevelés ideje: 6 hét. A palánták kiültetésére szeptember 1-én került sor. Magvetés ideje (2010): január 20, palántanevelés

ideje: 6 hét. A kiültetés időpontja: március 3-a. A magvetés ideje (2011): február 8, palántanevelés ideje: 4 hét. A kiültetés időpontja: március 8-a. Palántanevelés ideje alatt a növény nem kapott arzénterhelést.

III. 3. 2. A palánták beültetése

A növényeket a már előkészített Grodan Delta típusú kőgyapot kockába illesztettük a vetőelemmel együtt. A növény gyökere nem sérül, így azonnal tovább tud fejlődni. Továbbiakban a növény a környezeti igényeinek megfelelő ellátást kapott.



3. ábra. A kőgyapot kockát teljesen átszőtt növény gyökere

III. 4. A kísérlet bontása, mintavétel

Kilenc hét elteltével megkezdtük a kísérletbontást. Kezelésként 4 ismétlésben mintákat képeztünk. A mintavételezés során vegetatív növényi részeket gyűjtöttünk, képeztünk külön levél- és gyökérmintákat. A levélminták vételénél az idősebb leveleket eldobtuk, és elsősorban a közepes korú levelekből gyűjtöttünk mintákat. A gyökérzet vizsgálata tudományos célt szolgált, mivel több szerző szerint a gyökerekben halmozódnak fel a növény által felvett mikro- és toxikus elemek [CSATHÓ, 1994; KÁDÁR, 1991].

A levélmintákat papírzacskóba, míg a gyökérmintákat üvegedényekbe gyűjtöttük. Szemmel láthatólag (4. ábra) a fejes salátánál az arzénnel szennyezett tápoldat növekedési depressziót, növekedési lemaradást, torzulást, fejképzés elmaradást nem okozott egyik dózisban sem.



4. ábra. A salátafejek a kísérlet bontása előtt



5. ábra. A salátasorok a kezelt dózisokkal



6. ábra. A növény gyökere által átszűrt kőgyapot, és az alatta lévő támasztó paplan



7. ábra. A kísérlet bontása, a gyökérminta gyűjtése



8. ábra. A levélminta gyűjtése

III. 5. A növényvizsgálat módszere

III. 5. 1. Minta-előkészítés, roncsolás

A minták előkészítése a szárítószekrényben (9. ábra) történő szárítással kezdődik. Ezt 70 °C-on végeztük.



9. ábra. A levél- és gyökérminták a szárítószekrényben

A szárítószekrényen kívül rendelkezésünkre álltak analitikai mérlegek, vegyszerek a minták előkészítéséhez, és egyéb laboratóriumi eszközök. A szárítás után következett a homogenizálás (darálás). Ezt kávédarálóval oldottuk meg. Ennek eredményeként sötétzöld színű, finom porszerű minta keletkezett (5-10g/minta).



10. ábra. Darált salátagyökér



11. ábra. Darált salátalevél

III. 5. 2. Roncsolás

A roncsolást Milestone Ethos Plus típusú mikrohullámú roncsolóval végeztük (12. ábra).



12. ábra. A Milestone Ethos Plus roncsoló

A minta feltárás (roncsolás) Milestone Ethos Plus típusú mikrohullámú roncsoló segítségével történik. A roncsoló 100 cm³-es teflon bombájába 1 g növénymintát mértünk. Erre a bemért mintára adagoltunk 6 cm³ analitikai tisztaságú tömény salétromsavat (HNO₃), és 1 cm³ 30 %-os, szintén analitikai tisztaságú hidrogén-peroxidot (H₂O₂). Ez kerül a mikrohullámú roncsoló roncsoló-terébe, ahol szabályozott hőmérsékleten (200 °C-on), 25 perc alatt folyékony halmazállapotúvá oldódik fel a minta az erős sav és a hidrogén-peroxid hatására.



13. ábra. A roncsoló bombák, hidrogén-peroxid és salétromsav



14. ábra. A roncsolt minta



15. ábra. A pezsgő minta a hozzáadott hidrogén-peroxiddal



16. ábra. A roncsolóba helyezett bombák

III. 6. A műszeres mérés módszere

A leszűrt roncsolmányokat PE mintatartó edényekbe gyűjtjük, és ezekből a folyékony halmazállapotú mintákból végezzük az As-tartalom meghatározást atom-emissziós spektrométerrel.

III. 6. 1. Az atom-emissziós spektrometria (ICP-AES) jellemzői

Maga az ICP elnevezés szűkebb és eredeti értelemben egy emissziós forrást jelöl, amely leggyakrabban argonplazma, tágabb értelemben pedig az ICP-n a plazma-emissziós spektrometria módszerét, illetve az ICP-sugárforrással működő spektrométert értjük [HÜVELY, 2005].

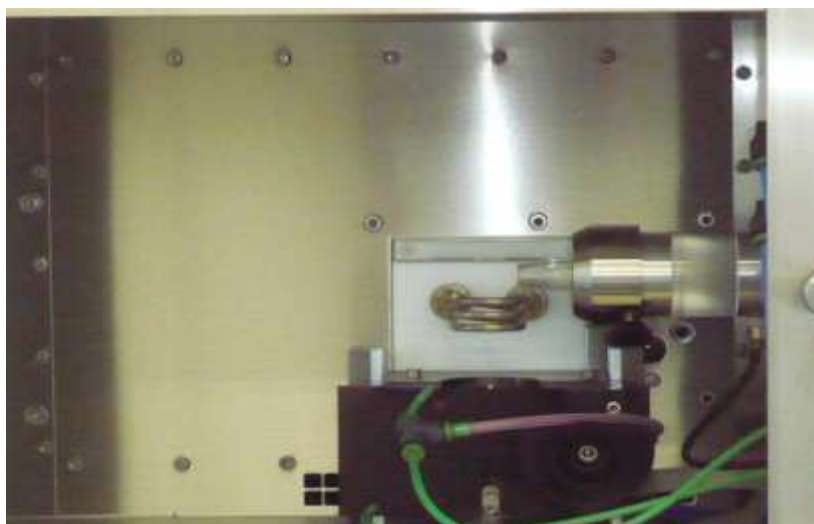
Az ICP az Inductively Coupled Plasma (Induktív Csatolású Plazma) kifejezés rövidítése, ahol az induktív csatolás az energiaközlés csatolására utal.

III. 6. 2. A készülék működésének a lényege

A készülék emissziós tere az ún. torch. Ez egy rézcsőből hajlított spirálból áll, mely körül nagyon magas frekvenciájú, változó pólusú elektromágneses tér működik. Ez képes a spirálba vezetett, stabil szerkezetű argon gázt körülbelül 10 000 K-re gerjeszteni. A gerjesztés során egy gyertyaláng alakú, erős fényű „szűrőláng” világít, melyet plazmának nevezünk. Ebbe a plazmába perisztaltikus pumpával vezetjük az előzetesen feltárt, folyadék halmazállapotú mintát. Mivel a plazma körülbelül a Nappal megegyező hőmérsékletű, ezért a beporlasztott minta valamennyi összetevője, például ionok és vegyületek, nyomban atomos és ionos állapotúra esnek, tehát a készülék mondhatni „mindent lát”, ami az oldatban van, függetlenül az oldatban esetleg jelen lévő komplex, stabil vegyületek arányától.



17. ábra. Az ICP plazma-tere (torch)



18. ábra. A készülék emissziós tere a rézcsőből hajlított spirál

A plazmában felvett hőenergiát a mintából származó atomok és ionok fény formájában bocsátják ki, így kerülnek gerjesztett elektronjaik kisebb kvantumszámú elektronpályákra. A kibocsátott fény hullámhossza (nm) minden elemre egyedileg jellemző, erőssége, azaz intenzitása pedig lineáris, az adott elem oldatbeli koncentrációjával pozitív koncentrációban áll. Ez a két összetevő teszi lehetővé a minőségi és a mennyiségi vizsgálatot, mégpedig egyszerre [HÜVELY, 2005].

III. 7. Statisztikai értékelés módszere

III. 7. 1. A varianciaanalízis lényege

A varianciaanalízisnek nevezett értékelési módszer magába foglalja az értékelési munka számításmenetét, a becslést és a vizsgált tényezők szignifikancia-vizsgálatát is. A varianciaanalízis a következő elvi megfontoláson alapszik. Elsődlegesen az összes megfigyelt adatot egyetlen közös alapsokaság mintájának tekintjük. Ezekből az adatokból becsüljük a közös szórásnégyzetet, a közös varianciát. Az analízis során azt vizsgáljuk, hogy az összes varianciából mennyit okozhattak a vizsgált tényezők, továbbá azok kölcsönhatásai. Ehhez a vizsgálatához az összes varianciát tényezőnként becsült szórásnégyzetekre bontjuk. A maradékot tekintjük hibaszórásnégyzetnek. Lehetnek természetesen olyan tényezők is, amelyeknek hatása nem érvényesül. Ezek szóródást sem okozhatnak, tehát nem növelik az alapadatok varianciáját. Az ilyen tényező becsült szórásnégyzetére kapott számszerű érték általában a hibahatáron belül van. A hiba-határnál nagyobb szórásnégyzet esetén ezért valódi hatásra következtethetünk. Azt, hogy a becsült szórásnégyzet értékét még a hibahatáron belülnek vagy annál nagyobb, így legalább részben valódi hatásnak tekintjük, F-próbával döntjük el. A varianciaanalízis számításmenetében azonban nem közvetlenül a közös szórásnégyzetet becsüljük és bontjuk fel. Ehelyett az összes adat közös eltérésnégyzet-összegét, SQ értékét számítjuk ki és ezt bontjuk fel tényezőnkénti eltérésnégyzetösszegekre.

Utóbbiakat az ugyancsak felbontott szabadságfokok számával osztjuk. Hányadosként az úgynevezett közepes négyzetes eltéréseket, az MQ értékeket kapjuk. Az MQ értékek felbonthatók varianciakomponensekre. Magát az F-próbát és az $SzD_{p\%}$ kiszámítását az MQ értékekből végezzük [SVÁB, 1973].

III. 7. 2. Számításmenet

(„A statisztikai értékelés számításmenete a mellékletben található”)

Alaptáblázat: Első lépésként a parcellakénti adatokat kezelésként rendezve táblázatba foglaljuk. Ha ismétlésekre (blokkokra) is csoportosíthatók, akkor rendezhetjük, úgy a táblázatot, hogy sorok képezzék a kezeléseket, a táblázat oszlopai pedig az ismétléseket. Az alapadatokat, mind függőleges, mind vízszintes irányban összeadjuk. Az így kapott kezelés- és ismétlésösszegeket is összeadjuk. A két összegnek egyeznie kell egymással.

Ezek a kísérlet főösszegét adják. Jele: G

1. táblázat. Az alaptáblázat

Kezelés	Ismétlés				Kezelés összeg, V
	1.	2.	3.	4.	
1.	↓→	↓→	↓→	↓→	$\Sigma\downarrow$
2.	↓→	↓→	↓→	↓→	$\Sigma\downarrow$
3.	↓→	↓→	↓→	↓→	$\Sigma\downarrow$
4.	↓→	↓→	↓→	↓→	$\Sigma\downarrow$
Ismétlés összeg, R	$\Sigma\rightarrow$	$\Sigma\rightarrow$	$\Sigma\rightarrow$	$\Sigma\rightarrow$	$\begin{matrix} = \\ \mathbf{G(főösszeg)} \end{matrix}$

Varianciatáblázat: A varianciatáblázat négy oszlopból áll, melyek címjele egymás után: Tényező, SQ, FG, MQ.

Az első oszlopban soroljuk fel a tényezőket. A tényezők három csoportra oszthatók. Az első csoportba az Ismétlés tényező (R) tartozik. A második csoportba a Kezelés (V) tényező, a harmadik csoportot a Hiba (e) tényező képezi. A Tényező oszlopba ezeken kívül elsőnek, vagy utolsónak az Összes tényezőt is bejegyezzük, mely az összes többinek az összefoglalója.

Először mindig az Összes tényező SQ értékét számítjuk ki. Kiszámítása: az összes alapadatot négyzetre emeljük, a négyzeteket összegezzük, és az összegből levonjuk a korrekciós tényezőt. A korrekciós tényező a kísérlet főösszegének négyzete osztva az adatok számával:

$$\text{Összes SQ} = \sum X^2 - \frac{G^2}{rv};$$

ahol Σ az összegzés jele, X az alapadatokat jelöli, G a kísérlet főösszege, r az ismétlések és v a kezelések száma.

A varianciatáblázat harmadik, FG-vel jelzett oszlopába írjuk a szabadságfokokat. A varianciatáblázat negyedik oszlopába írjuk tényezőnként az SQ értékek és a szabadságfokok hányadosát. Ezek a közepes négyzetes eltérések, az oszlop jele MQ. Az Összes és az Ismétlés tényezők MQ értékeit nem számítjuk ki, mivel azoknak a további értékelésben nincs jelentőségük.

Az F-próba: A számított és a táblázati F-érték összehasonlítása az F-próba. Az F-próba eredményét a varianciatáblázatban kétféleképpen jelölik. Egyik módja, hogy a táblázatban feltüntetjük a számított F-értéket, mellette zárójelben a táblázati F-értéket, mely mellé *, **, *** jelzést teszünk aszerint, hogy a $P = 5\%$, $P = 1\%$, vagy $0,1\%$ szinten igazol szignifikáns különbségeket [SVÁB, 1973].

2. táblázat. A varianciatáblázat

Tényező	SQ	FG	MQ
Összes	-	$rv - 1$	-
Ismétlés	-	$r - 1$	-
Kezelés	-	$v - 1$	-
Hiba	-	$(r - 1)(v - 1)$	-

III. 7. 3. A szignifikáns differencia ($SzD_{p\%}$)

Ennek a módszernek a lényege, hogy megvizsgáljuk, melyek azok a kezelések, amelyek különbsége szignifikánsnak tekinthető, és mekkora különbséget fogadhatunk el igazoltnak. A nemzetközi szokásoknak megfelelően, általában az $SzD_{5\%}$ -ot számítjuk ki. Ha van két olyan kezelésátlag, amelynek a különbsége nagyobb, mint a számított $SzD_{p\%}$, akkor azt igazoltnak fogadjuk el. A kiszámítása:

$$SzD_{p\%} = t_{p\%} \sqrt{\frac{2 \text{ Hiba } MQ}{r}}$$

Eredményközlés: Általában a varianciatáblázatot és az eredménytáblázatot közöljük. Az eredménytáblázatban a kezeléseket, kezelésátlagokat, és a hozzájuk tartozó szignifikáns differenciát tüntetjük fel [SVÁB, 1973].

3. táblázat. Az eredménytáblázat

Kezelés	kg/parc.	q/ha
1.	-	-
2.	-	-
3.	-	-
4.	-	-
SzD_{5%}	-	-

III. 7. 4. Véletlen blokkrendezés

A statisztikai értékelést a 2010-es és 2011-es kísérleteknél végeztük el, mivel az ismétlések közötti szórás kicsi, ez sokkal precízebb kísérlet kivitelezésére utal. A mi kísérleteink elrendezése véletlen blokkrendezés, (2010-ben 6 kezeléssel, 4 ismétlésben és 2011-ben 9 kezeléssel, 4 ismétlésben).

III. 7. 4. 1. A varianciatáblázat kitöltése

Korrektíós tényező (C): Az adatok főösszegének négyzetét elosztjuk a kísérlet összes adatainak számával:

$$C = \frac{G^2}{rv};$$

Összes SQ: Az összes parcellaadatot egyenként négyzetre emeljük, a négyzeteket összegezzük. A kapott összegből levonjuk a C értéket:

$$X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_{rv}^2 - C;$$

Ismétlés SQ: Az ismétlésösszegeket egyenként négyzetre emeljük, a négyzeteket összegezzük. Az összeget elosztjuk a kezelések számával. A hányadosból levonjuk a C értéket:

$$R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_r^2 / v - C;$$

Kezelés SQ: A kezelésösszegeket egyenként négyzetre emeljük, a négyzeteket összegezzük. Az összeget elosztjuk az ismétlések számával. A hányadosból levonjuk a C értéket:

$$V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_v^2 / r - C;$$

Hiba SQ: Az Összes SQ-ból levonjuk az Ismétlés SQ és a Kezelés SQ értékeket:

$$\text{Összes SQ} - \text{Ismétlés SQ} - \text{Kezelés SQ} \text{ [SVÁB, 1973].}$$

IV. EREDMÉNYEK

IV. 1. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben, 2009/2010/2011

A kísérlet három évében a salátalevélből a következő, szárazanyagra vonatkoztatott arzén koncentrációkat mértük:

1. táblázat. A levél As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2009-ben

2009. (mg/kg)				
ismétlés/dózis	kontroll	200 µg/l	400 µg/l	600 µg/l
1.	<0,300	<0,300	1,47	0,784
2.	<0,300	<0,300	2,67	1,07
3.	<0,300	<0,300	0,784	1,01
4.	<0,300	<0,300	1,33	0,944
átlag	<0,300	<0,300	1,56	0,952

2. táblázat. A levél As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2010-ben

2010. (mg/kg)						
ismétlés/dózis	kontroll	25 µg/l	50 µg/l	75 µg/l	100 µg/l	200 µg/l
1.	<0,300	<0,300	0,600	0,550	1,05	1,62
2.	<0,300	0,380	0,370	0,580	1,07	1,13
3.	<0,300	0,320	0,425	0,520	1,12	1,47
4.	<0,300	0,390	0,395	0,560	1,02	1,52
átlag	<0,300	0,348	0,448	0,553	1,07	1,44

3. táblázat. A levél As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2011-ben

2011. (mg/kg)									
ismétlés/dózis	kontroll	25 µg/l	50 µg/l	75 µg/l	100 µg/l	200 µg/l	400 µg/l	600 µg/l	800 µg/l
1.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,698	1,55	2,02	1,50	2,37
2.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,895	1,65	2,07	1,75	2,00
3.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,730	1,62	1,80	2,10	1,77
4.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,638	1,58	2,46	2,00	2,25
átlag	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,740	1,60	2,09	1,84	2,10

Az első táblázatban látható, hogy a 2009-es kísérleti évben a kontroll és a 200 µg/l-es dózis a saláta levelében nem okozott mérhető As-tartalmat. A 400 és a 600 µg/l-es dózis a kontrollhoz és a 200 µg/l-es dózishoz képest növelte a levél As-tartalmát. Az ismétlések közötti szórás igen nagy. A legmagasabb érték 2,67 mg/kg. A 400 µg/l-es, és a 600 µg/l-es dózisoknál az ismétlések átlaga ellentmondásos, mert a 400 µg/l-es dózis átlaga nagyobb, mint a 600 µg/l-é. Az érvényes élelmiszer

rendelet 17/1999. (VI. 16.) EüM szerint az eredeti nedvességtartalmú zöldségnövények As-tartalma legfeljebb 0,200 mg/kg lehet. Az általunk mért, szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalmat át kell számolnunk eredeti nedvességtartalmú As-tartalomra, mert a rendelet erre vonatkozik. A saláta levelének átlagos szárazanyagtartalma 5-7 %, vagyis az általunk mért eredményeket 15-20-al kell osztani, hogy megkapjuk az eredeti nedvességtartalomra visszaszámított eredményeket.

Ha a 2,67 mg/kg legmagasabb értéket elosztjuk 15-20-al, akkor a kapott érték sokkal kisebb, mint 0,200 mg/kg, vagyis az általunk alkalmazott legnagyobb dózis (600 µg/l) sem okozott az egészségügyi határértéket meghaladó arzénértéket.

A második táblázat eredményei (2010-es eredmények) már sokkal kisebb szórást mutatnak, mint a 2009-eseké. Ebben az évben valamennyi dózissal igaz, hogy az egyre növekvő öntözővíz koncentrációk egyre növekvő levél-arzéntartalmat okoztak. A 95%-os megbízhatósági szintű szignifikáns különbség a három legnagyobb dózis eredményei között lép fel (IV. 1. fejezet; 2. ábra). A 2010-ben végzett kísérlet eredményei, mintha arra engednének következtetni, hogy a korábbi évnél precízebb kísérletet sikerült kivitelezni. Az egyre növekvő arzéndózisok egyre növekvő arzénkoncentrációt okoztak a levélben, és ugyanez igaz a gyökér-arzéntartalomnál is (IV. 2. fejezet; 5. táblázat).

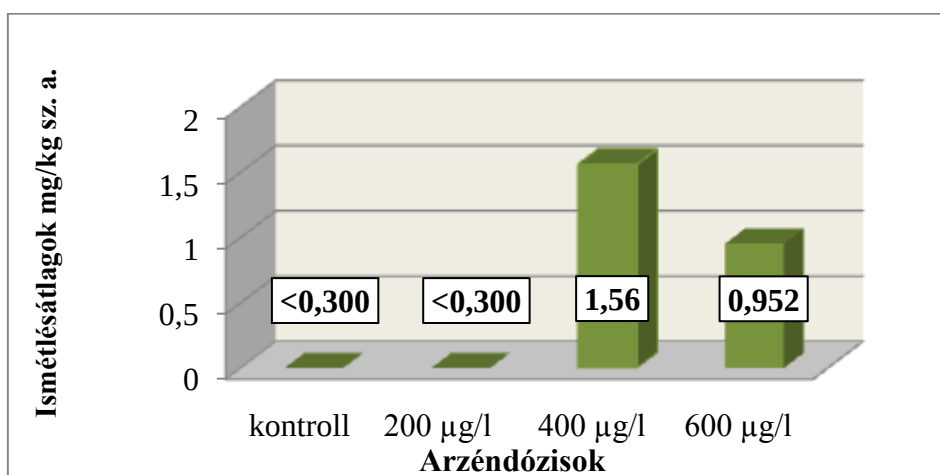
Az első két kísérleti évben jelentős ellentmondás született a 200 µg/l-es dózisok eredményei között, hiszen amíg 2009-ben a 200 µg/l dózissal nem volt mérhető arzén tartalom, addig 2010-ben 1,44 mg/kg átlagos koncentrációt mértünk ugyanennyel a dózissal (IV. 1. fejezet; 1. és 2. ábra). Az ellentmondásos eredmények miatt 2011-ben megismételtük a teljes kísérletet.

A 2011-ben elvégzett kísérlet eredményei alapján azt állapíthatjuk meg, hogy az ismételt vizsgálatok a 2010-ben tapasztalt eredményeket igazolják vissza.

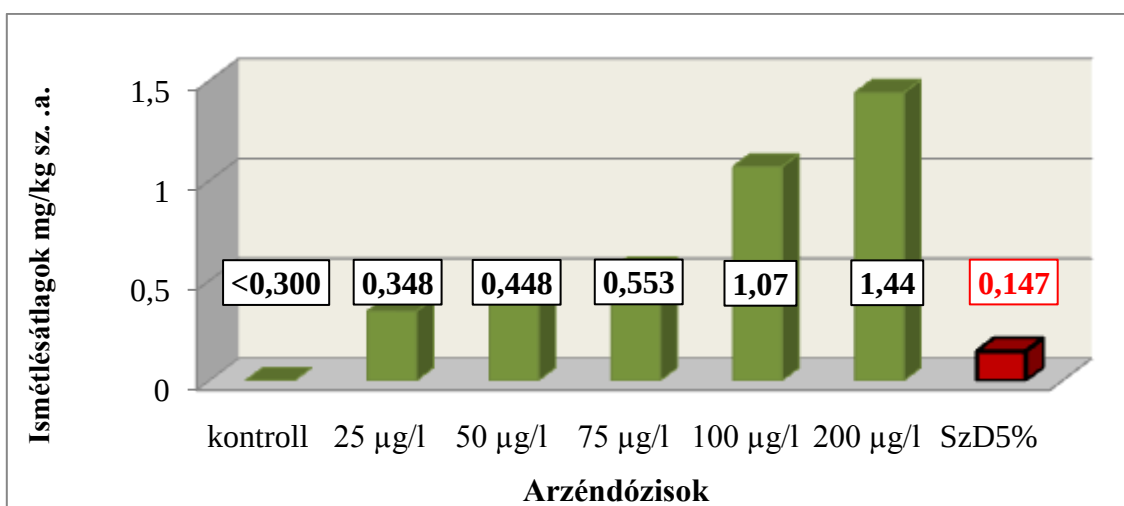
Az egyes dózisokat összehasonlítva (IV. 1. fejezet; 2., 3. táblázat, 100 és 200 µg/l) az eredmények nagyon hasonlóak. Mind a két évben az egyes dózisok között szignifikáns különbségeket állapíthattunk meg az arzéntartalmakról (IV. 1. fejezet; 2., 3. ábra). Ez a 95%-os megbízhatósági szinten mért szignifikáns különbség elsőként mindkét évben a 75 és 100 µg/l-es dózisoknál volt megfigyelhető. A 2011-es évben a szignifikáns különbségek a 75 µg/l-es dózistól a 400 µg/l-es dózsig lépésenként megfigyelhetők voltak (IV. 1. fejezet; 3. ábra).

Ugyanakkor hasonlóságot is megfigyelhetünk a 2009-es és 2011-es év eredményei között abban a tekintetben, hogy a legnagyobb levél-arzéntartalmat a 400 µg/l-es dózis produkálta, és az ettől nagyobb dózisok már nem okoztak további arzén koncentráció-növekedést a levélben (IV. 1. fejezet; 1. és 3. ábra). Tehát sem 2009-ben, sem 2011-ben nem sikerült a 400 µg/l-es dózis feletti kezelésekkel további arzén akkumulációt kimutatni. Feltételezhető az, hogy a 400 µg/l-es dózis felett az akkumuláció megáll.

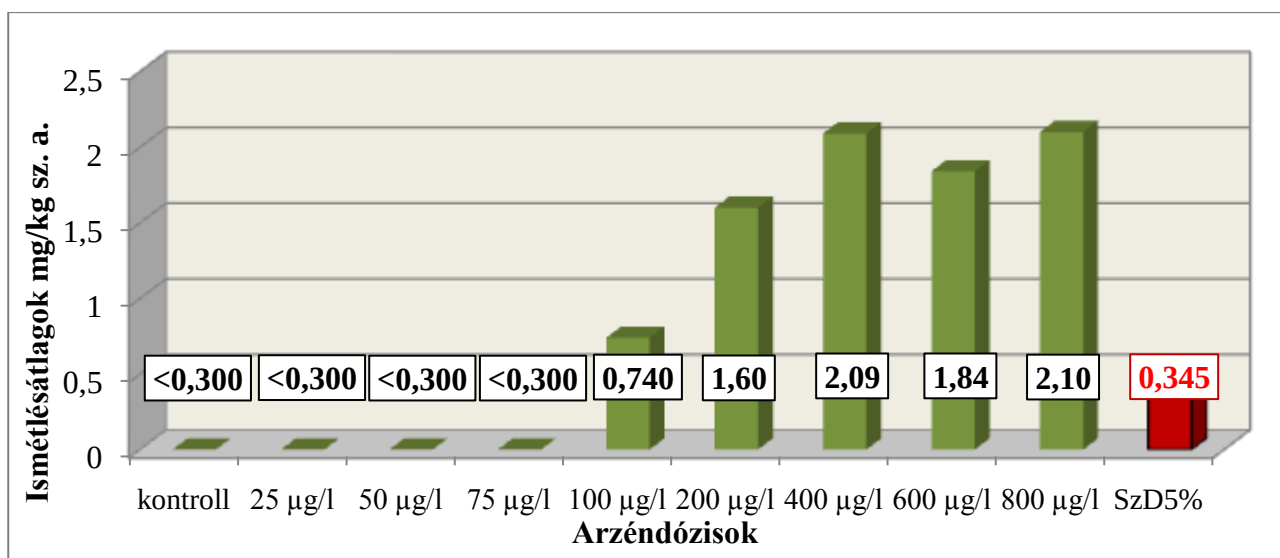
A következő három ábrán látható diagramok a három kísérleti év levélmintáiban mért arzéntartalmak ismétlésátlagait tüntetik fel az egyes dózisok szerint:



1. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben (2009)



2. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben (2010)



3. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben (2011)

IV. 2. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben, 2009/2010/2011

4. táblázat. A gyökér As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2009-ben

2009. (mg/kg)				
dózisok	kontroll	200 µg/l	400 µg/l	600 µg/l
eredmények	<0,300	80,5	238	227

5. táblázat. A gyökér As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2010-ben

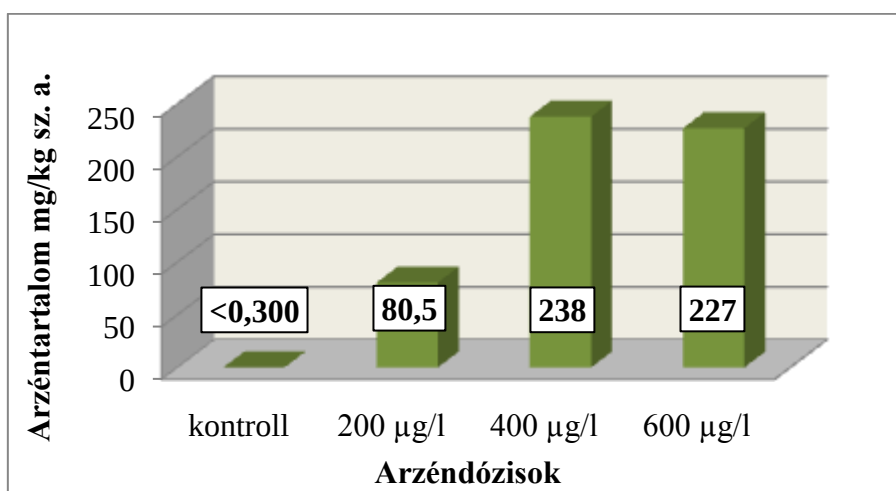
2010. (mg/kg)						
dózisok	kontroll	25 µg/l	50 µg/l	75 µg/l	100 µg/l	200 µg/l
eredmények	<0,300	3,60	11,0	14,5	16,9	40,1

6. táblázat. A gyökér As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2011-ben

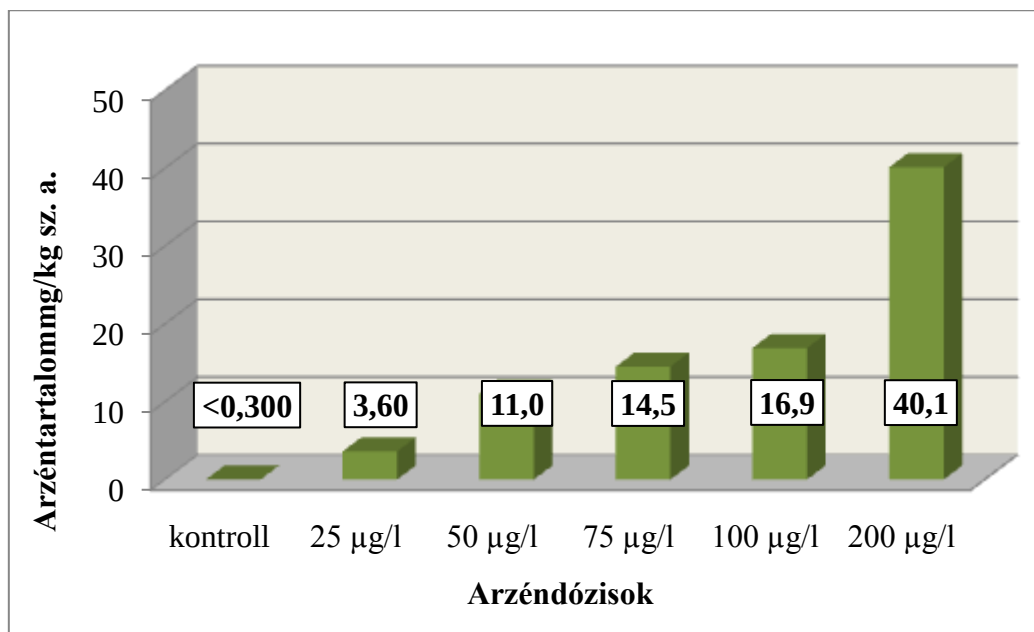
2011 (mg/kg)									
dózisok	kontroll	25 µg/l	50 µg/l	75 µg/l	100 µg/l	200 µg/l	400 µg/l	600 µg/l	800 µg/l
eredmények	<0,300	6,80	5,92	9,64	12,3	24,0	80,7	109	187

A (IV. 1. fejezet; 1-3. táblázatok (levél) és a IV. 2. fejezet; 4-6. táblázatok (gyökér) eredményeit összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a gyökér As-tartalma a levél többszöröse. Az egyre növekvő arzéndózisok egyre növekvő gyökér-arzéntartalmat okoztak mindhárom évben.

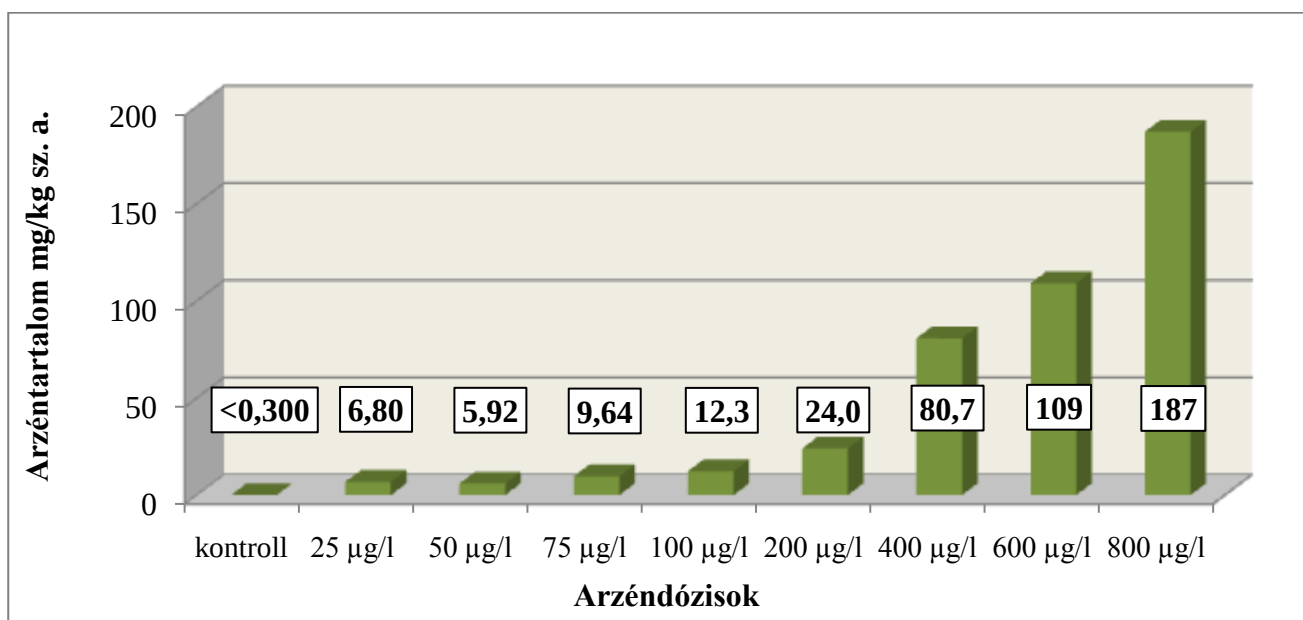
A következő három ábrán látható diagramok a három kísérleti év gyökérmintáiban mért arzéntartalmakat tüntetik fel az egyes dózisok szerint:



4. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben (2009)



5. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben (2010)



6. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben (2011)

Az eredmények a három évben alapvető párhuzamban állnak az egyre növekedő arzéntartalmakat illetően (IV. 2. fejezet; 4., 5., 6. táblázat). A három év közül a 2009-es produkálta a legnagyobb koncentrációkat (IV. 2. fejezet; 4. táblázat). Ha összehasonlítjuk a három kísérleti évet, akkor azt tapasztaljuk, hogy a 2011-es év eredményei (IV. 2. fejezet; 6. táblázat) elmaradnak a másik két év gyökér-eredményeitől. A 2009-es évben, levelek esetében tapasztalt ellentmondás, tehát hogy a 400 µg/l-es dózis produkálta a legnagyobb arzén-koncentrációt a töle nagyobb dózishoz képest (IV. 1. fejezet; 1. ábra), fennáll a gyökér esetében is, ahol a 400 µg/l-es dózistól nagyobb dózis szintén nem okozott nagyobb arzéntartalmat (VI. 2. fejezet; 4. ábra).

V. KÖVETKEZTETÉSEK

Vizsgálataink következtetéseként elmondhatjuk azt, hogy a fejes saláta tesztnövény az általunk kialakított hidrokultúrák körülmények között reagál a szennyezett tápoldat arzéntartalmára, felveszi, azaz akkumulálja az általunk meghatározott koncentráció-intervallumban ezt a toxikusnak tekintett félfémet.

Mint ahogy azt már említettem dolgozatomban irodalmi áttekintésében (II. 5. 1. fejezet; KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 1984), tesztnövényünk a hidrokultúrában alkalmazott dózisok hatására, mérgezésre utaló tüneteket, fejlődésbeli lemaradást, nekrotikus foltokat, növekedési depressziót, morfológiai elváltozást, egyéb levéltünetet nem mutatott. Feltehetőleg ezek a tünetek, csak nagyobb dózisú terhelés hatására jelentkeznének. Továbbá az is kijelenthető, hogy a dél-alföldi régióra jellemző kútvíz-koncentráció legmagasabb arzéntartalma (200 µg/l), amely dózist mi is felhasználtunk, egészségre káros eleműsülést nem okoz, az általa okozott arzéntartalom nem éri el az egészségre káros 0,200 mg/kg koncentrációt.

Elmondhatjuk, hogy a vizsgálataink során megállapított észrevételeink a szakirodalommal [HORVÁTH és KISS nyomán] párhuzamban állnak. Az ott felhasznált dózisok hatására a tesztnövények (hagyma és árpa) szár- szem- és levélmintáiban mért As-tartalom egyre növekvő tendenciát mutatott, de ez a növekedés kisebb intenzitású volt, mint a mi hidrokultúrák kísérletünkben tapasztaltak, feltehetőleg azért, mert a fenti kísérletben egy tenyészedényes vizsgálat történt, mely a talaj elemkötő képessége miatt nem tekinthető annyira zárt rendszerű termesztésnek, mint a mi hidrokultúrák kísérletünk.

A legjelentősebb párhuzam a szakirodalomban talált vizsgálatok közül ROFKAR, DWYER, FRANTZ és SMITH, JUHÁSZ, WEBER munkáival kapcsolatban található.

ROFKAR, DWYER és FRANTZ hidrokultúrában termesztett növények esetén szintén a gyökérrészekben találta a legnagyobb arzén koncentrációt.

SMITH, JUHÁSZ és WEBER 2 mg/l-es hidrokultúrák tápoldat felhasználása során a mi kísérletünkhöz hasonló nagyságrendben, a levélben 3,18 a gyökérben pedig 278 mg/kg szárazanyag-arzénkoncentrációt talált a fejes salátában. Az általunk alkalmazott 800 µg/l-es tápoldat dózis 2,10 mg/kg szárazanyag-arzén tartalmat okozott a levélben, ez az eredmény jelentős párhuzamosságot mutat a 3,18 mg/kg értékkel.

Összefoglalás

Az As a legmérgezőbb hatású félfém. A dél-alföldi régió kútvízeiben geológiai okokból megjelenő legmagasabb arzén-koncentráció 200 µg/l. Az új, elfogadott jogszabályok szerint a korábbi 50 helyett legfeljebb 10 µg/l arzént tartalmazhat az ivóvíz [201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet]. Élelmiszereink közül a friss leveles zöldségfélékre vonatkozóan legfeljebb 200 µg/kg arzén a megengedett [17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet]. Az arzén, legnagyobb arányban a tengeri eredetű élelmiszerekben; halakban, rákokban, kagylófélékben és egyéb tengeri táplálékokban fordul elő. Az élő szervezetekre nézve súlyos károsodást, fejlődési, illetve rendellenességi problémákat okozhat.

Hazánk kútvízeiben, a legnagyobb mennyiségben a dél-alföldi régióban található, ahol az öntözött zöldségtermesztés kb. 80 %-át végzik. Nagyon fontos, hogy kiemelt hangsúlyt fektessünk a kertészeti növények laboratóriumi ellenőrzésére, mivel ez a térség nagyon érintett az arzén-szennyezettség szempontjából.

Kísérletünket a Kertészeti Főiskolai Kar Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézetének, valamint a Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumának összefogásában végeztük. Rendelkezésünkre állt az iskola bemutatókertje, ahol a kísérletünket végeztük. A kísérleti növényünk a fejes saláta volt. A célunk az volt, hogy megállapítsuk, hogy a salátának a vegetatív szerveiben, különösen nagy hangsúlyt fektetve a levélre, amit fogyasztunk, mennyi arzén képes felhalmozódni, tehát a kísérletünkkel egy öntözési modellt akartunk megvalósítani a természetes körülmények között előforduló dózissal. Az első kísérleti évben (2009) háromféle dózist alkalmaztunk: 200, 400, 600 µg/l, a második kísérleti évben (2010) alkalmazott dózisok: 25; 50; 75; 100; 200 µg/l, a harmadik kísérleti évben (2011) az előző két év dózisait együttesen használtuk fel. A kontroll mintacsoportot arzénmentes tápoldattal kezeltük. Mindhárom esetben a kísérlet megkezdése után, kilenc hét elteltével levél- és gyökérmintákat gyűjtöttünk. Ezeknek meghatároztuk a szárazanyagra vonatkoztatott arzén-tartalmát, amelyekből visszakövetkeztettünk az eredeti nedvességtartalomra. Az eredmények alapján elmondható, hogy mindhárom évben, mind a levél, mind a gyökér esetében a legnagyobb arzéntartalmat a 400 µg/l-es dózis okozta, tehát az általunk felhasznált legnagyobb dózis a 800 µg/l egészségre káros elemódulást nem okozott. A 2011-es kísérlet a 2010-es kísérleti év eredményeit igazolta vissza jobban. Sem a 2009-es, sem a 2011-es kísérleti évben a 400 µg/l-es dózis által okozott arzéntartalomhoz képest nagyobb arzéntartalmakat nem tapasztaltunk, amelyből az feltételezhető, hogy a 400µg/l-es dózis felett az akkumuláció megáll. A dél-alföldi régió kútvízeire jellemző 200 µg/l-es koncentráció, mely dózist mi is felhasználtunk egészségre káros arzéntartalmat nem okoz, nem haladja meg a levélzöldségekre előírt megengedhető legmagasabb arzénkoncentrációt a 0,200 mg/kg-ot.

Irodalomjegyzék

17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet: Az élelmiszerek vegyi szennyezettségének megengedhető mértékéről.

201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet: Az ivóvíz minőségi követelményeiről, és az ellenőrzés rendjéről.

Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat (2010): Arzénnel szennyezett ivóvizek/ Gyakran ismételt kérdések/ I. Általános kérdések.

Balázs S.–Terbe I. (1994): Zöldségtermesztők kézikönyve/ Mezőgazda Kiadó/ Budapest.

Bartha A. (2004): Geokémia és geoanalitika: Ritkaelemek, víz és környezetgeokémia./ In Magyar Állami Földtani Intézet/ Budapest/ Hungary.

Bowen, H. J. M. (1966): Trace elements in biochemistry. New York, USA: Academic Press.

Chilvers, D. C., Peterson, P. J. (1987): Lead, Mercury Cadmium and Arsenic in the Environment./ New York.

Csathó P. (1994): A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés/ Tematikus szakirodalmi szemle/ Magyar Tudományos Akadémia/ Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete/ Budapest.

Dale, J. M. and Freedman, B. (1982): Arsenic pollution associated with tailings at an abandoned gold mine in Halifax County, Nova Scotia. Proc. Nova Scotian Inst. of Science.

Fazekas E. (2008): Hidrokultúrában termesztett paprika különböző növényi részeinek arzéntartalma arzénnel szennyezett öntözővíz hatására/ Tudományos Diákköri Dolgozat/ Kecskeméti Főiskola/ Kertészeti Főiskolai Kar/ Kecskemét.

Fergusson, J. E. (1991): The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press. Oxford-New York-Seoul-Tokyo.

Hodossi S.–Kovács A.–Terbe I. (2004): Zöldségtermesztés szabadföldön/ Mezőgazda Kiadó/ Budapest.

Horinka T. (1994): Kemira tápanyag-utánpótlási technológiák/ Tápanyag utánpótlás az intenzív kertészeti termesztésben az alaptrágyázástól a hidrokultúráig/ Kemira Kft./ Hódmezővásárhely.

Horinka T. (2010): Kertészeti növények komplett tápanyagellátása/ Kertészek kis/Nagy Áruháza Kft.

Horváth A., Szabó Z. és Szabados M. (1983): A higiénés talajnormák megállapításának elvi és módszertani kérdései (arzén modellen). In: A talaj környezetvédelmének problémái. Tud. ülés. Királyrét, 1981. okt. 5-6. Agrokémia és Talajtan.

Hüvely A. (2005): Az ICP, vagyis az emissziós analízis lehetőségei című előadás/ A Magyar Tudomány Ünnepe, Megyei Tudományos Fórum/ Kecskeméti Főiskola/ Kertészeti Főiskolai Kar/ Kecskemét.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1984): Trace elements in soil and plants. Florida, USA: CRC Press.

Kádár I. (1991): Környezet- és természetvédelmi kutatások: A talajok és növények nehézfém tartalmának vizsgálata/ Magyar Tudományos Akadémia/ Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete/ Budapest.

Kádár I. (1993): Talajaink mikroelem ellátottságának környezeti összefüggései. In MTA Agrártudományi Osztály Tájékoztatója./ Academic Press/ Hungary/ Budapest.

Kádár I. (1995): Környezet és természetvédelmi kutatások: A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon./ Budapest: Magyar Tudományos Akadémia Talajtani- és Agrokémiai Kutató Intézetének kiadványa.

Kádár I. és Szabó L. (2002): Nehézfémek és lehetséges hatásaik a környezetre./ In: Növénytermesztés és környezet (Szerk.: Szabó L.)/ A SzIE Gyöngyösi Mezőgazdasági Főiskolai Kar kiadványa/ Gyöngyös.

Kiss A. S., Ducsik M., Dombóvári J., Veres S. és Ács G. (1990): A tavaszi árpa és vöröshagyma As felvétele és ennek csökkentése Mg trágyázással. In: Hungagrochem' 90. 1990. júl. 4-6. Szerk.: Blaske Zné. 83-90. Keszthely.

Liebig, G. F. (1966): Arsenic. In: Diagnostic criteria for plants and soils (Ed. Chapman, H. P.) Univ. California. Div. Agric. Sci.

Országos Vízügyi Hivatal, (1987): Az arzénmentesítés és technológiai fejlesztésének tapasztalatai/ A vízgazdálkodás kutatási-fejlesztési eredményei/ Vízügyi Dokumentációs Szolgáltató Leányvállalat/ Budapest.

Overcash, M. R., Pal, D. (1979): Design of land treatment systems for industrial wastes-theory and practice. Ann Arbor Science Publ.

Pais I. (1999): A mikroelemek jelentősége az életben/ Mezőgazda Kiadó/ Budapest.

Pallas Nagylexikon (1998): Arcanum Adatbázis Kft/ Budapest.

Rofkar, J., Dwyer, D., Frantz, J. (2007): Analysis of Arsenic Uptake by Plant Species Selected for Growth in Northwest Ohio by ICP-OES. Communications in Soil Science and Plant Analysis.

Russel, F. C. and Duncan, D. L. (1956): Common wealth Bureau Animal Nutr. Bucksburn. Aberdeenshire Scotland Tech. Comm. 15. Cit.: Allaway, W. H. (1968): Agronomic Controls over the environmental cycling of trace elements. Advances in Agronomy.

Smith, E., Juhasz, A. L., Weber, J. (2008): Arsenic uptake and speciation in vegetables grown under greenhouse conditions. Environmental Geochemistry and Health 31, Supplement 1.

Sváb J. (1973): Biometriai módszerek a kutatásban./ Mezőgazdasági Press/ Hungary/ Budapest.

Szabó S. A. (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban I./ Esszenciális mikroelemek/ Mezőgazdasági Kiadó/ Budapest.

Terbe I.-Slezák K. (2008): Talaj nélküli zöldségfajtatás/ Mezőgazda Kiadó/Budapest.

Zürin, N. G. and Szadovnikova, L. K. (1988): Rtuty i müsajok b nekotoryh pocsvah zakarpatsz kaj provincii zabadnoj burozemno-lesznoj oblaszti. Vesztn. Moszkovszkogo Univ. Pocsvovedenie. 1988.

Ábrajegyzék

II. Irodalmi áttekintés

1. ábra. A felszín alatti vizek arzén-tartalma (Országos Vízügyi Hivatal, 1987) - 7 -
1. táblázat. Az As és a Mg hatása a tavaszi árpa és a vöröshagyma As és Mg tartalmára - 12 -
2. táblázat. A növények toleranciája az As mérgezéssel szemben [Fazekas E., 2008]..... - 13 -

III. Anyag és módszer

1. ábra. Az egymás mellett lévő termesztőasztalok - 17 -
2. ábra. A keringető rendszer - 18 -
3. ábra. A kőgyapot kockát teljesen átszőtt növény gyökere - 19 -
4. ábra. A salátafejek a kísérlet bontása előtt - 20 -
5. ábra. A salátasorok a kezelt dózisokkal - 20 -
6. ábra. A növény gyökere által átszőtt kőgyapot, és az alatta lévő támasztó paplan..... - 20 -
7. ábra. A kísérlet bontása, a gyökérminta gyűjtése..... - 21 -
8. ábra. A levélminta gyűjtése..... - 21 -
9. ábra. A levél- és gyökérminták a szárítószekrényben - 22 -
10. ábra. Darált salátagyökér..... - 22 -
11. ábra. Darált salátalevél - 22 -
12. ábra. A Milestone Ethos Plus roncsoló - 23 -
13. ábra. A roncsoló bombák, hidrogén-peroxid és salétromsav - 23 -
14. ábra. A roncsolt minta - 24 -
15. ábra. A pezsgő minta a hozzáadott hidrogén-peroxiddal - 24 -
16. ábra. A roncsolóba helyezett bombák - 24 -
17. ábra. Az ICP plazma-tere (torch) - 25 -
18. ábra. A készülék emissziós tere a rézcsőből hajlított spirál - 26 -
1. táblázat. Az alaptáblázat - 27 -
2. táblázat. A varianciatáblázat - 28 -
3. táblázat. Az eredménytáblázat - 29 -

IV. Eredmények

1. táblázat. A levél As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2009-ben - 31 -
2. táblázat. A levél As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2010-ben - 31 -
3. táblázat. A levél As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2011-ben - 31 -
1. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben (2009) - 33 -
2. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben (2010) - 33 -
3. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a levélben (2011) - 33 -

4. táblázat. A gyökér As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2009-ben	- 34 -
5. táblázat. A gyökér As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2010-ben	- 34 -
6. táblázat. A gyökér As-tartalma szárazanyagra vonatkoztatva 2011-ben	- 34 -
4. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben (2009)	- 34 -
5. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben (2010)	- 35 -
6. ábra. Szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalom a gyökérben (2011)	- 35 -

Melléklet

1. táblázat. Az alaptáblázat az eredményekkel	- 43 -
2. táblázat. A varianciatáblázat az eredményekkel (**P = 0,1 %).....	- 43 -
3. táblázat. Az alaptáblázat az eredményekkel	- 46 -
4. táblázat. A varianciatáblázat az eredményekkel (*P=5%).....	- 46 -

Melléklet

1. A kísérlet statisztikai értékelés szerinti eredményei (2010)

Arról, hogy megbizonyosodjunk, hogy a tápoldat arzén koncentrációja hatással van-e a fejes saláta vizsgált növényi részének azaz a levelének arzén-tartalmára, illetve mennyi tévedési valószínűség következhet be, azt a statisztikai értékeléssel bizonyíthatjuk be:

1. táblázat. Az alaptáblázat az eredményekkel

Kezelés/Ismétlés	1. ismétlés	2. ismétlés	3. ismétlés	4. ismétlés	Kezelés összeg, V	Kezelésátlagok
0 µg/L	0,162	0,158	0,148	0,159	0,627	0,157
25 µg/L	0,363	0,380	0,320	0,390	1,453	0,363
50 µg/L	0,600	0,370	0,425	0,395	1,79	0,448
75 µg/L	0,550	0,580	0,520	0,560	2,21	0,553
100 µg/L	1,05	1,07	1,12	1,02	4,26	1,07
200 µg/L	1,62	1,13	1,47	1,52	5,74	1,44
Ismétlés összeg, R	4,345	3,688	4,003	4,044	G=16,08	-

A táblázatból leolvasható, ha az Ismétlés, és a Kezelés összegeket összeadjuk, akkor a kapott összegek megegyeznek, és a kísérlet főösszegét adják.

A varianciatáblázat kitöltése

*2. táblázat. A varianciatáblázat az eredményekkel (***P = 0,1 %)*

Tényező	SQ	FG	MQ
Összes	4,826712	23	
Ismétlés	0,036119	3	
Kezelés	4,648335	5	0,929667***
Hiba	0,142258	15	0,009484

Az SQ oszlop kiszámítása

- *Korrekciós tényező:*

$$C = \frac{G^2}{rv} = \frac{16,08^2}{24} = \mathbf{10,7736};$$

- *Összes SQ:*

$$X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_{rv}^2 - C = 0,162^2 + 0,158^2 + \dots + 1,52^2 - 10,7736 = \mathbf{4,826712};$$

- *Ismétlés SQ:*

$$R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_r^2 / v - C = 4,345^2 + 3,688^2 + \dots + 4,044^2 / 6 - 10,7736 = \mathbf{0,036119};$$

- *Kezelés SQ:*

$$V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_v^2 / r - C = 0,627^2 + 1,453^2 + \dots + 5,74^2 / 4 - 10,7736 = \mathbf{4,648335};$$

- *Hiba SQ:*

$$\text{Összes SQ} - \text{Ismétlés SQ} - \text{Kezelés SQ} = 4,826712 - 0,036119 - 4,648335 = \mathbf{0,142258}.$$

Az FG oszlop kiszámítása

- *Összes FG:*

$$rv - 1 = 4 \cdot 6 - 1 = \mathbf{23};$$

- *Ismétlés FG:*

$$r - 1 = 4 - 1 = \mathbf{3};$$

- *Kezelés FG:*

$$v - 1 = 6 - 1 = \mathbf{5};$$

- *Hiba FG:*

$$(r - 1)(v - 1) = 3 \cdot 5 = \mathbf{15}.$$

Az MQ oszlop kiszámítása

Itt csak a Kezelés, és Hiba MQ értékeket kell kiszámolni, mert a későbbiekben csak ezekre lesz szükség.

- *Kezelés MQ:*

$$\frac{\text{Kezelés SQ}}{\text{Kezelés FG}} = \mathbf{0,929667};$$

- *Hiba MQ:*

$$\frac{\text{Hiba SQ}}{\text{Hiba FG}} = \mathbf{0,009484}.$$

Szignifikanciavizsgálat

- *F-próba:*

Az F érték a Kezelés MQ, és a Hiba MQ hányadosa.

$$\frac{\text{Kezelés MQ}}{\text{Hiba MQ}} = 98,02 \approx \mathbf{98};$$

Ezt az értéket az 5, és 15 szabadságfokok mellett hasonlítjuk össze a táblázati értékkel, ami: $F_t = 7,57$. A mi számított értékünk ettől a táblázati értéktől még nagyobb, ezért a tévedési valószínűség 0,1 %. Ez azt jelenti, hogy ami esetünkben az F-próba a 0,1 %-os tévedési valószínűség mellett is igazol szignifikáns különbségeket.

- *Az $SzD_{p\%}$ kiszámítása:*

A szignifikáns differencia meghatározásánál, azt a kezelésátlagok közti különbséget fogadjuk el igazoltnak, amely nagyobb az általunk számolt differenciánál, és csak annyit tekintünk igazoltnak, amennyivel nagyobb a vizsgált különbség. Általában az $SzD_{5\%}$ -ot számítjuk ki, ahol a $t_{5\%}$ a Hiba szabadságfokára: $FG = 15$, $P = 5 \%$ szintre megadott táblázati érték. Az általunk meghatározott differencia:

$$SzD_{5\%} = t_{5\%} \sqrt{\frac{2 \text{ Hiba MQ}}{r}} = 2,13 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,009484}{4}} = \mathbf{0,147 \text{ mg/kg}};$$

Ezt az $SzD_{5\%}$ -ot közöljük, mert a kapott kezelésátlagok között vannak olyan különbségek, amelyek nagyobbak, mint a kiszámított $SzD_{5\%}$. Ebből arra következtethetünk, hogy ezeket a különbségeket az As dózisok okozzák. Vannak azonban olyan kezelésátlagok, amelyeknél nincsenek meg ezek a különbségek. Ezek a 25-50, és az 50-75-ös dózisoknál figyelhetők meg.

2. A kísérlet statisztikai értékelés szerinti eredményei (2011)

3. táblázat. Az alaptáblázat az eredményekkel

Kezelés/Ismétlés	1. ismétlés	2. ismétlés	3. ismétlés	4. ismétlés	Kezelés összeg, V	Kezelésátlagok
100 µg/l	0,698	0,895	0,730	0,638	2,96	0,740
200 µg/l	1,55	1,65	1,62	1,58	6,40	1,60
400 µg/l	2,02	2,07	1,80	2,46	8,35	2,09
600 µg/l	1,50	1,75	2,10	2,00	7,35	1,84
800 µg/l	2,37	2,00	1,77	2,25	8,39	2,10
Ismétlés összeg, R	8,14	8,37	8,02	8,93	G=33,45	-

4. táblázat. A varianciatáblázat az eredményekkel (*P=5%)

Tényező	SQ	FG	MQ
Összes	5,717203	19	
Ismétlés	0,097501	3	
Kezelés	5,017685	4	1,254421*
Hiba	0,602017	12	0,050168

Az SQ oszlop kiszámítása

- *Korrektációs tényező:*

$$C = \frac{G^2}{rv} = \frac{33,45^2}{20} = 55,94847;$$

- *Összes SQ kiszámítása:*

$$X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_{rv}^2 - C = 0,698^2 + 0,895^2 + \dots + 2,25^2 - 55,94847 = 5,717203;$$

- *Ismétlés SQ kiszámítása:*

$$R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_r^2 / v - C = 8,14^2 + 8,37^2 + \dots + 8,93^2 = 0,097501;$$

- *Kezelés SQ:*

$$V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_v^2 / r - C = 2,96^2 + 6,40^2 + \dots + 8,39^2 = \mathbf{5,017685};$$

- *Hiba SQ:*

$$\text{Összes SQ} - \text{Ismétlés SQ} - \text{Kezelés SQ} = 5,717203 - 0,097501 - 5,017685 = \mathbf{0,602017}.$$

Az FG oszlop kiszámítása

- *Összes FG kiszámítása:*

$$rv - 1 = 20 - 1 = \mathbf{19}$$

- *Ismétlés FG:*

$$r - 1 = \mathbf{3}$$

- *Kezelés FG:*

$$v - 1 = \mathbf{4}$$

- *Hiba FG:*

$$(r - 1)(v - 1) = 3 * 4 = \mathbf{12}.$$

Az MQ oszlop kiszámítása

- *Kezelés MQ:*

$$\frac{\text{Kezelés SQ}}{\text{Kezelés FG}} = \mathbf{1,254421};$$

- *Hiba MQ:*

$$\frac{\text{Hiba SQ}}{\text{Hiba FG}} = \mathbf{0,050168}.$$

Szignifikanciavizsgálat

- *F próba:*

$$\frac{\text{Kezelés MQ}}{\text{Hiba MQ}} = 25,00436$$

P=5% mellett adja az F próbát, mert $F_{\text{tabl.}} = 3,26$. „Az F próba ebben az esetben- 5 %-os tévedési valószínűség mellett igazol szignifikáns kezeléskülönbségeket.”

- *Az SzDp% kiszámítása:*

$SzD_{5\%} = t_{5\%} \sqrt{\frac{2 \text{ Hiba MQ}}{r}} = 0,345 \text{ mg/kg}$. Ezt az SzD-t közöljük, mert a kezelések átlagai közötti különbségeket - a statisztikai értékelés szerint - az As-dózisok okozzák.