

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Hüvely Attila

DOI: 10.18136/PE.2014.532

Pannon Egyetem Georgikon Kar
Keszthely
2014

**PANNON EGYETEM GEORGIKON KAR
NÖVÉNYVÉDELMI INTÉZET**

**NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI TUDOMÁNYOK
DOKTORI ISKOLA**

Iskolavezető: Dr. Kocsis László, egyetemi tanár

Témavezető:

Dr. Nádasyné Dr. Ihárosi Erzsébet, egyetemi docens

Konzulens:

Prof. Dr. Buzás István, ny. főiskolai tanár

**NÖVEKVŐ ARZÉN ADAGOKKAL KEZELT
ÖNTÖZŐVÍZ HATÁSA A PARADICSOM ÉS A
SALÁTA NÖVÉNYI RÉSZENKÉNTI ARZÉN
TARTALMÁRA ÉS ELOSZLÁSÁRA**

**Készítette:
Hüvely Attila**

**Keszthely
2014**

**Növekvő arzén adagokkal kezelt öntözővíz hatása a paradicsom és a saláta növényi
részenkénti arzén tartalmára és eloszlására**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:

Hüvely Attila

Készült a

Pannon Egyetem Növénytermesztés és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola keretében

Témavezető: Dr. Nádasyné Dr. Ihárosi Erzsébet, egyetemi docens

Elfogadásra javaslom (igen/nem)

.....
(aláírás)

Konzulens: Prof. Dr. Buzás István, ny. főiskolai tanár

Elfogadásra javaslom (igen/nem)

.....
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton%-ot ért el.

Az értekezést bírálóként elfogadásra javasolom:

Bíráló neve: igen/nem

.....
(aláírás)

Bíráló neve: igen/nem

.....
(aláírás)

***Bíráló neve: igen/nem

.....
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján%-ot ért el.

Keszthely,

.....
a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

.....
Az EDHT elnöke

Megjegyzés: *** esetleges.

Tartalom

1. KIVONATOK	1
1.1. Magyar nyelvű kivonat.....	1
1.2. The extract in English.....	2
1.3. Deutschsprachige Zusammenfassung.....	3
2. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	5
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
3.1. Az arzén előfordulása és kémiai tulajdonságai.....	7
3.2. Az arzénnel szennyezett kútvizek Magyarországon és a geológiai tényezők	10
3.3. A geológiai eredetű arzénes felszín alatti vizek előfordulása a világ más országaiban	13
3.4. A talaj felső termőrétegének arzéntartalma.....	14
3.5. Az arzén hatása a növényekre	15
3.6. Az arzén hyperakkumulációja a növényvilágban.....	21
3.7. Az arzén szerepe az állatok és az ember életében	21
3.8. Élelmiszerek arzéntartalma, a lakosság arzén terhelése	25
3.9. A teszt növények bemutatása	27
3.9.1. A paradicsom (<i>Lycopersicon esculentum</i> L.).....	27
3.9.2. A fejes saláta (<i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>capitata</i> L.).....	28
4. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	33
4.1. A kísérletek körülményei, alkalmazott teszt növények	33
4.2. Az arzénnel kezelt öntözővíz előállítása	33
4.3. A szabadföldi paradicsom kísérlet előkészítése és beállítása	34
4.4. A szabadföldi paradicsom kísérlet kezelései, mintavételezés	35
4.5. A szabadföldi fejes saláta kísérlet	40
4.6. A szabadföldi fejes saláta kísérlet kezelései, mintavételezés	40
4.7. A hidrokultúrás fejes saláta kísérlet beállítása	43
4.8. A hidrokultúrás fejes saláta kísérlet kezelései, mintavételezés	44
4.9. Az alkalmazott növényvédelmi kezelések.....	47

4.10. A talajminta-vételezés módszere, mintavizsgálati módszerek	47
4.11. A növényminták légszáranyag-tartalmának meghatározása, a minták feltárása, az elemanalízis módszere.....	49
4.12. A statisztikai elemzés módszere.....	50
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS	52
5.1. A szabadföldi paradicsom kísérlet eredményei	52
5.1.1. A szabadföldi kísérletben termett paradicsom gyökerének arzéntartalma	52
5.1.2. A szabadföldi kísérletben termett paradicsom levelének arzéntartalma.....	53
5.1.3. A szabadföldi kísérletben termett paradicsom bogyótermésének arzéntartalma.....	58
5.1.4. A szabadföldi kísérletben termett paradicsom termésmennyisége	62
5.2. A szabadföldi fejes saláta kísérlet eredményei.....	63
5.2.1. A szabadföldi kísérletben nevelt fejes saláta gyökerének arzéntartalma.....	63
5.2.2. A szabadföldi kísérletben nevelt fejes saláta levelének arzéntartalma	65
5.2.3. A szabadföldi kísérletben nevelt fejes saláta fejtömege	70
5.3. A hidrokultúrás fejes saláta kísérlet eredményei.....	71
5.3.1. A hidrokultúrás kísérletben nevelt fejes saláta gyökerének arzéntartalma.....	71
5.3.2. A hidrokultúrás kísérletben nevelt fejes saláta levelének arzéntartalma	72
5.3.3. A hidrokultúrás kísérletben nevelt fejes saláta fejtömege	74
6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	76
7. ÖSSZEFOGLALÁS	80
8. AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	83
9. NEW SCIENTIFIC RESULTS	85
10. IRODALOMJEGYZÉK.....	87
11. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS.....	94
12. MELLÉKLETEK	95

1. KIVONATOK

1.1. Magyar nyelvű kivonat

A disszertáció témája arzénnel kezelt öntözővíz és tápoldat hatásának vizsgálata szabadföldön termesztett paradicsom és szabadföldön valamint hidrokultúrában termesztett fejes saláta egyes növényi részeinek arzén koncentrációjára és termésmennyiségére. A vizsgálatokat Kecskeméten, humuszos homoktalajon és tápoldat csatornákkal felszerelt üvegház blokkokban állítottuk be. A szabadföldi vizsgálatot 2011-2012-ben, a hidrokultúrát 2010-2011-ben végeztük. Szabadföldi termesztésben öt növekvő (0, 50, 100, 200, 400, 800 µg/l), hidrokultúrában kilenc növekvő (0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800 µg/l) koncentrációjú arzénkezelést alkalmaztunk. A szabadföldi termesztésben csepegtető és esőztető öntözést alkalmaztunk, előbbi esetben a kezelt öntözővíz közvetlenül a talajra, utóbbi esetben elsőként a növényzet teljes felületére került.

A kísérletekben alkalmazott arzén kezelések szignifikánsan növelték a vizsgált növények arzén koncentrációját. A szabadföldi vizsgálatokban – a 2011. évi paradicsomot leszámítva – az egyes növényi részek közül a növények gyökérzetének arzén koncentrációja volt a legnagyobb, ezt követte az 1-2 nagyságrenddel kisebb levél arzénkoncentráció, és az egy nagyságrenddel még kisebb bogyótermés koncentráció. Az esőztető öntözés rendre nagyobb növény arzén koncentrációt okozott, mint a csepegtető. Szabadföldön, a fogyasztásra szánt növényi részek közül paradicsom bogyóban 0,831 mg/kg sz.a., saláta levélben 5,18 mg/kg sz.a. legnagyobb arzén koncentrációt mértünk.

A hidrokultúras vizsgálatban szintén statisztikailag igazolt mértékben növekedett a saláta gyökérzetének és levelének arzén koncentrációja a kezelés hatására. A növekedés egyenletesebb ütemű, mint a talajos termesztés esetén. A gyökér arzén koncentrációja mindkét évben jelentősen felülmúlta a levél koncentrációját. A levélben mért legnagyobb arzén koncentráció 2,10 mg/kg sz.a. volt.

A vizsgált növények fejlődését az arzénterhelés kimutatható mértékben nem befolyásolta. Mérgezési tünetek a levéllemezeken nem jelentek meg. A termésmennyiség és a saláta fejtömeg a vizsgálatok nagyobb többségében nem változott igazolható mértékben.

1.2. The extract in English

The effect of arsenic treated irrigation water on the content and distribution of arsenic in root, leaf and berry of tomato and lettuce

The subject of my dissertation is to study the effect of arsenic contaminated irrigation water and nutrient solution on the arsenic content and yield of tomato and lettuce grown in field and hydroponics. The tests were set in Kecskemet, on humic sandy soil and in glass house blocks equipped with nutrient channels. The field tests were carried out in 2011-2012 while hydroponics tests were conducted in 2010 and 2011. Six (0, 50, 100, 200, 400, 800 mg / L) and nine (0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800 mg / L) increasing concentrations of arsenic solution were applied in the case of field cultivation and hydroculture experiments. In open field cultivation experiments drip and sprinkler irrigations were used. In the former case the contaminated irrigation water was dropped on the soil surface while in the second case water was put on the whole plant surface.

The arsenic treatments that were applied in this study, significantly increased the concentration of arsenic in test plants. In field trials – with the exception of tomato in 2011- the roots of the plants had the highest arsenic concentrations, followed by 2-3 magnitudes lower leaf arsenic concentrations, and one magnitude smaller arsenic concentration in the berries. Sprinkler irrigation always caused higher plant arsenic concentrations than the drip irrigation. In field conditions, among plant parts that were meant for consumption, tomato berries had 0.831 mg arsenic/kg dry matter while the highest arsenic concentrations (5.18 mg/kg) were measured in lettuce leaves.

In hydroponics, the concentration of arsenic in lettuce roots and leaves also increased statistically significantly by arsenic treatment. The growth rate was more uniform than in soil cultivation. The arsenic concentration of roots exceeded the arsenic concentration of the leaves significantly in both years. The maximum of arsenic concentration in the leaves was 2.10 mg/kg.

The development of test plants was not affected by the arsenic treatment in a detectable manner. Symptoms of poisoning did not appear on leaf blades. Lettuce yield and head mass quantity did not change significantly in the majority of the experiments.

1.3. Deutschsprachige Zusammenfassung

Die Wirkung arsenverseuchten Gießwassers auf die Arsenkonzentration einzelner Pflanzenteile von der Tomate und dem Kopfsalat

Thema der Dissertation ist die Untersuchung der Wirkung arsenverseuchten Gießwassers und arsenverseuchter Nährlösung auf die Arsenkonzentration einzelner Pflanzenteile von auf Freiland angebauten Tomaten und auf Freiland sowie in Hydrokultur angebautem Kopfsalat und deren Ernteertrag. Die Untersuchungen nahmen wir in Kecskemét, auf Humus-Sand-Erdboden und in Gewächshausblöcken, die mit Kanälen für Nährlösungen versehen waren, vor. Die Untersuchungen auf Freiland führten wir im Zeitraum 2011-2012 durch, jene in Hydrokultur im Zeitraum 2010-2011. Im Freilandanbau nahmen wir fünf (0, 50, 100, 200, 400, 800 µg/l), in der Hydrokultur neun (0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800 µg/l) in der Konzentration steigende Arsenbehandlungen vor. Im Freilandanbau wandten wir sowohl Tropfbewässerung als auch Beregnungsgießverfahren an, im ersteren Fall gaben wir das verseuchte Gießwasser direkt auf den Erdboden, im anderen Fall gelangte das Wasser vor allem auf die gesamte Oberfläche der Pflanzen.

Die in den Experimenten durchgeführte Arsenbehandlung steigerte signifikant die Arsenkonzentration der untersuchten Pflanzen. In den Freiland Untersuchungen - abzüglich der Tomaten aus dem Jahre 2011 - war unter den einzelnen Pflanzenteilen die Arsenkonzentration beim Wurzelwerk am größten, gefolgt von der Arsenkonzentration der um ein bis zwei Größenordnungen kleineren Blätter und der Konzentration der um eine Größenordnung kleineren Beerenfrucht. Die Bewässerung durch das Beregnungsverfahren verursachte größere Arsenkonzentration bei den Pflanzen, als die durch Tropfbewässerung. In der Freilandkultur zeigten die Messungen bei den für den Verzehr bestimmten Pflanzenteilen unter den Tomaten mit 0,831 mg/kg TM (Trockenmasse), unter den Salatblättern mit 5,18 mg/kg TM die höchste Arsenkonzentration.

Auch bei den Untersuchungen in der Hydrokultur zeigte sich ein statistisch nachweisbarer Anstieg der Arsenkonzentration in Wurzeln und Blättern des Kopfsalates aufgrund der Behandlung. Der Anstieg ist gleichmäßiger als jener in Bodenhaltung. Die Arsenkonzentration in den Wurzeln übertraf in beiden Jahren deutlich die Konzentration in den Blättern. Die in den Blättern gemessene höchste Arsenkonzentration betrug 2,10 mg/kg TM.

Der Einfluss der Arsenbelastung auf die Entwicklung der untersuchten Pflanzen war nicht signifikant. Vergiftungssymptome auf den Blattflächen traten nicht auf. Der Ernteertrag und das Kopfgewicht des Salates veränderten sich in der überwiegenden Anzahl der Versuche nicht signifikant.

2. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Az arzén (As) már régóta jól ismert, a hazai kútvizekben is előforduló toxikus elem. Hazánkban az 1980-as évek elején bizonyosodott be, hogy az ország délkeleti megyéiben (Bács-Kiskun, Békés, Csongrád és Szolnok megye) az ivóvízadó bázishelyeken és az ivóvízben az akkor érvényes szabványban szereplő, 50 µg/l töménységet meghaladó arzéntartalom van.

A jelenleg hatályos jogszabályaink szerint ivóvizünk legfeljebb 10 µg/l (201/2001. Korm. rendelet), öntözővizünk legfeljebb 100 ill. 200 µg/l (közvetlen fogyasztású és nem közvetlen fogyasztású növények esetén) (MI-10-172/9-1990), növényi eredetű, nyers fogyasztású élelmiszereink pedig legfeljebb 200 µg/kg koncentrációban tartalmazhatják (17/1999. (VI.16) EüM rendelet). Az arzén emberre és állatra egyaránt toxikus, szervesetlen formái súlyos mérgek, karcinogén hatása közismert. Arzén hatására az idegrendszer, a vese, a vérképző rendszer, a légzőszervek és a máj működése csökken, szaporodási és genetikai anomáliák is előfordulnak. A szervezet egésze károsodik.

A daganatos, légúti és érrendszeri betegségek, ill. halálokok előfordulása hazánk arzénszennyezéssel érintett régióiban szorosan összefügg a terhelés mértékével. Az arzén felhalmozódik a táplálékláncban, és az élő szervezetek visszafordíthatatlan károsodásához vezet. Biológiai felezési ideje rendkívül hosszú.

A probléma tényleges felismerése 1981-83 között történt meg. Hazánkban az arzén a felszín alatti vízkészlet legsúlyosabb problémáját jelenti. A 1990-es évek végéig több mint 400 ezer ember fogyasztott arzénes ivóvizet az országban. A megtett intézkedések – új vízadó rétegek használata, arzén-eltávolítási technológiák bevezetése – révén a veszélyeztetettek száma 15 év alatt 10 ezer főre csökkent.

Az arzén természetes előfordulása a magyarországi felszín alatti vizekben a vízszolgáltatóknak komoly problémát okoz, mert a fogyasztásra szánt víz megtisztítása igen költséges.

A hazai zöldségtermesztő terület (átlagosan 50-60 ezer ha) kb. 80%-a az arzénes kútvízzel érintett dél-alföldi térségben van. A hajtásban, valamint a szabadföldi körülmények között termesztett zöldségféléink is érintkezhetnek arzénnel szennyezett öntözővízzel.

Az arzén akkumulációja az egyes fogyasztásra szánt növényi részekben nem törvényszerű. A különböző növények a toxikus elem terhelésre más-más módon reagálnak. Nagyon fontos felderíteni, hogy a térségben termelt zöldségfajok közül melyekben jelenhet meg a fogyasztás

szempontjából már kritikus arzén koncentráció, melynek nagysága 0,200 mg/kg As, az eredeti nedvességtartalmú termékre vonatkoztatva.

Jelen disszertációban bemutatott kísérletek célja annak vizsgálata, hogy zöldségféléink közül két fontos faj, a paradicsom és a fejes saláta, arzénnel kezelt vízből milyen mértékben vesz fel arzént és azt a növény mely részében akkumulálja.

Kutatómunkám során vizsgáltam a fent említett zöldségfajok termésmennyiségének alakulását (paradicsom bogyótömeg és saláta fejtömeg), az egyes vegetatív és generatív növényi részek arzén koncentrációját, levél, gyökér és bogyótermés mintacsoportokat kialakítva. A munka célja volt annak megállapítása is, hogy az arzén okoz-e a vizsgált növényeknél terméseszköket, vagy látható elváltozásokat, levéltüneteket.

A teszt növények vizsgálatát szabadföldi, és a salátánál talaj nélküli, hidrokultúrás körülmények között is vizsgáltam. A szabadföldi paradicsom és szabadföldi saláta vizsgálatánál a 2011 és 2012-es tenyészév, a hidrokultúrás salátáénál a 2010 és 2011-es év adatait ismertetem.

A kísérleteket a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Karának Bemutatókertjében és üvegházában állítottam be 2010 és 2012 között. A kísérletek a kar Környezettudományi Csoportjának 2007-óta tartó, arzénes öntözővíz vizsgálati programjának szerves részét képezik. A kísérletsorozatban eddig összesen 7 különböző zöldségfajt vizsgáltak.

A minták analízise a kar Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában történt.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Az arzén előfordulása és kémiai tulajdonságai

Az arzén a legrégebben azonosított elemek közé tartozik. A középkorban, 1250-ben Albertus Magnus szappanfőzés közben lelt rá. Az alkimisták rendszeren az auripigmentet

(arzén-triszulfid, As_2S_3), ritkábban a realgárt (vörös arzén-szulfid) értették alatta. Az auripigment sárga színű, mint a kén, éppen ezért az alkimisták többször sulfur értelemben használták. Sokszor úgy vélték, hogy ősszülőrésze a fémeknek. A fémarszén (1. ábra) 1694-ben állította elő Schröde, de az alkimista értelmezés még az 1700-as évek végén is általános volt. Brandt 1733-ban tanulmányozta. A stockholmi papiruszon is előfordul. Még jóval a nitrogén felfedezése (1772) és a foszfor elemi formában történő előállítás (1669) előtt ismert volt.



1. ábra. Fémarszén.

Félfém típusú kémiai elem, melynek rendszáma 33, molekulatömege 74, 9216 g/mol (2. ábra). A ritkább mikroelemek közé tartozik, gyakorisága a földkéregben 1,5 mg/kg, a tengervízben átlagosan 1,4 $\mu\text{g/l}$ koncentrációban található meg.

Az arzén (légykő; régi kohászati és gyógyszerészi neve cobaltum), kémiai elem, jele As. A természetben elemi állapotban is előfordul, de vegyületei a gyakoribbak, úgy, mint a realgár (As_2S_2) és az auripigmentum (As_2S_3), illetve oxidjai (As_2O_3 , As_2O_5). Fémekkel és kénnel együtt számos ércben is előfordul, ilyen érc például az arzenopirit (FeAsS). Az elemi arzén leginkább fűrtöt alkotva, veseszerű halmazokban, héjas szerkezettel jelenik meg. A különálló kristályok ritkák;



2. ábra. Arzén elem

véglapjuk romboédes (kristályalak, a hatszöges kristályrendszer feles alakja hat rombuszlappal, kétféle éllel, kétféle csúccsal, a sarkélek zezzugosak), színük fehéres-ólomszürke, néha szürkésfekete lehet. Az arzén gyakran keveredik antimonnal (allemontit), néha arany, ezüst és vas nyomait is tartalmazza. Leginkább arzéntartalmú ezüstércekkel van együtt. Ismeretesebb termőhelyei: Freiberg, Annaberg (Szászország), Joachimsthal (Csehország), Andreasberg (Harz). A gyakorlatban felhasznált arzénnek csak kisebb részét teszi ki a természetes. Vegyületei általában elterjedtek, így kis mennyiségben egyes ásványi

tartalmú vizekben is megtalálható mikroelem (lippiki, cigelkai, roncegnoi, levicoi ásványvizekben).

Előállítására arsenopiritből történik, amelyet a levegőtől elzárva erősen hevítenek, és az arzén szublimál belőle. Nagy tisztaságú arzén előállításakor az arzén-trioxidot (As_2O_3) szénnel redukálják. Az elemi arzén szürke, fémfényű, törékeny elem. Hevítésekor nem olvad meg, hanem szublimálva gőzzé alakul. Zárt edényben, nagy nyomáson megolvasható. Gőze citromsárga, jellemzően fokhagymaszagú.

Az elemi arzén négyatomos arsenmolekulák halmazára, mely nedves levegőn elég könnyen oxidálódik. Levegőben vagy oxigénben hevítve arzén-trioxiddá fakó, kékes lánggal ég el. A klórral már közönséges hőmérsékleten is egyesül (PALLAS, 1893-1897).

Természetes előfordulása a földkéregben 0,0002 m/m%-nál kisebb mennyiségű. Anionként és kationként is számos ásvány összetételében szerepel, többnyire a kénnel együtt. Legfontosabb ásványa az arsenopirit. Bár önálló, ill. a higannyal és az antimonnal közös lelőhelyei is vannak, a világtermelés javát az arany-, réz-, cink- ólom- és kobaltbányászat melléktermékeként nyerik ki.

BARTHA (1998) néhány természetes közeg arzéntartalmát közli:

- kőszén 5–45 g/t, (pernye, korom kb. 440 g/t-ig),
- kőolaj 0,2–0,3 mg/liter,
- folyóvíz átlag 1,7 $\mu\text{g/l}$,
- tengervíz átlag 3,7 $\mu\text{g/l}$,
- ásványvizek 1–190 $\mu\text{g/l}$.

Az arzén ivóvíz jelentős környezeti probléma Magyarországon: az Alföld ivóvízkútjainak mintegy harmada 15 $\mu\text{g/l}$ fölötti arzéntartalmú vizet ad. A levegő As-tartalma (európai átlag): 16 ng/m^3 (BARTHA, 1998).

A természetben is előforduló fontosabb arzénvegyületeket az 1. táblázatban láthatjuk.

1. táblázat: Természetben is előforduló fontosabb arzénvegyületek (MESTER et al., 1996)

Vegyületforma	Kémiai összetétel
ARZÉN-HIDROGÉN	AsH_3
KÁLIUM-ARZENIT	K_3AsO_3
ARZÉN-TRIOXID	As_2O_3
FENIL-ARZÉNSAV	$C_6H_5-H_2AsO_4$
DIMETIL-ARZÉNSAV	$(CH_3)_2-HAsO_4$
ARZENO-KOLIN	$(CH_3)_3-As-CH_2-CH_2OH$
ARZENO-BETAIN	$(CH_3)_3-As-CH_2-COOH$

Közülük a legmérgezőbb az arzén-hidrogén (AsH_3). A három vegyértékű szerves arzenit (H_2AsO_3^-) a biológiai rendszerekben sokkal mérgezőbb, mint az öt vegyértékű arzenát (H_2AsO_4^-). A szerves arzenitvegyületek toxicitása erősebb, mint a szerves arzenátvegyületeké. Az egyik legelterjedtebb szerves arzenátvegyület az arzenobetain (MESTER et al., 1996)

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 szerves 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 két ionforma egymásba átalakul, a folyamat lezajlik a természetben is. Oxigéntartalmú vizekben az As(III) (arzenit) \rightarrow As(V) (arzenát) átalakulás (oxidáció) megy végbe a kedvező termodinamikai feltételek miatt, bár ez heteket, hónapokat igényelhet. Az As(V) redukciója As(III) formává viszont bakteriális közreműködést igényel az oldott oxigén hiánya mellett (ÖLLŐS, 1998).

A szerves arzenátvegyületek előfordulása ritka, koncentrációjuk a természetes vizekben kicsi, ritkán nagyobb 1 $\mu\text{g/l}$ -nél. Az arzén és különböző szerves és szerves arzenátvegyületei vízben jól oldódnak. Vulkanikus tevékenységek valamint az emberi eredetű arzenátvegyületek (fémolvasztók, szén-, olaj- és fatüzelés, gyapotfeldolgozás stb.) körzeteiben a levegőben eloszlott finom porban, szerves formájában is előfordul.

Az egészségre általában sokkal veszélyesebb szerves arzén a legnagyobb mennyiségben vulkanikus tevékenységek körzetében és egyes üledékes kőzetekben fordul elő a természetben, és az itt uralkodó redukzív körülmények elősegítik a vízben történő oldódását. Az állati szervezetekben és a növényekben a szerves arzenátvegyületek dominálnak, de a szerves:szerves arzenátvegyületek aránya változó. Az egészségügyi kockázat szempontjából sokkal fontosabb szerves arzén a legnagyobb arányban az ivóvízben (100%), majd a hús- és a gabonafélésegekben (65-75%) van jelen, kisebb az aránya a zöldségekben és gyümölcsökben (15-25%) és még kisebb a tengeri eredetű élelmiszerekben (1-2%) (ÁNTSZ, 2010).

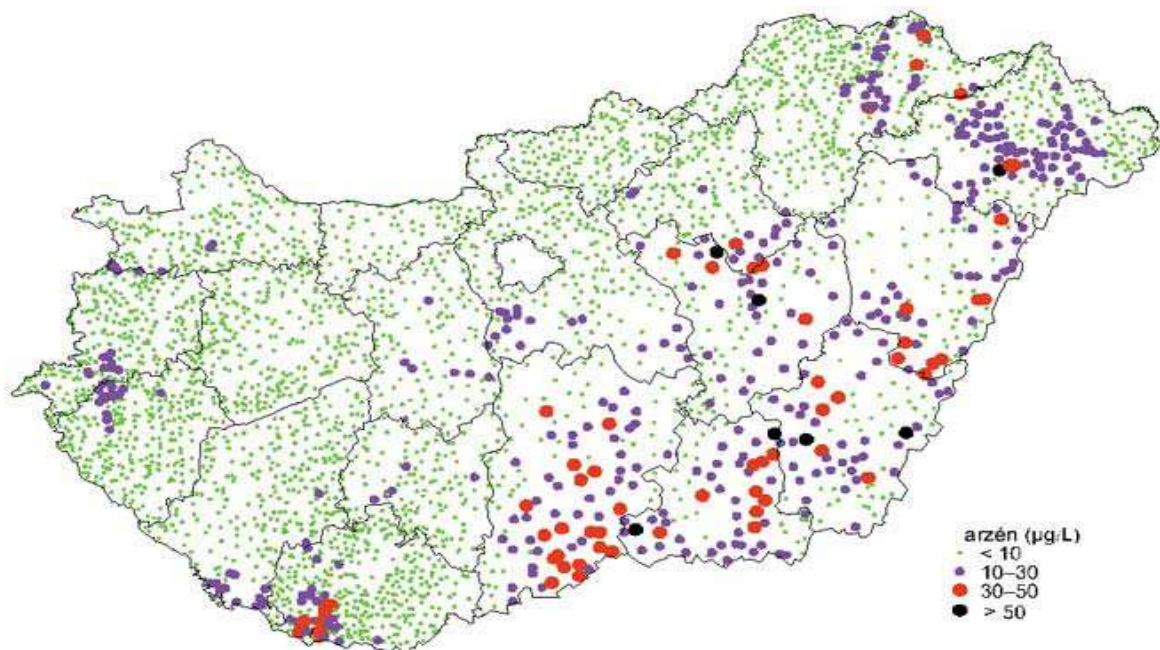
Nagy tisztaságú vizes oldata arzén-trioxidból (As_2O_3) állítható elő. Az As_2O_3 fehér, kristályos, szagtalan, íztelen, nehéz por. 60 súlyrész hideg, vagy 15 súlyrész forró vízben, igen lassan oldódik. Oldódásakor arzenátvegyület keletkezik (H_3AsO_4), oldatában az arzenát-ion (AsO_4^{3-}) van jelen, melynek különböző protonált formái a pH-tól függően egymással egyensúlyban vannak (KOLOS, 1969).

3.2. Az arzénnel szennyezett kútvizek Magyarországon és a geológiai tényezők

1981 áprilisában ismerték fel, hogy az ivóvízként hasznosított rétegvizek arzéntartalma Magyarország számos településén, főleg a Nagyalföld déli és keleti részén, az akkor érvényes egészségügyi határérték (50 µg/l) többszöröse is lehet. A szakemberek gyorsan felismerték, hogy az arzén jelenléte a felszín alatti vízkészlet egyik legnagyobb problémáját jelenti. A leginkább érintett délkeleti országrészben (Bács- Kiskun, Békés, Csongrád és Szolnok megye) akkoriban mintegy 400 - 500 000 ember ivott ilyen vizet (VARSÁNYI és KOVÁCS, 2002; GALAMBOS, 2006).

Több évtized alatt részben arzénmentesítő eljárásokkal, részben az arzénmentes területekről csövezetéken szállított víz hozzákeverésével gyakorlatilag mindenütt sikerült az ivóvíz arzéntartalmát a magyar határérték alá csökkenteni. Az Európai Unióba történő belépésünk után az ivóvíz megengedhető arzéntartalma 10 µg/l-re csökkent.

A következő ábra (3. ábra) a 2000-ben készített magyarországi ivóvíz arzén helyzetet mutatja egy ÁNTSZ felmérés szerint.



3. ábra. Arzén előfordulása Magyarországon vezetékes ivóvizeiben (ÁNTSZ, 2000)

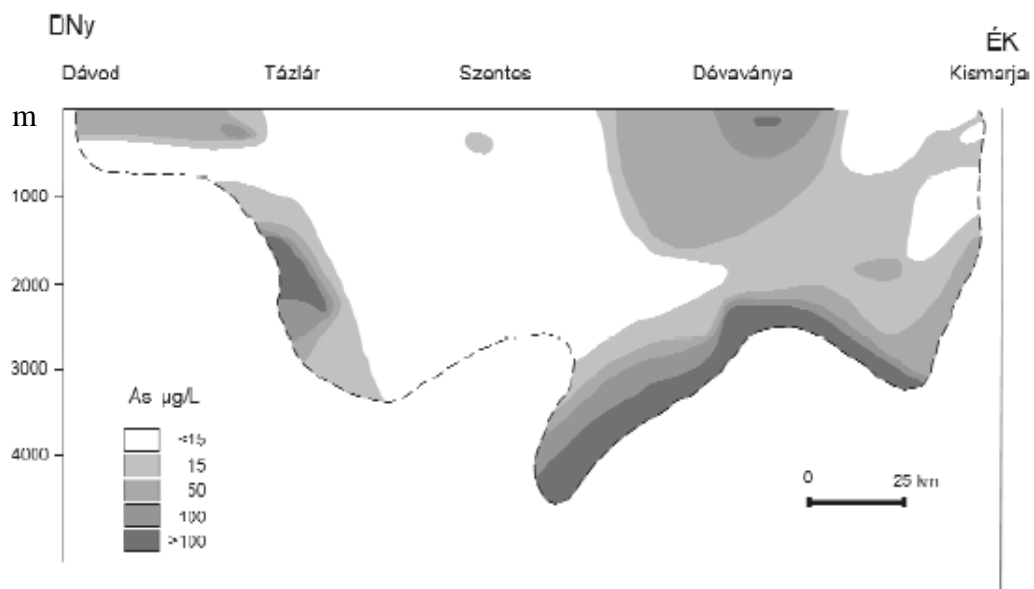
Ahhoz, hogy javíthassuk az arzénmentes vizek feltárásának és termelésbe vonásának esélyeit, alapvető az arzéndúsulás genetikájának ismerete. A vizsgálatok igazolták ugyan, hogy a regionális dúsulás természetes eredetű; kialakulásának idejét és mechanizmusát azonban a témával foglalkozó szerzők rendkívül változatos módokon képzeltek el.

A jelenséget először leíró közegészségügyi szakemberek (CSANÁDY et al. 1985) úgy vélték, hogy az arzén az Erdélyi-érchegység lepusztult és a medencébe hordott, érces kőzeteiből jut a vízbe, de nem találtak magyarázatot arra, miért van az, hogy egyes helyeken kioldódik, másutt viszont nem.

ERDÉLYI (1990, 1991) szerint az arzén fő forrásai a medence peremén és az Északi-középhegységben több helyütt húzódnó, szigetív típusú (eocén, illetve miocén korú) andezitek. Úgy vélte, minél több andezit volt a Pannon-medence egyes részmedencéinek lehordási területein, annál több most ezen részmedencék rétegvizeiben az arzén. Ő is lehetségesnek tartotta, hogy az arzén egy része az Erdélyi-érchegységben beszivárgó vízzel kerül a medencébe.

SZEDERKÉNYI (1990) a medencealjzat karbonátos kőzeteinek metamorfózisából, átalakulásából származtatta a rétegvizek arzéntartalmát, és úgy vélte, hogy az a mélytörések mentén áramlik fel.

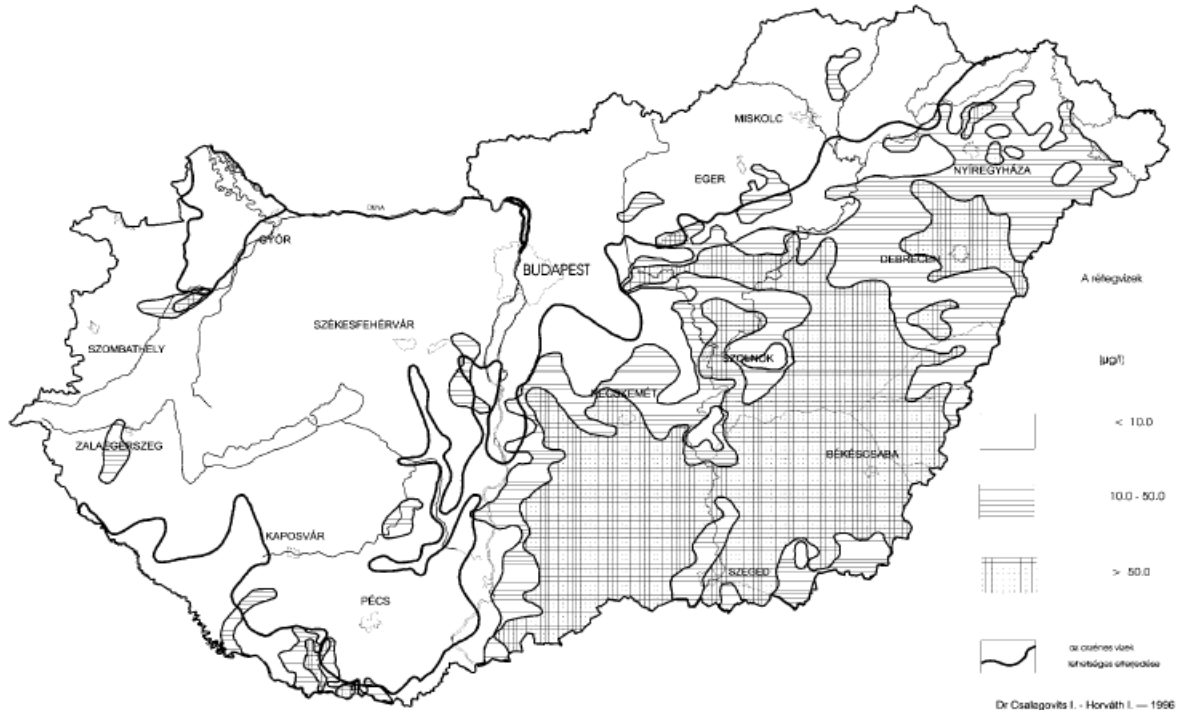
A feláramlási hipotéziseket TÓTH et al. (1985) cáfolták meg, amikor kimutatták, hogy a fiatal üledékek rétegvizeiben az arzén két szintben dúsul: egyrészt közvetlenül az aljzat fölött (ez lehet metamorfogén), másrészt a felszín közelében. A kettő között, közepes mélységben a víz (többnyire) gyakorlatilag arzénmentes (4. ábra).



4. ábra. A felszín alatti vizek arzéntartalma a Dávod- Kismarja szelvényben (TÓTH et al., 1985)

CSALAGOVITS (1999) szerint az arzén a fiatal, holocén és pleisztocén folyóvízi üledékekben a vasoxi-hidroxidok felületén kötődött meg, és azért szabadul fel, mert ezek

eltemetődve a talajvízszint alá, tehát reduktív körülmények közé kerültek. Felfigyelt a jégkorszaki üledékek és az arzénos vizek elterjedésének kapcsolatára: utóbbiak zömmel ott várhatók, ahol a pleisztocén rétegek vastagsága 50m-nél több (5. ábra).

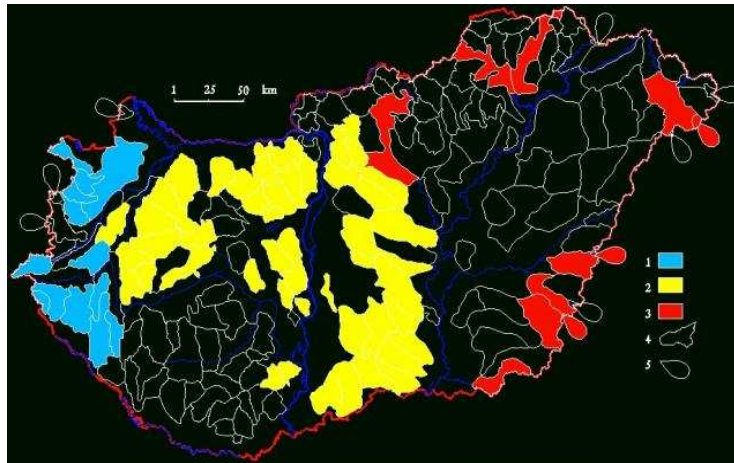


5. ábra. A vizsgált településeken mért arzéntartalom és az 50 m-nél vastagabb negyedidőszaki üledékek elterjedése (CSALAGOVITS, 1999)

Magyarország egyes területein jellemző, hogy az arzén koncentrációja több száz km^2 -es, összefüggő területeken a talajban és a felszín közeli, laza üledékekben is jóval nagyobb az Európában szokásosnál, nem csak az érctelepek környékén, hanem a medence kellős közepén is (CSALAGOVITS, 1999).

FÜGEDI et al. (2004) azt is megállapították, hogy az egyes magyarországi geokémiai nagytájakon milyen elemcsoportok adszorpciójára lehet számítani (6. ábra).

Munkájuk során a következő adszorpciós elemcsoportokat különítették el:



6. ábra. Magyarország geokémiai nagytájai: 1. Co, Cr, Ni elemcsoport; 2. Ca, Mg, Sr, (és SO_4) elemcsoport; 3. Ag, As, Au, Cu, Pb és Zn elemcsoport; 4. vízgyűjtő területek; 5. országhatáron túli lefordási terület. (FÜGEDI és munkatársai 2004)

PETŐ et al. (2012) a közelmúltban készített, Bács megye déli részére és Csongrád megyére kiterjedő vizsgálata során a vizsgált kútvezetekben a 31-70 méteres mélységben találta a legmagasabb arzén, vas és mangán koncentrációkat. Arzénnel szennyezett kútvezetek esetén az arzén koncentráció 50-170 $\mu\text{g/l}$ tartományban jelentkezett.

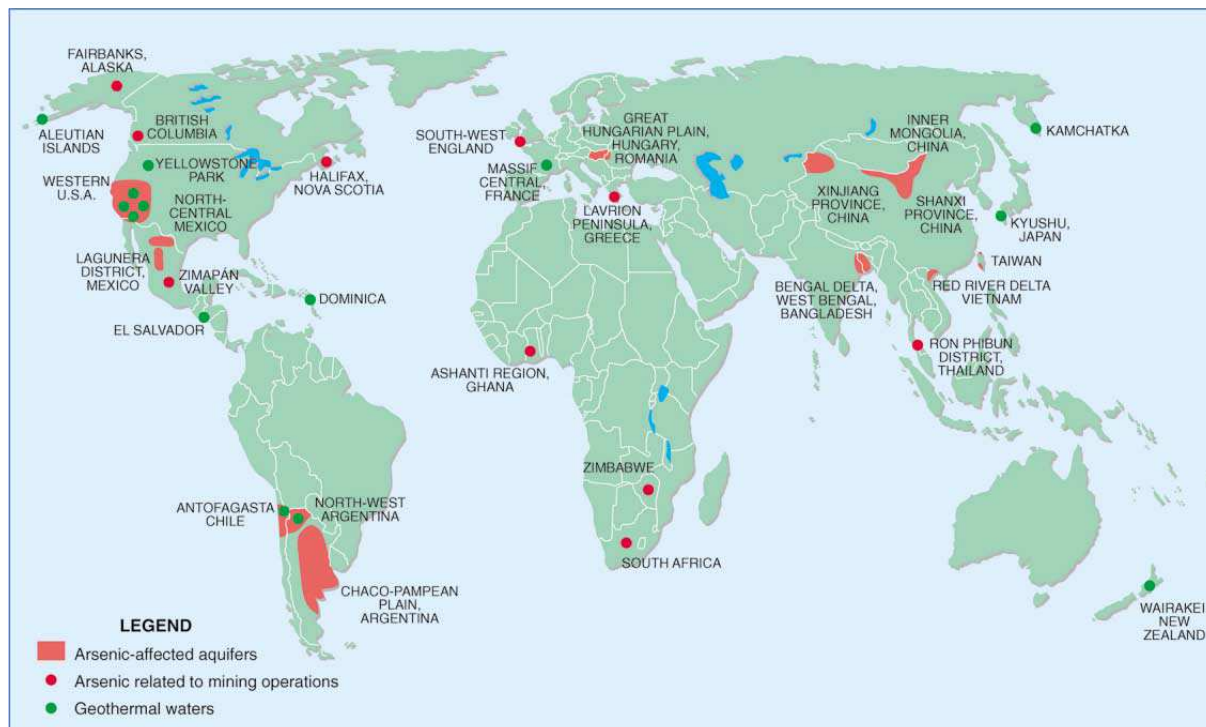
3.3. A geológiai eredetű arzénes felszín alatti vizek előfordulása a világ más országaiban

A nemzetközi szakirodalomban található vizsgálatok eredményei szerint a Föld több kontinensén és Magyarországon túl Európa több országában is megjelenik a geológiai eredetű, arzénnel szennyezett felszín alatti víz.

AIUPPA et al. (2003), STAUFFER és THOMPSON (1984), SMEDLEY és KINNIBURGH (2002), YOSHIZUKA et al. (2010) szerint Argentínában, Chilében, Franciaországban, Görögországban, Olaszországban, Japánban, Mexikóban, Új-Zélandon és az USA-ban is megjelennek arzénnel szennyezett rétegvizek, geológiai okokra visszavezethető szennyezettséggel (7. ábra). A szennyezettség mértéke a Magyarországon előforduló 200-250 $\mu\text{g/l}$ koncentrációnak többszöröse is lehet. A szerzők beszámolnak 3000 $\mu\text{g/l}$ -t meghaladó koncentrációról is. A legtöbb esetben termálvíz felfelé áramlásával függ össze az arzénes rétegvíz megjelenése.

CASENTINI et al. (2011) vizsgálatai szerint Görögország északi régiójában, Thessalonikától 50 km-re délkeletre, Nea Triglia település körzetében 11 000 ha területen végeznek - kényszerű okokból - arzénnel szennyezett öntözővízzel öntözéses művelést. Széles körű, talajra és rétegvízre egyaránt kiterjedő vizsgálatuk szerint 23 esetben találtak olyan

öntözővizet, amelynek arzén koncentrációja meghaladta az 1000 µg/l-t, a legnagyobb észlelt töménység 3760 µg/l As volt.



7. ábra. Geokémiai és bányászati eredetű arzénnel szennyezett felszín alatti vizek a Földön (SMEDLEY és KINNIBURGH, 2002)

3.4. A talaj felső termőrétégeinek arzéntartalma

Régóta ismert, hogy a mikroelemek egy része (pl. a Cu, Zn és a Mn) természetes komponensként is jelen van a talajban, a felszíni és felszín alatti vizekben és kis mennyiségben (mint esszenciális mikroelem) a növényekben is (BOWEN, 1979; PAIS, 1980, 1999; ADRIANO, 1986a, 2001; SZABÓ et al., 1987; GLASS, 1989; ALLOWAY, 1990; KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 1992, 2001; ROSS, 1994; PAIS és JONES, 1997;).

LISK (1972) szerint a talajok termőrétégeinek átlagos arzén koncentrációja 6 mg/kg összes arzéntartalom. A magyarországi adatokról PAIS (1980) tájékoztat, szerinte a természetes állapotú, nem szennyezett talajban a toxikus fémek döntő hányada a talajképző kőzet mállásából származik. Az arzén a bioszférában elterjedt elem. A talajokban 1-40 mg/kg arzén található, bár arzén tartalmú növényvédő szerek használatakor, szénét égető erőművek, és vegyi üzemek környékén ezt az értéket jóval meghaladhatja.

További szerzők szerint talajaink művelt rétege 2-20 mg/kg (KLOKE, 1980), 0,1-40 mg/kg (BOWEN, 1979), 0,1-97 mg/kg (SHACKLETTE és BOERNGEN, 1984) koncentrációban tartalmaz arzént.

CARLON et al. (2007) közlése szerint Európában 5 és 110 mg/kg arzén koncentráció jelenik meg a szántóföldek talajában.

HORVÁTH et al. (1983) homoktalajjal végzett tenyészedényes kísérleteik során azt a következtetést vonták le, hogy talajaink higiénias szempontból megengedhető As-tartalma 6-7 mg/kg koncentráció körül lehet.

CSILLAG et al. (2006) szerint hazánk szántóterületein a talaj felső művelt rétege 1,2-6,4 mg/kg koncentrációban tartalmaz arzént.

A toxikus elemek, félfémek és nehézfémek a geológiai eseményeken felül antropogén, főleg ipari tevékenység következtében kerülhetnek talajainkba. A fosszilis energiahordozók (szén, olaj) eltüzeléséből, az ipari létesítmények emissziójából, a közlekedés légszennyezéséből jelentős mennyiségű arzén és nehézfémek kerülhetnek az atmoszférába, melyek egy része a termőtalajokra vagy a haszonnövényekre ülepedik ki. Nehézfém-szennyeződés alakulhat ki a bányák (meddőhányók) és fémfeldolgozó üzemek, kohók környezetében, nehézfém-szennyeződést okozhat a talajokban az ipari és kommunális hulladékok gondatlan kezelése, elhelyezése is (BOWEN, 1979; ADRIANO, 1986a,b, 1992, 2001; HUTCHINSON és MEEEMA, 1987; ALLOWAY, 1990; FERGUSON, 1990; NRIAGU, 1990; KÁDÁR 1991, 1992, 1995, 1998ab, 2000; VERNET, 1991; KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 1992, 2001; CSATHÓ, 1994a,b; MANAHAN, 1994; ROSS, 1994; VERMES, 1994, 1996; SZABÓ et al., 1994; SALOMONS et al., 1995; YARON et al., 1996; FILEP, 1998, 1999, 2002; BALÁZSY, 2000;).

A mezőgazdasági termelés során a műtrágyák (elsősorban foszfátok), talajjavító anyagok (mész), peszticidek felhasználásával, a szerves trágyák, hígtrágyák, szennyvíziszapok elhelyezésével, szennyezett öntözővízzel kerülhetnek nehézfémek a termőtalajokba (ADRIANO, 1986ab, 1992, 2001; FERGUSON, 1990; KÁDÁR, 1991, 1992, 1995; KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 1992, 2001; CSATHÓ, 1994ab; ROSS, 1994; SZABÓ et al., 1994; THYLL, 1996).

3.5. Az arzén hatása a növényekre

Ebben az alfejezetben az arzén - mint toxikus elem - agrokémiai sajátosságait, a talaj-növény rendszerben történő mozgását, növények általi felvehetőségét, a növényekre gyakorolt hatását részletező legfontosabb hazai és nemzetközi irodalmi munkákra hivatkozom.

A talajtan és az agrokémia ismeretei szerint a nehézfémek és a félfémek (As, Co, Cr, Mo, Ni, Pb sőt még a réz és a cink is) általában igen lassan mozognak a talajban. KÁDÁR (1991)

szerint a kadmium a talajban meglehetősen immobilis, a krómnak csak kis hányada, általában 0,15 %-nál kevesebb része van vízoldható formában. Semleges körüli talaj pH esetén az összes arzén tartalomnak is csak csekély része van felvehető formában.

Ha nagy mennyiségű toxikus elem (pl. arzén az öntözővízzel, vagy a korábbi években ólom, főként a közlekedésből eredően, vagy kadmium a műtrágyák szennyezettsége miatt, stb.) kerül a talajba, jellemzően az elem immobilitását okozó adszorpciós és csapadékképzési folyamatok válnak dominánssá (FILEP, 1999). Az immobilitás következménye, hogy a növények csak kis mennyiségben és lassan veszik fel a fenti elemeket. A felvétel mértékét több tényező befolyásolja.

Amennyiben a talaj CaCO_3 tartalma közepes (1-5 m/m% CaCO_3), vagy akár magas (>5 m/m%), akkor a talaj pH-ja rendre semleges tartományban marad, ebben a tartományban pedig a fémek vegyületei stabilak, nehezen mennek oldatba, tehát a növények kevésbé tudják azokat felvenni. RÉKÁSI és FILEP (2010) igazolták, hogy 12 különböző fémes elemet vizsgálva az arzén mobilitását, kioldhatóságát csökkenti legnagyobb mértékben a talaj mésztartalma, már 4 %-os CaCO_3 koncentráció mellett is.

A mikroelemek és toxikus elemek esetében az immobilitást okozhatja specifikus adszorpció is, ilyenkor különböző agyagásványok és/vagy vas- és mangán oxidok felületén történik meg a kötődés, annak ellenére, hogy más elektrosztatikusan kötött kationok nagy feleslegben vannak jelen. Előbbiek jelentőségét emeli ki SMITH és NAIDU (2008).

ALEXANDRATOS et al. (2007) és ROBERTS et al. (2007) a vas-oxidok és a kalcit toxikus elemekkel történő, oldhatatlan csapadékképző képességét emeli ki, melynek hatására kialakul a fémes elemek immobilitása.

A talaj pH szintén jelentős hatással bír a fémes elemek mobilitására (BERGMANN, 1979; ONKEN és ADRIANO, 1997).

Másik fontos tényező a talaj szerves anyag tartalma. FÜLEKY (1999) szerint a talajok szerves anyaga komplexek alakjában képes megkötni a mikroelemeket. A Szent István Egyetemen kiterjedt vizsgálatok folynak azzal a céllal, hogy a talajok szerves összetevőinek fémmegkötő (Cu, Zn) képességét vizsgálják, kutatásaik szerint a nagyobb szerves anyag tartalom jelentősen fokozza a fémes elemek immobilitását (FÜLEKY et al., 2011).

A talaj szerves anyagának fémmegkötő képességét igazolja GRAFE et al. (2001) is, más szerzők pedig a foszfát-, karbonát-, szulfát-, klorid- és nitrát-ionok koncentrációjának fémes elem mobilitást befolyásoló szerepére hívják fel a figyelmet (LIVESEY és HUANG, 1981; APPELO et al., 2002; GOH és LIM, 2005).

A szerves anyagok mineralizációja pedig újra megnövelheti a talaj fémes elem készletének mobilitását (FENDORF et al., 2004). A talajban anaerob körülmények között élő baktériumok is fokozhatják a fémek mobilitását, mivel képesek végrehajtani a fémek oxidjainak redukcióját. Több oxidációs állapotban is előforduló fémes elemeknél a redukált forma mindig lényegesen mobilabb (LANGNER és INSKEEP, 2000; ZOBRIST et al., 2000).

A talaj savanyodásakor viszont jelentősen megnő a mobilis fémionok oldatbeli koncentrációja. A talajsavanyodás különösen a már szennyezett területeken veszélyes, mert a talaj eredeti állapotában oldhatatlan nehézfém-vegyületek mobilizálódnak, ezzel súlyos környezeti károkat okozva (FILEP, 1999).

Pais István vegyész, az MTA Mikroelem Munkabizottságának egykori elnöke több munkájában is beszámol az arzén növényekre gyakorolt hatásáról. Megállapítása szerint (PAIS, 1980) a vízzeloldható arzénvegyületeket, az oldhatatlan formákhoz viszonyított arányuktól függően a növények a talajból viszonylag könnyen felveszik, így esetenként igen nagy mennyiségű arzént is akkumulálhatnak. Ez okozhat problémát, mert az arzén nem létfontosságú a növények számára, ellenkezőleg, a növények által felvehető arzénvegyületek komoly mérgező hatást is kifejthetnek. Arzén mérgezéskor a növények szövetei rózsaszínűek, majd világossárgák lesznek. Az idős leveleken vörösesbarna nekrotikus foltok, a gyökereken sárgás és barnás elszíneződések, gabonánál visszamaradt bokrosodás jelzik a növény As toxicitását. Az arzénmérgezést jól tűri a burgonya, paradicsom és a sárgarépa, nagyon érzékeny rá a hagyma, a lucerna és a csemegekukorica.

Fentiekén túl az arzén toxicitás hatására az idős leveleken megjelenő vörösesbarna nekrotikus foltokat, a gyökerek sárgás és barnás elszíneződését más szerzők is leírták (KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 1989). Ha valamilyen okból megnő a toxikus elemek mobilitása, akkor jellemzően a növényeken belüli transzlokáció is felgyorsul és rövid időn belül klorózisok, később elhalások lesznek megfigyelhetők a növények levelein (BUSSLER, 1970).

Az arzén növényekre káros hatását BERGMANN (1979) is kiemeli, munkájában részletezi, hogy sem a létfontosságú sem a még vitatott, nem bizonyítottan létfontosságú elemek közé nem sorolható.

Az arzén és foszfor, mint kémiai elemek felépítésének hasonlósága miatt, az arzenátok és foszfátok egymás antagonistái a növényi felvétel során. Az As képes bármely összetett molekula vagy enzim esetében a P helyébe beépülni. Erre tipikus példa az ATP (adenozin-trifoszfát). Ezzel természetesen súlyos anomáliákat képes okozni és ezáltal súlyos mértékben

képes csökkenteni a felvehető foszfor mennyiségét. A foszfor nélkülözhetetlen a növény számára a reproduktív szervek kialakulásában (PAIS, 1999).

A foszfor és arzén antagonista kölcsönhatására Kádár Imre is felhívja a figyelmet: az As és a P anionok (arzenát és foszfát) kémiai rokonságuk miatt konkurálnak pl. az agyagásványok felületén való megkötődésükkor. A P/As arány döntő a mérgezés kialakulásakor. Így pl. 4:1 P/As arány felett lecsökkent a búza As mérgezése. A P nemcsak akadályozhatja az As oldhatóvá válását 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 mg/kg, míg az erősen szennyezett akár 6-8000 mg/kg As koncentráció is előfordulhat az egyes növényi részekben (KÁDÁR, 1991).

Szintén a foszfor-arzén kölcsönhatásra, a két elem antagonizmusára hívja fel a figyelmet PIGNA et al. (2010). Búza növényt vizsgálva, 75 és 150 kg/ha P₂O₅ hatóanyagot kijuttatva, különböző dózisú arzénkezelések mellett 10-30%-al sikerült csökkenteni a gyökér, szár és szemtermés növényi részek arzén koncentrációját a foszforral nem műtrágyázott kontroll növény azonos növényi részeiben mért arzén koncentrációihoz képest.

OVERCASH és PAL (1979) több szerző (MORRIS-SWINGLE, 1927; MORRIS, 1938; LIEBIG, 1966) munkája alapján csoportosítja az egyes növényeket az arzénmérgezéssel szembeni ellenálló képességük szerint (2. táblázat):

2. táblázat. A növények As mérgezéssel szembeni toleranciája

Nagyon toleráns	Meglehetősen toleráns	Gyengén toleráns
spárga	cukorrépa	lucerna
sárgarépa	takarmányrépa	Árpa
szeder	réti perje	Uborka
szőlő	földimogyoró	Limabab
tök	típpan	Hagyma
rozs	sütőtök	Paprika
szudáni fű	csomós ebir	Rizs
dohány	földi eper	Bab
paradicsom	cukornád	Áfonya
tarlórépa	csemegekukorica	Lóhere
bükköny	zab	koreai here
burgonya	búza	
reték	borsó	

Fentiek alapján a dolgozatban szereplő egyik tesztnövény, a paradicsom várhatóan nagyobb toleranciát mutat az arzénterheléssel szemben.

HORVÁTH et al. (1983) homoktalajjal beállított tenyészedeny-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-tartalomnál 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.

KISS et al. (1990) 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/hidrogén-peroxidos roncsolás után állapították meg (3-4. táblázat).

3. táblázat. Az As és a Mg hatása a tavaszi árpa As és Mg tartalmára (KISS et al. 1990)

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
Levéltre	50	-	-	-	-	-

4. táblázat. Az As és a Mg hatása a vöröshagyma As és Mg tartalmára (KISS et al. 1990)

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 jelen dolgozatban szereplő hidrokultúrás fejes saláta vizsgálatához hasonló munka zajlott a Dél-Ausztrál Egyetemen, Mawson Lakes-ben. A kísérlet során a hidrokultúrában termesztett fejes saláta standard tápoldatához 2 mg/l-es koncentrációban adtak arzént. A vizsgálatok kimutatták, hogy a tesztnövény gyökerében 278 mg/kg, a levelekben 3,18 mg/kg arzén akkumulálódott (SMITH, JUHASZ és WEBER, 2008).

Kádár Imre Nagyhorcskón beállított, 13 különböző toxikus elemmel végzett (köztük volt az arzén is) kísérleti eredményei azt mutatták, hogy szántóföldi tesztnövényeinek gyökerében maximálisan 30 mg/kg, szárában és levelében 1-5 mg/kg arzén koncentráció alakult ki, a talajba kevert fémsók hatására (KÁDÁR, 1993).

CARBONELL et al., (1995) paradicsom növényeken vizsgálták különböző arzén dózisok felhalmozódását és az egyes növényi részekre gyakorolt hatását (növény magassága, szár átmérője, szár és a gyökér hossza, friss és száraz szár, levél, termés tömege). A kísérletet három arzén dózissal (2; 5 és 10 mg/l nátrium-arzenittel (NaAsO₂)) végezték, amit tápoldat formájában juttattak ki. A szár, a levelek és a termés mennyiségének csökkenését észlelték. A legnagyobb csökkenés (76,8%-os) a levél tömegében és a paradicsomtermés mennyiségében

mutatkozott. A legnagyobb arzén koncentrációt a gyökérzetben mutatták ki. A növekvő arzén dózisok egyre növekvő növény arzén koncentrációkat okoztak.

KÁDÁR (2006) szabadföldi, több toxikus elem mellett arzénnel is elvégzett 10 éves tartamkísérlet eredményeit foglalja össze, melyek szerint kukorica, burgonya, napraforgó teszt növények esetében igazolódott, hogy a gyökér-szár-levél-generatív részek irányában az arzénkoncentráció csökken. A vizsgált növények gyökerében 3-23 mg/kg sz.a., termésükben <0,1 mg/kg sz.a. arzénkoncentrációt talált.

3.6. Az arzén hyperakkumulációja a növényvilágban

Az előbbi fejezet eredményei alapján megállapítható, hogy a növényvilágban általában korlátozott a toxikus elemek, így az arzén felvétele is. A vizsgálatok jelentős részében a gyökérzet-szár-levél-termés irányban jelentősen csökken a felvett toxikus elemek koncentrációja. Meg kell említeni azonban, hogy a kutatók számos esetben beszámolnak olyan növényfajokról, változatokról, melyek kifejezetten nagy koncentrációban képesek felvenni a toxikus elemeket, így ezek hyperakkumulációját megvalósítva. A jelenségnek a fitoremediációban van nagy jelentősége.

ROFKAR, DWYER és FRANTZ (2007), egy Ohio-ban végzett fitoremediációs kísérletben 22 különböző növényfajt alkalmazva igazolta, hogy egyes növények valóban igen nagy arzén mennyiséget képesek felhalmozni. Az általuk vizsgált borzas kúpvirág és őszi napfényvirág fajok igen magas, akár 250 mg/l-es arzénkoncentrációt is elérő hidrokultúras tápoldatban fejlődve, 660 és 360 mg/kg sz.a. arzénkoncentrációt értek el a szárban és a levélben, két hét alatt.

W. ZHANG et al. (2002) és F.A. OLOYEDE (2013) egyaránt beszámolnak két trópusi páfrányfajról (*Pteris vittata* L és a *P. ensiformis* L), melyek tenyészedényes kísérletben, 30, 90 és 150 mg/kg talaj arzénkoncentráció hatására, 12 hét alatt 15-65 mg/kg sz.a. arzén koncentrációt értek el a gyökérzetben és a levelekben.

3.7. Az arzén szerepe az állatok és az ember életében

Már régóta folytak kísérletek annak igazolására, hogy az arzén esszenciális elem, de csak a XX. Század 70-es éveiben sikerült patkányok és egerek esetében igazolni a létfontosságot (ANKE et al., 1980). A növekedés lelassulása és a durva szőrzet kifejlődése volt érzékelhető arzénmentes környezetben, arzénhiányos táp esetében, s kimutatható volt a hematokrit érték

csökkenése, a lép megnagyobbodása és fokozódott a vörösvértestek ozmotikus fragilitása. Az arzén jelenléte, ill. hiánya befolyásolja a foszfadilkolin szintézist.

Később más állatok –csirkék, sertések, kecskék- esetében is igazolható volt az arzén biológiai fontossága (ANKE et al., 1985). Egyébként a szerves arzénvegyületek alkalmazásának kedvező hatása az állattenyésztésben (disznó, baromfi) –jobb takarmányhasznosulás, jobb egészségi állapot- már régóta, az esszenciális jelleg bizonyítása előtt is ismert volt.

UTHUS (1992) beszámol arról, hogy sikerült feltárnia az arzén konkrét fiziológias funkcióját patkányokkal és hörcsögökkel végzett vizsgálataiban. Közleménye szerint az arzénmentes diéta hatására csökken a vérplazmában a taurin aminosav és a poliaminok koncentrációja, ez utóbbi jelenség pedig számos esszenciális enzim inaktivitását okozza.

Bár a gerinces állatokkal végzett és az esszenciális jelleget egyértelműen bizonyító kísérletek alapján igen nagy valószínűséggel állítható, hogy az arzén az emberi szervezet számára is létfontosságú, a kutatók, mikroelem-metabolizmussal foglalkozó szakemberek nagy része az arzént inkább az úgynevezett toxikus mikroelemek közé sorolja. Bár az arzénre az emberi szervezetnek is szüksége van, az élettani igény olyan minimális, hogy a táplálkozás gyakorlatilag minden esetben fedezi a szükségletet. Tehát nem fordulhat elő hiány belőle, ugyanakkor a túlzott bevitel, azaz a toxikus hatás reális lehet. Abból adódóan, hogy a szükségleti érték nagyon alacsony, gyakorlatilag csupán toxicitása okozhat gondot.

Van még egy jellemző, ami meglehetősen eltér a tipikus esszenciális elemeket (pl. vas, réz, cink) és az arzént összehasonlítva. Az emberi szervezet, az egyes szövetek arzéntartalma nagymértékben függ az elfogyasztott élelmiszerek arzén koncentrációjától, nem érvényesül a legtöbb létfontosságú elem esetében jól kimutatható, erőteljes szabályozó hatás, ami többnyire viszonylag szűk, vagy nagyon szűk koncentráció tartományokat eredményez. Az arzén esetében az egészséges szöveteket tekintve – hasonlóan a nem esszenciális jellegű mikroelemekhez, de eltérően a legtöbb, életfontosságú elemtől - nem jellemző a normál eloszlás, inkább az úgynevezett lognormál eloszlás figyelhető meg.

Az arzén táplálékban, ill. az emberi szervezetben való jelenléte, ill. magas koncentrációja több mikroelem (pl. Zn, Cu, Mn) és mikrotápanyag (E vitamin) esetében antagonizmust eredményez. Az arzén jellegzetesen golyvakeltő anyag, jelenléte jódra vonatkozóan relatíve hiánytüneteket eredményezhet és szerepe lehet egyes területeken az endémiás golyva kialakulásában. Az arzén a szelénnel is egyértelműen antagonista hatású, nagyobb mennyiségben való jelenléte lerontja a szelén hasznosulását (SZABÓ, 2007).

Az emberi szervezetben általában 15-20 mg körüli az arzén teljes mennyisége, de arzénban gazdag élelmiszereket, ivóvizet fogyasztva ez jelentősen magasabb érték is lehet. Az emberi szövetek arzéntartalma többnyire 0,1 mg/kg alatti érték. A bőr, a máj és a vese viszont több arzént tartalmaz, mint a többi szövet, ill. szerv. Kiugróan magas a köröm és a haj As-tartalma és az arzénexpozíció megítélésére általában a vizelet és a haj arzéntartalmát használják (TAKÁCS, 2001).

Az arzén a legmérgezőbb hatású félfém. Nemcsak az emberre, hanem minden magasabb rendű élőlényre nézve is mérgező. Az arzénnal kapcsolatba hozható mérgezési esetek bár megritkultak, ma is előfordulnak. A múltbeli mérgezések leginkább patkánymérgek, légyapíros, arzéntartalmú fukszin segítségével történtek, de a schweinfurti vagy a Scheele-féle zölddel festett gyermekjátékok, tapéták, szövetek, sőt élelmiszerek miatt is történtek. A szervezetbe jutó arzén az enzimekhez kapcsolódva befolyásolja a sejt folyamatokat, gyomorpanaszokat, nyelőcsőfájdalmat, hányást és véres hasmenést okozva. A mérgezés megtörténte után a bőr hideg és nyirkos lesz, a vérnyomás lezuhan, ezt görcsök és kóma kialakulása követi. Az arzénmérgezés krónikus is lehet, ilyenkor hosszabb időn át fennállhat gyengeséget, fáradtságérzetet okozva. A fokozott festékanyag-képződés következtében a bőr száraz és erősen pigmentált lesz, a száj nyálkahártyája megduzzad, és végül károsodnak az idegek. Ennek következményeként szúró fájdalom, zsibbadás és átmeneti bénulások jöhetnek létre. A halált végül szívelégtelenség, a csontvelő helytelen működése vagy fertőzés okozhatja. Mérgezést egyetlen nagy dózis is okozhat a szervezetben (akut mérgezés), ilyenkor a halál egy napon belül (bizonyos esetekben néhány óra után) bekövetkezhet. Akut mérgezés esetén az arzén elsősorban a bél nyálkahártyájára hat, igen hamar tüneteket, fájdalmakat, hányingert, hányást, híg széklettel járó hasmenést, izzadást és a torokban kaparó, égő érzést okozva, melyet ájulás és halál követhet. Az arzén iránti egyéni érzékenység széles skálán változhat, egyes emberekben tolerancia alakulhat ki az arzén olyan dózisaival szemben is, mely másokat képes már megölni.

Ha a mérgezés nem volt halálos, a lábadozás akkor is igen lassú, a betegek hosszú ideig kimerültek, olykor reszketégség, szellemi gyöngeség marad vissza. Heveny mérgezések során általános sorvadás következik be a szervezetben, és a mérgezést szenvedett személy hetek múlva hal meg. Jellemző, hogy az arzénmérgezésben elhunytak haláluk után összeaszódnak, kiszáradnak, mint a múmia. Ennek oka, hogy az arzén fertőtlenítő voltánál fogva a rohadást okozó lebontó baktériumokat elpusztítja. Arzénmérgezett testek boncolásakor a belekben vérhashoz hasonló erős gyulladás, valamint a szívben, a májban és a vesékben elzsírosodás észlelhető.

Mivel az arzén kémiai elem (azaz nem bomlik tovább egyszerűbb összetevőkre), a mérgezett hajában, körmében és vizeletében a vizelet analízise vagy a boncolás után az arzénnyomok kimutathatók. Akut mérgezés esetén a beteget haladéktalanul kórházba kell szállítani. Ilyenkor a gyomormosás és a folyadékpótlás életmentő lehet, azonnal Dicaptolt kell adni két vagy három napon keresztül, ezt követően, pedig penicillamint mindaddig, amíg a vizelet arzénmentes nem lesz. A mérgezett személyt kezelni kell kiszáradás, sokk, tüdő ödéma és májkárosodás ellen, továbbá a dicaptol-kezelés befejezése után művesekezelés is szükséges lehet. A krónikus mérgezést szintén Dicaptollal kezelik.

Az arzént gyógyszerként, mint antidiszkratikaként használják, pl. váltóláz, krónikus bőrbajok orvoslása esetében. Erre a célra arzénes gyógyvizek (parádi, róncegnoi vagy levicoi vizek) is alkalmazhatók. Csontbetegségek (csontlágylás, angolkór) és ideges görcsök (az ún. vidtánc) vagy zsábák ellen szintén sikerrel használják az arzént, rendszeren az ún. Fowler-oldat (arzénos savas kálium-oldat) alakjában (TURKINGTON, 1995).

A hazai és nemzetközi szakirodalomban több olyan munka is található, melyekben célzottan az arzén-terhelés és az egyes betegségek kialakulása között kerestek a szerzők kapcsolatot.

CHEN és munkatársai (1985) a Taiwanban található artézi vizek magas arzén-tartalma és a rákos megbetegedések közötti összefüggést vizsgálták. Legnagyobb volt a hólyagrák, viszonylag kisebb a vastagbélrák százalékos aránya.

Egy arzén-szennyezést kibocsátó üzem környékén élő emberek rákos mortalitását vizsgálta PERSHAGEN (1985). Elsősorban a légszennyeződés érték és a tüdőrákos mortalitás között talált szignifikáns összefüggést.

Rákos betegek sejteinek analízisével foglalkoztak dolgozatukban COLLECHI és munkatársai (1986). A daganatokban mintegy 60%-al nagyobb arzénkoncentrációt mértek, mint a környező sejtekben. A betegek vérplazmájában is lényegesen nagyobb volt az arzén mennyisége, mint az egészséges kontroll személyek esetében.

A szervesetlen arzén bizonyítottan bőr-, hólyag-, vese- és tüdődaganatot idéz elő. Kis koncentrációban történő tartós bevitel esetén ezenkívül többféle krónikus, nem-daganatos betegség előidézésében is szerepet játszik. Ilyenek pl. a bőr elszarusodásával és pigmentáltságának megváltozásával járó elváltozások, szív-és keringési megbetegedések, a perifériás és a központi idegrendszer rendellenességei, máj- és vesebetegségek és a cukorbetegség (DURA et al., 2004).

KLIMENTNÉ és MUCSI (1992) az arzén szerepét vizsgálták a tüdődaganatos esetek területi halmozódásának kialakulásában, ezért eset-kontroll vizsgálatot folytattak. A közüzemi

vízművekről ellátott 67 megyei településhez tartozó 330 000 fő lakosból 270 000 fő kifogásolt arzén-tartalmú ivóvizet fogyasztott, ebből 173 000 fő a határértéket kétszeresen is meghaladó mértékben.

Az eredmények alátámasztották azt a feltevést, hogy a daganat kialakulásának esélyét befolyásolja az a tény, hogy Békés megye ivóvizének arzén szennyezettsége a határértéket többszörösen meghaladta.

3.8. Élelmiszerek arzéntartalma, a lakosság arzén terhelése

Az emberi szervezet szennyeződése négy úton történik alapvetően, melyeket az elfogyasztott szennyezett élelem és a víz, ill. a belélegzett levegő és por jelenti. Az arzén felezési ideje az emberi testben 10-30 óra (FERGUSON, 1991).

Az élelmiszerekkel és vízzel együttesen bejutó arzént a világ népességében a WHO 20-300 µg/nap közé teszi. Ez a nagy ingadozás a táplálkozás változatosságának tudható be. Az összes arzén bevitelnél sokkal nagyobb a szervetlen arzénbevitel jelentősége, mivel utóbbi a szerves arzénvegyületeknél sokszorta veszélyesebb. A WHO korlátozott adatok alapján az összes arzénbevitel átlagosan 25%-ára teszi a szervetlen arzén részarányát, azonban ettől szélsőségesen eltérő adatok is találhatók.

Az EFSA (Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság) 19 európai országra kiterjedő felmérése szerint (SZABÓ, 2007) egy átlagos fogyasztó élelmiszer és víz eredetű szervetlen arzén terhelése 0,13 -0,56 µg/kg testsúly/nap, az ezen belüli 2-3-szoros eltérések inkább a táplálkozási szokásokkal, mint az eltérő arzén előfordulásokkal látszottak összefüggeni. Az EFSA adatbázisa szerint (az ivóvízen túl) a gabonatermékek, a kávé és a sör, a rizs és rizs-alapú termékek, valamint a halak és zöldségek teszik ki az európai fogyasztó szervetlen arzén bevitelének nagy részét.

SZABÓ (2007) a napi átlagos arzén felvételt 0,1 mg-ra becsüli a magyar lakosság körében. Kiemeli, hogy a bevitel nagyban függ az egyén által fogyasztott ivóvíz arzén-tartalmától és az elfogyasztott tengeri eredetű élelmiszerek mennyiségétől (tengeri kagylóknál pl. esetenként a 100 mg/kg koncentráció is előfordulhat). Szélsőséges esetben a napi elfogyasztott érték elérheti az 1 mg-ot. A szerző hangsúlyozza, hogy a toxicitás tekintetében kiemelkedő jelentősége van annak, hogy milyen arányban származik szerves és szervetlen formából az elfogyasztott arzén mennyisége. Ha az arzénbevitel döntő része szerves kötésben lévő, pl. halakban, rákokban előforduló arzénből származik, akkor ennek nagyon minimális a mérgező hatása, míg a szervetlen eredetű arzén viszonylag kis koncentrációban is veszélyes lehet.

Szabó szerint a tengeri eredetű növényi és állati élelmiszerek arzéntartalma magas, ezeken túl a húsfélék közül a belsőségek jelenthetnek veszélyt a fogyasztók számára, melyek arzén koncentrációja az átlagos állati szervek szöveteinek háromszorosa is lehet. Általában a tej, hús (nem belsőség), tojás As-koncentrációja alacsony vagy nagyon alacsony, többnyire 0,01 és 0,1 mg/kg közötti érték. Zöldségeknél, gabonánál, gyümölcsöknél ennél nagyobb értékek is előfordulnak, esetenként meghaladhatják a 0,1 mg/kg koncentrációt, eredeti nedvességtartalmú termékre vonatkoztatva.

A súlyos, halált okozó mennyiség 5 mg/nap körüli a szerző szerint.

PALLAS (1893-1897) lexikona szerint az arzénevés szokása a 19. században elterjedt volt, különösen tiroli és stájer pásztorok és zergevadászok körében abból a célból, hogy nehéz lélegzés nélkül küzdjék le a hegymászás fáradalmait; fiatal leányok, asszonyok is gyakran rabjai e szokásnak, mert általa telt idomokra, fénylő szemekre és fénylő, feszes arcbőrre lehet szert tenni.

Leginkább a kénarzént (auripigment) használták, melyben körülbelül 10-20% arzénessav van. Az evést egész kis dózisokon kezdték, s apránként egész 40 grammig (tehát a halálos dózis sokszorosáig) emelték, emellett igen magas életkort érhettek el; az arzénevés abbahagyása azonban veszedelmes elgyöngüléssel járt. Ezért az arzénevés-szenvedélyüknek továbbra is rabjai maradtak. Szokás volt továbbá a lovakat is arzénnel tartani, hogy azok kövérek és fényes szőrűek legyenek. A rómaiak az arzént főként a rágcslók irtására használták.

Az 1960-as évek végéig a lakosság arzén terhelése jelentős volt a félfém mezőgazdasági felhasználása miatt is (UBRIZSY, 1969). Bár az előbbi szerző szerint már a 18. század közepén ismert volt az arzén karcinogén hatása, ennek ellenére a szőlő- és gyümölcsstermesztésben szinte nélkülözhetetlen rovarirtó szerként szerepelt. A növényvédelem történelmében az arzén korszak az 1870-es évektől az 1960-as évek közepéig tartott. Szervetlen (arzénsav és ennek nátrium és kálium sói) és szerves arzénvegyületeket (arzacetin, atoxil, szalvarzán, stb.) is használtak (TERÉNYI et al., 1967). Magyarországon 1968 óta tilos As-tartalmú növényvédő szerek és hozamfokozók alkalmazása (SZABÓ, 2007).

3.9. A tesztnövények bemutatása

3.9.1. A paradicsom (*Lycopersicon esculentum* L.)

A paradicsom (*Lycopersicon esculentum* L.) a burgonyafélék (*Solanaceae*) családjába tartozik, egyéves, lágy szárú növény. Magról vetve karógyökerű. Determinált, félig determinált és folyton növvő fajtákat alkalmazunk a termesztésben. A szabadföldi kultúrákban a determinált és félig determinált fajták terjedtek el.

A determinált fajtákra jellemző, hogy növekedésüket 2-5 fürt kifejllesztése után befejezik. Fürtjük gyorsabban, ütemesebben érik be, mint a folyton növvő fajtáké (BOTOS, 1980).

Néhány, napjainkban termesztett, elismert determinált fajta: Mano, Marmande, Roma, Zömök, Kecskeméti F1, Mobil, Kecskeméti Jubileum, Ace 55, Kecskeméti 549 és a Balkonstar (NÉBIH, 2013).

A szabadföldi fajták termesztésére jellemző, hogy május, június hónapban palántázzuk a termesztés végleges helyére, a betakarítás – a fajta tenyészidejétől függően – augusztus, szeptemberben történik.

Hő-, fény- és vízigényes növény, hazánk legfontosabb termőterületén, a dél-alföldi régióban öntözve és tápoldatozva lehet gazdaságosan termesztani (BOTOS, 1980).

A paradicsom a világ legnagyobb felületen termesztett, legnagyobb gazdasági jelentőségű zöldségnövényeink egyike.

Elsősorban sűrítményt (püré), fűszeres mártást (ketchup) és ivólevet készítenek belőle, de számos termék (lecsó, paradicsomos hal stb.) nélkülözhetetlen alkotóeleme is. Friss fogyasztása is dinamikusan növekszik, ma már mindenütt egész évben folyamatosan van rá igény.

Talajigénye: termesztésre legkedvezőbb az 5,6-8,2 pH értékű, legalább 1,2-1,4% humuszt tartalmazó közép-kötött, homokos vályog-, vályog- vagy agyagos-vályog talajok. A monokultúrás termesztést nem bírja. Ugyanazon a területen termesztve a második évben alig, de a harmadik évtől már jelentős mértékben csökken a termés. Önmaga és más burgonyaféle után csak legalább 3-4 év kihagyással termesztethető.

Tápanyagigény: A paradicsom a nitrogént, a foszfort és a káliumot közel azonos mennyiségben, de az egyes fejlődési szakaszokban eltérő arányban igényli. Nitrogén igénye a lombozat gyarapodásával arányban nő, és a tömeges bogyófejlődés idején (az első szedés előtt) hirtelen megugorva éri el a maximumát. A foszforigény tekintetében két kritikus fázis van: a növekedés kezdeti időszaka (az első 40-50 nap, gyökérszövet kialakulása) és a tömeges

virágzás, terméskötés ideje. Káliumigénye az egész tenyészidőszakban közel egyenletes. Ezen kívül még kalciumra és magnéziumra van nagyobb mennyiségben szüksége (HODOSSI, 2004).

A paradicsom nem különösebben tápláló, 100 g friss paradicsom 80J (19 cal) energiát tartalmaz, de jelentős forrása bizonyos ásványi anyagoknak (kálium, foszfor, kalcium) és vitaminoknak (A- és C-vitamin). A táplálékaink közül a paradicsom – a fogyasztott mennyiségek alapján – harmadik a lehetséges A- és C-vitamin-források listáján (FARKAS, 2002). CSERNI et al. (2007) paradicsom beltartalmi vizsgálata során, különböző talajtípusokon 0,26-0,42 g/kg C-vitamin koncentrációt állapított meg a bogyótermésben.

Hazánkban a lakosság paradicsom fogyasztása 19 kg/fő volt 2011-ben, ennek 91,6%-át belföldön állították elő a termelők. A paradicsom a magyarországi zöldségtermesztés teljes mennyiségének 11%-át teszi ki.

A 2011-ben betakarított paradicsom terület 1975 hektár volt Magyarországon, a betakarított összes termés mennyisége 163 349 tonna. A dél-alföldi régióban 940 hektáron folyt paradicsomtermesztés, melynek megoszlása a következő: Bács-Kiskun megyében 132 hektár, Békés megyében 598 hektár, Csongrád megyében 210 hektár (KSH, 2012).

3.9.2. A fejes saláta (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.)

A fejes saláta (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.). a fészkesvirágúak (*Asteraceae*) családjához tartozik, egy éves vagy áttelelő, lágy szárú növény. Nagy valószínűséggel a nálunk is megtalálható vad alakból, a keszegsalátából származik.

A fejes saláta termeszthető szabadföldön és hajtásban. A szabadföldi csoporton belül megkülönböztetünk kora tavaszi és nyári fajtákat, a hajtató csoporton belül pedig téli, tavaszi és őszi hajtató fajtákat (TERBE, 2002). Elismert szabadföldi fajták: Lucan, Tizian, Beltran. A hajtásban ajánlott, jól teljesítő, elismert tavaszi és őszi fajták: Cerveria, Shangore, Centore, Bagli, Emerald (NÉBIH, 2013).

A fejes saláta nem hőigényes növény. Egyes fajtái a hideget jól tűrik, az áttelelők mínusz 10 °C-ot is károsodás nélkül elviselnek. A magvak csírázása néhány fokkal fagypont felett megkezdődik. A gyökerek és a levélzet fejlődése már 4-7 °C-on elindul. Ideálisan 16-19 °C-on fejlődik.

Az egyes fajták fényigénye igen nagy eltérést mutat. A nyári fajták napi 12-16 órás, a téliek már napi 8-9 órás megvilágítás hatására képesek fejesezni. A termesztés során figyelni

kell arra, hogy a fajta igényeinél rövidebb idejű napi megvilágítás a fejesedés elmaradását, az optimálisnál hosszabb idejű pedig a magszárképződés beindulását okozza.

Vízigénye – a többi zöldségféléhez viszonyítva – nem nagy, szabadföldön a legtöbb esztendőben eredményesen termesztethető öntözés nélkül is.

A fejes saláta termesztése nem korlátozódik néhány talajtípusra, a laza homoktól a közép-kötött vályogon keresztül a kötöttebb talajokig mindenütt jól fejlődik, ha azt trágyázással, talajműveléssel alkalmassá teszik számára. Tenyészideje rövid, ezért sem a kombinált szántóföldi, sem a kertészeti vetésforgóban nem termesztjük főnövényként. Általában előveteményként ültetik, jól beilleszthető a kései káposztafélék, ipari felhasználású paprika és paradicsom és csemegekukorica elé (TERBE, 2002).

Hajtatásban az egyik legrégebben termesztett zöldségfajunk, a kezdetek a melegágyas hajtatás idejére nyúlnak vissza. Nagy lendületet adott termesztésének a fólia megjelenése és elterjedése. Elsősorban az Alföld déli részén (Szeged, Röske, Gyula, Méhkerék, Szentes) és Budapest környékén (Inárcs, Dabas, Csepel-sziget, Soroksár) alakultak ki nagyobb hajtató körzetek (TERBE és FEHÉR, 2000).

Hajtatása Európa más országaiban is korán kezdődött. A fejes saláta hajtatásával 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 (TOMPOS, 2008).

Hajtatásban is jellemzően elő- és utónövényként termesztik, főnövényként nem jellemző. Fontosabb hajtatási időszakok: téli, kora tavaszi, késő tavaszi, őszi hajtatás. Hajtatása általában kertészeti talajkeverékeken történik, de egyes termelőknél már Magyarországon is megkezdődött a talaj nélküli, hidrokultúrás termesztése (TERBE és FEHÉR, 2000).

A talaj nélküli hajtatást üzemi szinten az 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 (TOMPOS, 2008).

GÖHLER (2002) a kertészeti termesztésben alkalmazott termesztési eljárásokat a következő táblázat szerint csoportosítja (5. táblázat):

5. Táblázat. Termesztési eljárások a kertészeti termesztésben (GÖHLER, 2002)

1. Talajos termesztés				
2. Talajtól független termesztés	2.1. termesztés földkeverékeken			
	2.2. földkeverék nélküli termesztés	2.2.1. szubsztrátos termesztés	A) szerves közegen történő termesztés	a vékonyréteges (polcos) termesztés
				b) zsákos termesztés
				c) konténeres termesztés
			B) szerves, inert közeges kultúrák	a) kavicskultúra
		b) kőgyapotos termesztés		
		c) perlites termesztés		
		d) égetett agyagkavicsos termesztés, stb.		
		2.2.2. közeg nélküli termesztés	A) tankkultúra (medencés termesztés)	
	B) NFT (Nutrient Film Technology – tápanyagfilm módszer)			
C) PPH (Plant Plane Hydroponic), hidropóniás rendszerek				
D) aeropónia (levegő vagy ködkultúra)				

A csoportosítás szerint a talajtól független termesztés esetén vagy alkalmazunk kertészeti földkeveréket vagy nem. Ha földkeveréket sem alkalmazunk, akkor alkalmazhatunk ún. szerves vagy inert szubsztrátokat (földtől teljesen különböző közegeket) mely anyagok kitöltik a termesztő edényeket, rögzítik a gyökérzetet, megtartják a növényt. A szerző felhívja a figyelmet, hogy a szerves közegek befolyásolhatják a gyökér körüli tápoldat pH-ját és sótartalmát.

Valódi hidrokultúrás termesztésnek a közeg nélküli termesztést nevezhetjük (2.2.2.). A technológiának mára már több megvalósítási módja létezik.

Egyik legegyszerűbb a tankkultúra (2.2.2. A.) vagy más néven medencés termesztés. Ennek lényege, hogy a tápoldatot nagyobb, összefüggő, nyitott felületű, általában 25-30 cm mély tankban keringetik, melynek felületén vékony polisztirol táblákba ültetve, a tápoldat tetején úsztatják a fiatal, 2-3 hetes palántákat (pl. saláta). A technológia saláta növényvel úgy működik, mint egy futószalag. A termesztést folyamatosan lehet végezni. A tartályok/ágyások egyik végén a tápoldat tetejére helyezik a 2-3 hetes palántákat, a másik oldalon, évszaktól függően 4-6 hétre szedhető a piacos áru. Napjainkra a technológiát már teljesen gépesítették.

Széles körben elterjedt az ún. NFT (Nutrient Film Technology), vagy magyarul tápanyagfilm módszer (2.2.2. B.). Lényege, hogy műanyag csatornákból vagy vastag PE fóliából speciális tápoldat csatornákat alakítanak ki, ezek fedőlemezen optimális méretű nyílások vannak (5-7 cm), ezekbe helyezik el – gyökérrögzítő közeg nélkül – a növényeket. A tápoldat a

csatornában keringethető, a növényeket a csatornák fedőlemeze tartja meg. Nevét a csatorna alján átfolyó, vékony tápoldat-filmről kapta. Napjainkra saláta esetén ez a módszer terjedt el leginkább, gyors és olcsó kivitelezhetősége miatt.

Létezik még a hidropóniás és az aeropóniás rendszer (2.2.2. C) és D)). A hidropóniás rendszer lényege, hogy az NFT technológiához hasonlóan kialakított, általában PVC-ből készült tápoldat csatornába *támasztóközeg felhasználásával* (általában kőzetgyapotból készült ültető kocka) ültetik be a növényeket. Ez a módszer költségesebb, mint az NFT, de lehetővé teszi a salátánál hosszabb tenyészidejű, nagyobb növénytömeget fejlesztő zöldségfélék megtámasztását is (pl. paprika paradicsom).

Az aeropónia egy egészen sajátos termesztési módszer. Lényege, hogy a növények gyökérzete összefüggő tápoldat felülettel nem, csak tápoldat-köddel érintkeznek, amit a tápoldat csatornák/tápoldat tároló terek alsó lemezére épített fűvókák szórnak szét a tápoldat csatornába lógó gyökérzetre. Előnye a roppant hatékony tápanyag felhasználás (TERBE és PAP, 2008).

A saláta hidrokultúrás termesztésében alkalmazott hidropóniás rendszert (2.2.2. C)), kőzetgyapot támasztóközeget felhasználva *aggregát hidropóniás* rendszernek hívja a szerző. Elterjedt, de a klasszikus NFT-hez képest kevésbé gazdaságos módszer (TOMPOS, 2008).

A talaj nélküli termesztési kultúrák lehetnek zárt vagy nyitott rendszerűek. Zárt rendszer esetén a csatornákon átfolyt tápoldatot gyűjtőcsatornába vezetik, majd megfelelő keringető technológiát felhasználva újra a növények gyökeréhez juttatják. A nyitott technológia kevésbé fejlett technológiának tekinthető a zárthoz képest, de edényes, zsákos termesztésnél alkalmazzák. Itt az egyszer már kijuttatott tápoldat nem kerül vissza újra a növények gyökeréhez, hanem elfolytatják.

A dolgozatban szereplő, hidrokultúrás fejes saláta termesztését zárt rendszerű, aggregát hidropóniás technológiával valósítottuk meg.

A fejes saláta táplálkozási jelentősége abban áll, hogy bővíteni képes a téli, kora tavaszi szegényes zöldségválasztékot. Jelentős a C-vitamin tartalma, de az üvegházban vagy fólia alatt, télen és kora tavasszal hajtatott növények kevesebbet tartalmaznak belőle, mint a nyári fajták. Ásványianyag-tartalma nagy, különösen kalciumból, vasból és foszforból tartalmaz jelentős mennyiséget. Több szerző kimutatta, hogy a fejes saláta képes az emberi szervezet számára káros nitrát felhalmozására. MOR et al. (2010) szerint a fejes saláta a spenóthoz hasonlóan a nitrát-felhalmozás tekintetében a legveszélyesebb növények közé tartozik, tanulmányukban a saláta 1 kg nyers tömegre számított nitrát-tartalma elérheti a 1500 mg-ot.

Hazai mérések (TERBE, 1986; NÁDASYNÉ, 1999) ennél sajnos nagyobb értékeket is találtak.

Hazánkban a lakosság fejes saláta fogyasztása 1,01 kg/fő volt 2011-ben, ennek 81,0%-át belföldön állították elő a termelők. A fejes saláta a magyarországi zöldségtermesztés teljes mennyiségének 0,7%-át teszi ki.

2011-ben a betakarított fejes saláta terület 288 hektár volt Magyarországon, a betakarított összes termés mennyisége 7 627 tonna. A dél-alföldi régióban 162 hektáron folyt fejes salátatermesztés, melynek megoszlása a következő: Bács-Kiskun megyében 20 hektár, Békés megyében 4 hektár Csongrád megyében 138 hektár (KSH, 2012).

4. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1. A kísérletek körülményei, alkalmazott tesztnövények

A dolgozatban szereplő kísérleteket a paradicsom tesztnövénnel szabadföldi, konténeres nevelési körülmények között folytattam, azonos körülmények mellett 2011 és 2012-ben. A fejes saláta vizsgálatát pedig 2011 és 2012-ben a paradicsoméhoz hasonlóan konténeres szabadföldi, ill. 2010-ben valamint 2011-ben hidrokultúrás, aggregát hidropóniás körülmények között végeztem.

A kísérletek elrendezése egytényezős véletlen blokk elrendezés, ahol az egyetlen tényező az alkalmazott öntözővíz egyre növekvő arzén koncentrációja (SVÁB, 1973).

Az alkalmazott paradicsomfajta (*Lycopersicon esculentum* L., Mobil) egy középérésű tenyészidejű (130–135 nap), szabadföldi fajta. Determinált növekedésű, erőteljes lombzatú. Lapított gömb alakú bogyói 120–140 g tömegűek, kocsánymentesen leválók. A fajta állami elismerésének éve: 1985. A vetőmag nemesítője és forgalmazója a ZKI Zrt.

Az alkalmazott fejes saláta fajta (*Lactuca sativa* L., Emerald) elsősorban hajtásban ajánlott, de elő és utónövényként szabadföldi körülmények között is termesztethető. Tavaszi és őszi fajta, vagyis a fejesezéshez közepes, 9-12 órás napi megvilágításra van szüksége. A fajta jellemzője, hogy levélzete tömött, feje súlyos. Világos színű, ún. „szőke” saláta típus. Fejesezése gyors, a fej tömör szerkezetű. A fajta állami elismerésének éve 2003. A vetőmag előállítója és forgalmazója a Syngenta Kft.

4.2. Az arzénnel kezelt öntözővíz előállítása

A kísérletekben szereplő zöldségnövények kezeléseit a felhasznált öntözővízen és hidrokultúrás tápoldaton keresztül valósítottuk meg. A szabadföldi öntözővíz és a tápoldat arzén koncentrációját mesterségesen állítottuk be, laboratóriumi körülmények között előállított arzén-törzsoldat adagolásával.

A felszín alatti vizekben az arzén két szervetlen, ionos formában, az arzenit és az arzenát formákban fordul elő, a víz pH-jának, hőmérsékletének, és oldott oxigén tartalmának megfelelő egyensúlyi arányban. Kísérleteinkben ugyanezt a két ionos formát alkalmaztuk, a természetes körülmények modellezhetősége érdekében.

A törzsoldat készítésekor a kiinduló vegyület az arzén-trioxid (As_2O_3), mely enyhe melegítés hatására vízben oldódik, és arzénsav (H_3AsO_4) keletkezik. Az arzénsav vizes

oldatában az arzén – a felszíni és felszín alatti vizekhez hasonlóan- arzenit (H_2AsO_3^-) és arzenát (H_2AsO_4^-) formájában van jelen, a körülményeknek megfelelő egyensúlyi arányban.

A kísérletekben alkalmazott arzén dózisok adagolásához legjobban megfelelő törzsoldat koncentráció a 0,5 g/l-es töménység. Kétliternyi, 0,5 g/l-es törzsoldat elkészítéséhez 1,3204 g As_2O_3 kristályos arzénvegyületet kell vízben feloldani. A törzsoldatot a Kertészeti Főiskolai Kar Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában készítettem el.

4.3. A szabadföldi paradicsom kísérlet előkészítése és beállítása

A paradicsom teszt növényel végzett szabadföldi kísérleteket a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Bemutatókertjében végeztem 2011 és 2012-ben. A vizsgálatok szabadföldi, mikroparcellás kísérletnek tekinthetők, de környezetvédelmi okok miatt a növények valójában, tenyészedeényekre emlékeztető, földbe süllyesztett műanyag konténerekben fejlődtek.

A kísérleti helyen 2010-ben szabadföldi öntözéses kísérletek kivitelezésére alkalmas, szeparált konténeres rendszert építettünk ki. A rendszer lényege, hogy 80 db földbe süllyesztett növényláda felhasználásával - mely növényládák zárt fenéklemezén összefolyó csatornanyílás van és ezeket a nyílásokat csővezeték hálózat köti össze, a fel nem használt vizet egy zárt gyűjtőaknába vezetve-, lehetővé válik a toxikus elemmel végzett öntözéses kísérletek megvalósítása a kísérleti hely talajának elszennyezése nélkül.

A konténerek magassága 90 cm, szélessége 60 cm, a talajfelület $0,28 \text{ m}^2$ ládánként. A konténerek a térségre jellemző, a Bemutatókertben is megtalálható homogenizált humuszos homoktalajjal töltöttük fel. A rendszer összeállításának folyamatát mutatja be a következő két ábra (8. és 9. ábra):



8-9. ábra. A szabadföldi kísérletekhez felhasznált konténeres rendszer kialakítása

A kísérleti hely előkészítésekor a talajszelvény felső, kb. 120 cm-es rétegét el kellett távolítani, hogy a konténerek és a csővezetékek beépíthetők legyenek, majd a konténerek végleges helyükre kerülése után, a konténerek talajjal töltésekor ügyeltünk arra, azok alsó felébe altalaj, felső, 30-40 cm-es rétegébe pedig eredetileg is felső, humuszos termőréteg (feltalaj) kerüljön.

Az első szabadföldi kísérletek beállítása előtt, 2011 tavaszán a konténerekből talajmintákat vettem, és a Kar laboratóriumában megvizsgáltam. Az eredmények alapján a konténerek talaja: $\text{pH}_{(\text{KCl})} = 7,42$; $\text{K}_A = 32$; vízdoldható összes só = 0,02 m/m%; szénsavas mész (CaCO_3) = 2,98 m/m%; humusz = 2,48 m/m%, melynek alapján a konténerek talaja jó termőképességű, humuszos homoktalaj, IV. termőhelyi kategória, és a konténerek talaja homogénnek, azonosnak tekinthető.

A talajvizsgálatok szerint a talaj AL-oldható foszfor-tartalma magas. Mivel a talaj magas foszfortartalma befolyásolja a növények arzén felvételét, a talajmintákból meghatároztuk a zöldségtermesztés szempontjából kifejezőbb, 1:5 arányú vizes kivonat foszfor-tartalmát is. Az érték átlagosan 41,1 mg/l, mely érték TERBE et al. (2005) szerint közepes szintűnek tekinthető. A talajvizsgálatról készült eredménylapot a mellékletgyűjtemény tartalmazza (1. számú melléklet).

A paradicsom magvetését és a palánták tápkockás nevelését a Kar Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézete végezte 2011. és 2012. március elejétől. A nevelés tápkockában, fóliasátras körülmények között történt.

A palántákat 2011-ben május 26-án, 2012-ben május 18-án ültettük a konténerekbe. A nevelés 2011-ben augusztus 31-ig és 2012-ben augusztus 24-ig zajlott.

A kísérlethez mindkét évben 22 db konténert használtam fel. Egy konténerbe 2 tő paradicsom került. 20 db konténerben az egyes öntözéses kezeléseket, míg 2 db konténerben a kontroll vizsgálatot végeztem.

4.4. A szabadföldi paradicsom kísérlet kezelése, mintavételezés

A paradicsom szabadföldi kísérletében 5 különböző arzén koncentrációt és a kontroll, vagyis arzénmentes öntözővízzel végzett kezelést alkalmaztam. Az arzén dózisok: 50, 100, 200, 400 és 800 $\mu\text{g/l}$, melyek közül az első 3 dózis a dél-magyarországi felszín alatti vizekben és kútvezetekben előforduló arzén koncentráció modellezésének, a két utolsó dózis pedig már provokatív jellegű, jelentős szennyezésnek tekinthető koncentrációnak felel meg. A két

nagyobb dózis (400 és 800 $\mu\text{g/l}$) a hazai öntözővizekben még engedélyezett 200 $\mu\text{g/l}$ -es határérték kétszerese, illetve négyszerese.

Az arzénnel kezelt öntözővíz kijuttatása két különböző módszer segítségével valósult meg. A kísérletekben a két öntözési módot két különböző tényezőnek tekintjük. Az egyik az úgynevezett *esőztető öntözést* modellezi, vagyis a kezelt víz először a növény levelével érintkezik. Ennek célja, hogy a növény föld feletti részeivel rendszeresen érintkező, arzénnel kezelt víz hatását külön kimutathassam. A másik öntözési módszer a *csepegtető módszer*, mely során az arzénnel kezelt öntözővíz nem kerül a növények lombozatára.

A két különböző öntözési módszert kézi, öntözőkannás megoldással lehetett megvalósítani. Az esőztető öntözés során a vizet öntözőrózsa felhasználásával, csepegtető öntözés esetén anélkül juttattuk a növényekre illetve közvetlenül a talajra (10. ábra).



10. árba. Az esőztető és a csepegtető öntözési módszer megvalósítása

Összesen 20 konténert használtunk fel a kezelésekhez. Az egyes öntözési módok 5 különböző arzén dózisa összesen 10 konténerben fért el. Egy konténerben 2 tő paradicsom fejlődött. Előbbiek alapján tehát minden láda 2 tő növénye egy-egy ismétlésnek számított a mintavételezés és vizsgálat során, így mindkét öntözési mód, 5 különböző arzén dózisa 4-4 ismétlésben került beállításra. 2 konténerben voltak a két különböző öntözési módnak megfelelő kontroll kezelések.

A 11. ábrán a kísérlet elrendezését láthatjuk:

Kontroll	As-dózis		mért. egys.	Öntözési mód
	200	400	$\mu\text{g/l}$	Eszőztető öntözés
	800	100	$\mu\text{g/l}$	
	50	200	$\mu\text{g/l}$	
	400	50	$\mu\text{g/l}$	
	100	800	$\mu\text{g/l}$	
	200	50	$\mu\text{g/l}$	Csepegtető öntözés
	100	200	$\mu\text{g/l}$	
	800	400	$\mu\text{g/l}$	
●	50	800	$\mu\text{g/l}$	
●	400	100	$\mu\text{g/l}$	

11. ábra. A szabadföldi paradicsom kísérlet elrendezése, 2011, 2012.



12. ábra. A szabadföldi paradicsom különböző fejlettségi állapotai, 2011.

Az előző ábra (12. árba) 3 részlete a palántázás, majd az első és az utolsó mintavétel idején ábrázolja a paradicsom tesztnövényt.

Az öntözést hetente 2-3 alkalommal, igény szerint végeztük. Egy alkalommal 3 liter arzénrel kezelt öntözővizet juttattunk a növényekre. A nevelés kb. 12 hete alatt 2011-ben 83, 2012-ben 73 liter kezelt öntözővizet juttattunk ki konténerenként. Az arzénes öntözővíz közvetlenül az öntözés előtt készült a 0,5g/l-es törzsoldatból hígítva. Ellenőrzött térfogatpontosságú, 20 literes kannákat használtunk, melyekben az arzéndózisoknak megfelelően 2, 4, 8, 16, 32 ml g/l-es töménységű törzsoldatot hígítottuk 20 literre arzénmentes öntözővízzel. A kész öntözővizek töménységét mindkét tenyészévben 2-2 alkalommal ellenőriztük ICP-AES nagyműszeres laboratóriumi vizsgálattal.

A tápanyag-utánpótlás 4 hetente elvégzett tápoldatozással történt. Ferticare 24-8-16 (NPK%) vízdoldható műtrágyából juttattunk ki 3 liter 0,3%-os töménységű oldatot konténerenként. Foszfor hatóanyag kijuttatása a komplex műtrágyával annak ellenére történt, hogy a talaj AL-P₂O₅ tartalma szerint a talaj foszfor-ellátottsága igen jó. Ennek oka, hogy a korábbi, tenyészkertünkben folytatott zöldségtermesztési vizsgálataink szerint a zöldségfélék egyenletes tápelem ellátása NPK makroelemekkel, különösen tápoldat alkalmazása esetén akkor is indokolt, ha foszfor vagy kálium elemekből jó ellátottságot mutat a talaj AL-os vizsgálata. A kijuttatott hatóanyag mennyiség tenyészévenként 30/10/20g/m² N/P₂O₅/K₂O-ban kifejezve. A tápoldat hatására a lombozat jól fejlődött, az érés egyenletes volt, hiánytüneteket nem észleltünk.

A vizsgálatok során úgy terveztem meg a mintavételezést, hogy a vegetatív és generatív növényi részek egyaránt mintázhatók legyenek, így mintázásra került a gyökérzet, a lombozat és a fogyasztás szempontjából jelentős bogyótermés is. A tervezésnél figyelembe kellett venni azt is, hogy a mintavételt több, egymást követő időpontban kell elvégezni, mert a paradicsom folyamatosan termett, az érés megkezdése után átlagosan kéthetente termésmintát kellett szedni.

Fentieknél megfelelően mindkét tárgyévben 3, egymást kb. 2 héttel követő időpontban szedtem levél és termésmintát, és a kísérlet befejezésekor gyökérmintát. Az ismételt levélmintavételek lehetővé tették, hogy a tenyészidőszak folyamán a lombozatban történő arzén koncentrációváltozást is nyomon követhessem. A levélminták gyűjtésekor minden esetben a szár felső egyharmadán fejlődött, kifejlett, ép levéllemez mintáztam. A termésminták begyűjtése után minden alkalommal lemértem az egyes kezelésekhez tartozó termésmennyiséget.

A megalósított mintavételezési tervet a 6. táblázat részletezi. 2012-ben az utolsó termésminta gyűjtés időpontjában elmaradt a levélmintavétel, mert a súlyos aszály következtében a rendszeres öntözés hatására sem maradt mintázható lombzat a paradicsomon.

6. táblázat. A szabadföldi paradicsom kísérlet mintavételezése, 2011-, 2012-ben

Mintavétel 2011-ben		Mintavétel 2012-ben	
<u>Mintavétel ideje</u>	<u>Mintázott növényi rész</u>	<u>Mintavétel ideje</u>	<u>Mintázott növényi rész</u>
2011.07.27	Levél és termés	2012.08.01	Levél és termés
2011.08.18	Levél és termés	2012.08.08	Levél és termés
2011.09.01	Levél és termés	2012.08.23	Termés
2011.09.08	Gyökér	2012.08.31	Gyökér

A levélmintákat papír-, a termésmintákat nejlonzacskóba szedtem, a gyökérmintákat kisméretű tároló üvegbe gyűjtöttem. A gyökérminta gyűjtésekor ásóval kifordítottam a paradicsom gyökérzetének jelentős részét és a finomabb, hajszálgökér állományból mintáztam. Közvetlenül a mintavétel után a gyökérzetet csapvízzel mosni kellett, mert gyökérminta-vételkor különösen ügyelni kell a talajjal történő szennyezés elkerülésére.

A mintákat felcímkéztem, majd a laboratóriumba szállítottam. A laboratóriumi analízis során meghatároztam a termésminták légszáranyag-tartalmát, ill. mindhárom mintatípus légszáraz anyagának összes arzéntartalmát a 4.11. fejezet szerint.

4.5. A szabadföldi fejes saláta kísérlet

A fejes saláta tesztnövényvel végzett szabadföldi kísérleteket szintén a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Bemutatókertjében állítottuk be, 2011 és 2012 tavaszán. A kísérleti tér ugyanaz a konténeres rendszer, amelyben a paradicsom vizsgálata folyt.

A fejes saláta magvetését és a palánták tápkockás nevelését a paradicsomhoz hasonlóan a Kar Dísnövény- és Zöldségtermesztési Intézete végezte 2011. és 2012. február elejétől.

A palántákat 2011-ben március 22-én, 2012-ben március 23-án ültettük a konténerekbe. A nevelés május 25-ig és május 22-ig történt.

A fejes saláta szabadföldi kísérletében 12 db konténert használtam fel ugyanazokkal a kezelésekkel, mint a paradicsom esetében. A fejes saláta mindkét évben a paradicsom elő-növénye volt. 2 konténer arzénmentes öntözése volt a kontroll.

4.6. A szabadföldi fejes saláta kísérlet kezelése, mintavételezés

A fejes saláta szabadföldi kísérletében szintén 5 különböző, egyre növekvő arzén koncentrációt alkalmaztam. Az egyes dózisek: 50, 100, 200, 400, 800 $\mu\text{g/l}$, hasonlóan, mint a paradicsomnál. A két legnagyobb dózis a fejes saláta esetében is provokatív, magas terhelésnek tekinthető.

Az esőztető és a csepegtető öntözést, mint két különböző kezelési típust a fejes saláta esetében is megvalósítottuk. Ennek célja a fejes saláta vizsgálatánál is az, hogy a növény föld feletti részeivel közvetlenül, rendszeresen érintkező arzénos víz hatását külön vizsgálhassuk. A saláta esetében ennek különös jelentősége lehet, hiszen alaktani okokból a saláta a felületére került vizet összegyűjti, a levéllemezen keresztül is jelentős lehet az elemfelvétel és a saláta esetében éppen ezeket a vegetatív részeket fogyasztjuk. A kézi, öntözőkannás és öntözőrózsás megoldás itt is biztosította a kétféle öntözési mód megvalósítását. A kétféle öntözési módot itt is két különböző kísérleti tényezőnek tekintjük.

Összesen 10 konténert használtunk fel a kezelésekhöz. Az egyes öntözési módok 5 különböző arzéndózisa összesen 5 konténerben fért el. Egy konténerbe 4 fej saláta fejlődött, így minden konténer 4 saláta feje a feldolgozás során egy-egy ismétlésnek számított, tehát itt is mindkét öntözési mód 5 különböző arzén dózisa 4-4 ismétlésben került beállításra. 2 konténerben voltak a két különböző öntözési módnak megfelelő kontrollkezelések.

A kiültetés utáni és a betakarítás előtt álló fejes salátákat a következő ábra mutatja be (13. ábra):



13. ábra. Fejes saláta a kiültetés után és a betakarítás előtt, 2012.

Az öntözést a fejes saláta nevelése során hetente 2 alkalommal végeztük. Egy alkalommal 3 liter arzénnel kezelt öntözővizet juttattunk a növényekre. A nevelés átlagosan 8 hete alatt 2011-ben 51, 2012-ben 48 liter arzénes öntözővizet juttattunk ki konténerenként. Az arzénes öntözővizet a saláta esetében is közvetlenül az öntözés előtt készítettük a 0,5g/l-es törzsoldatból hígítva. A kész öntözővizek töménységét a saláta két tenyészévében is 2-2 alkalommal ellenőriztük.

A saláta tápanyag-utánpótlása 2 alkalommal elvégzett tápoldatozással történt. Közvetlenül az ültetés után Hydrofert 15-30-15 (NPK%) starter vízzoldható műtrágyát juttattam ki 0,2%-os töménységben, majd 4 hét múlva Ferticare 24-8-16 (NPK%) műtrágyából 0,3%-os oldatot adtam ki, mindkét esetben 3 litert konténerenként. A tápoldatok hatására a saláta jól fejlődött, a fejesedés szabályosan végbement, hiánytüneteket nem észleltünk.

A mintavételezési terv szerint a fejes saláta esetében csak vegetatív növényi részeket mintáztunk és csak egy alkalommal, a fejes saláta technológiai érettségének időszakában (a fejesedés befejezésekor), a kísérlet bontásaként. A kísérlet befejezése 2011-ben május 25-én, 2012-ben május 22-én volt.

A mintavételezéskor a saláta növényeket gyökérzetükkel együtt kiemeltük a talajból. Ezután a gyökérzetet arzénmentes vízzel alaposan lemostuk, gondosan eltávolítottuk a talaj szemcséit és az egyéb szennyeződések. Ezt követte a gyökérmintavétel, amit fejenként, vagyis ismétlésenként elkülönítve, kisméretű tároló üvegbe gyűjtve végeztem. A maradék gyökér eltávolítása után a fejekről leráztuk a felesleges vizet, lemértük a fejtömeget, majd a

fejeket szétbontva a salátafej középső leveleiből 100-200 grammnyi levélmintát vettünk, papírzacskóba helyeztük, felcímkéztük és a gyökérmintákkal együtt a laboratóriumba szállítottuk.

A következő ábra a talajból frissen kiemelt, megtisztított, mintázás előtt álló salátafejeket ábrázolja (14. ábra):



14. ábra. A talajból kiemelt, megtisztított, mintázás előtt álló salátafejek, 2011.

A laboratóriumi analízis során meghatároztam a levélminták légszárazanyag-tartalmát, és mindkét mintatípus szárazanyagának összes arzéntartalmát a 4.11. fejezet szerint.

4.7. A hidrokultúrás fejes saláta kísérlet beállítása

A fejes salátával hidrokultúrás, vagyis talaj nélküli termesztési technológia alkalmazása mellett is elvégeztem az arzén-terheléses vizsgálatot. A kísérleteket 2010- és 2011-ben március-április hónapokban állítottam be. A kísérlet helye a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar üvegháza, ahol temperált körülmények között, aggregát hidropónia rendszerben fejlődtek a tesztnövények.

Az aggregát hidropónia rendszer üvegházunkban egy elkülönített, 8x8m alapterületű termesztő blokkban áll. A rendszer vázát adja három termesztő asztal, ezeken egyenként három hidrokultúrás tápoldat csatorna helyezkedik el. A csatornák műanyag lemezből készültek, hosszuk egyenként 4,3 m, magasságuk és szélességük 12 és 30 cm (15. ábra).



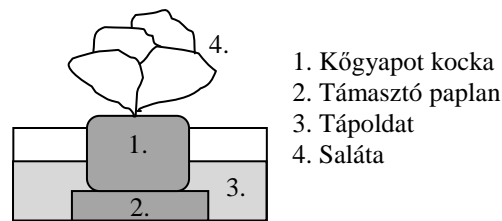
15. ábra. Hidrokultúrás tápoldat csatornák és az adagoló felső tartályok az üvegházban

A tápoldat csatornában a tápoldat cirkuláltatását egy keringető rendszer végzi. A rendszer 3 db osztott gyűjtőtartályból áll, mely tartályok a termesztő asztalok alatt, a tápoldat csatornák kifolyó végén állnak és biztosítják a tápoldat gyűjtését, szeparálva azt csatornák szerint.

A tartályokban folyadékszint érzékelő mechanika működik, és amint a tartályban összegyűlt tápoldat eléri az érzékelési szintet, a tápoldatot egy szivattyúrendszer a csatornák szintje fölé helyezett felső tartályokba pumpálja (15. ábra). Innen a tápoldat gravitációs elven folyik át a csatornákon a gyűjtőtartályok felé, az átfolyást a csatornák enyhe dőlésszöge biztosítja. A szakaszos tápoldatozásról időkapcsoló berendezés gondoskodik.

A fenti rendszerben a növények gyökérzete a tápoldatban fejlődik, de a gyökérzet a tápoldatban nem szabadon úszik, hanem egy semleges közeg - a mi esetünkben növényenként egy-egy egy kőgyapot kocka - áll a tápoldat csatorna medencéjében, ezt szövö át a gyökérzet,

ez tartja fix helyen a növényeket. A rendszer keresztmetszeti képét mutatja a következő ábra (16. ábra).



16. ábra. A tápoldat csatorna keresztmetszete

A teszt növények 2-4 leveles, tűzdelt palántaként kerültek a kőgyapot kockák felületére. A beültetés 2010-ben március 29-én, 2011-ben március 8-án történt. A teszt növények nevelése mindkét évben kb. 6 hétig tartott, 2010-ben május 6-án, 2011-ben április 14-én bontottam a kísérletet.

Összesen tehát 9 db tápoldat csatorna működött egy időben a rendszerben, ez azt jelenti, hogy egy kísérleti ciklusban legfeljebb 8 különböző tápoldat arzén dózist és a kontroll kezelést lehet beállítani.

4.8. A hidrokultúrárs fejes saláta kísérlet kezelése, mintavételezés

A hidrokultúrárs fejes saláta kísérletben 2010-ben 5 különböző tápoldat As-dózist alkalmaztunk: 25, 50, 75, 100, 200 $\mu\text{g/l}$. A lefedett koncentráció skálával modellezni lehet a dél-magyarországi viszonyok között geológiai okokból megjelenő felszín alatti víz As-koncentrációt, eljutva egészen az öntözővizekben engedélyezett 200 $\mu\text{g/l}$ -es határértékig.

2011-ben már 8 különböző tápoldat arzén koncentrációt alkalmaztunk, megismételve a 2010-es dózisokat: 25, 50, 75, 100, 200 $\mu\text{g/l}$, és kibővítve ezt három nagyobb töménységgel, 400, 600 és 800 $\mu\text{g/l}$ -es arzén koncentrációkkal. Elképzelésünk szerint a nagyobb dózisokkal lehetővé válik az arzén akkumuláció vizsgálata mellett az elem toxikus hatásának vizsgálata is.

A kontroll vizsgálatok megvalósítása érdekében mindkét évben neveltünk fejes salátát arzénmentes, standard tápoldattal is.

2010-ben az 5 dózissal és a kontroll kezeléssel összesen 6 db, 2011-ben a nyolc dózissal és a kontroll kezeléssel összesen 9 db tápoldat csatornát használtunk fel. Egy csatornán 16 fej saláta fejlődött, így 4 db, véletlenszerű elrendezés alapján kiemelt növény tekinthető az adott kezelés egy ismétlésének.

A felhasznált, arzénnel kezelt tápoldatot a keringető rendszer gyűjtőtartályaiban állítottuk elő standard tápoldat és 0,25 g/l-es töménységű arzén törzsoldat felhasználásával. A törzsoldatot a 4.1.2. pontban leírt törzsoldat kétszeres hígításával készítettem el, laboratóriumi körülmények között, ionmentes vízzel hígítva. A keringető rendszerben 25 liter tápoldat mozog csatornánként, tehát erre a térfogatra kellett számítani a kiadandó törzsoldat mennyiségeket. A recept szerint 2,5; 5; 7,5; 10; 20; 40; 60; 80 ml törzsoldatot adtam a 25 liternyi tápoldatokhoz.

A tápoldat a felhasználás során töményedik a transzspiráció hatására, ezért az oldatokat hetente egyszer lecseréltük, két cserélés között pedig a hiányzó tápoldat mennyiségeket napról napra pótoltuk, 0,025 g/l-es arzén törzsoldat felhasználásával, 1, 2, 3, 4, 8, 16, 24, 32 ml-t adva az egyes dózisok szerint a tápoldathoz literenként. Átlagosan napi 3-5 liter tápoldatot kellett pótolni csatornánként.

A kísérlethez szükséges standard tápoldatot a Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézet biztosította. A recept szerint az oldatot Ferticare IV. műtrágyakomplex felhasználásával állították elő, 50 gramm komplexet oldva 100 liter vízben (0,05%-os oldat), kiegészítve 4g/100 l Bentley IX. mikroelem műtrágyával. A tápoldat NPK aránya 6:14:30%. A pH 5,5-5,8 között, az EC 1,8-2,0 mS/cm körül alakult, a pH-t foszforsavval tartottuk egyensúlyban. A tápoldatok dózisoknak megfelelő arzén töménységét mindkét tenyésztésben 2-2 alkalommal ICP-AES nagyműszeres laboratóriumi vizsgálattal ellenőriztem. A tápoldat hatására a saláta egyenletesen fejlődött, jól fejesedett, hiánytünetek nem jelentek meg.

A mintavételezési terv szerint a hidrokultúrás fejes saláta kísérletben is csak vegetatív növényi részeket mintáztam és csak egy alkalommal, a fejes saláta technológiai érettségének időszakában (a fejesedés befejezésekor), a kísérlet bontásakor. A bontást 2010-ben május 6-án, 2011-ben április 14-én végeztem.

A mintavételezéskor a saláta növényeket a rögzítő kőgyapot kockával együtt kiemeltem a tápcsatornából, a fejeket levágtam a kockáról, majd a kockát óvatosan félbe szakítottam, így lehetségessé vált a gyökérzet mintázása. A fejek tömegét mintázás előtt lemértem, majd a fejeket szétbontva a salátafej középső leveleiből 100-200 grammnyi levélmintát vettünk, papírzacskóba helyeztük, felcímkéztük és a kisméretű tároló üvegbe gyűjtött gyökérmintákkal együtt a laboratóriumba vittük.

A 17. ábra a hidrokultúrárs saláta kísérlet mintázását mutatja be.



17. ábra. A hidrokultúrárs saláta mintázása

A laboratóriumi analízis során meghatároztam a levélminták légszárazanyag-tartalmát, és mindkét mintatípus szárazanyagának összes arzéntartalmát a 4.11. fejezet szerint.

4.9. Az alkalmazott növényvédelmi kezelések

A teszt növények növényvédelme során a szabadföldi kísérleteknél fungicides, a hidrokultúrák kísérleteknél inszekticid kezeléseket alkalmaztunk.

A szabadföldön nevelt paradicsomot mindkét évben - a kiültetés után 2 héttel - Thiovit Jet permetlével kezeltük, 30g/10liter töménységben, majd virágzás kezdetén Amistar kezelést alkalmaztunk. Az Amistar alkalmazott koncentrációja 10 ml/10 liter permetlé.

A kiültetés után alkalmazott kontakt hatású kén hatóanyag (Thiovit Jet) és a később felhasznált felszívódó hatású azoxistrobin hatóanyag (Amistar) biztosította a szabadföldi paradicsom gombabetegségeinek megelőzését. A növények optimális fejlődését akadályozó, vagy a termésmennyiséget befolyásoló betegség vagy kártétel a kísérleti területen egyik tenyészévben sem jelent meg.

A szabadföldön nevelt fejes salátát kontakt hatású szerrel, kén hatóanyagot tartalmazó Thiovit Jet-el permeteztük a kiültetést követő 5-7 napon belül, 20g/10liter töménységben. Előbbi kezelés az egész nevelési időszakra elegendő védelmet biztosított, a növények fejlődését akadályozó kórokozó vagy kártevő nem jelent meg a kísérlet során.

A hidrokultúrák fejes saláta esetében elsősorban üvegházi kártevők (levéltetvek, molytetű, stb.) kártételére lehetett számítani a termesztés során, mert a talaj nélküli termesztési technológiában a gombás megbetegedések megjelenése a felhasznált eszközök fertőtlenítésével eredményesen megelőzhető. A kártevők megjelenésének megelőzése érdekében Actara 25 WG kezelést alkalmaztunk, a szert a tápoldathoz kevertük 15g/100 l töménységben. A kezelést mindkét tenyészévben 2-2 alkalommal végeztük el, kb. 2 hét különbséggel. A szer tiometoxam hatóanyaga megfelelő védelmet biztosított a nevelés teljes ideje alatt. Az optimális fejlődést megzavaró, a fejesedést vagy a fejméretet befolyásoló betegség vagy kártétel a fejes saláta hidrokultúrák termesztésében sem történt.

4.10. A talajminta-vételezés módszere, mintavizsgálati módszerek

A szabadföldi kísérletek megkezdése előtt, 2011. március első hetében, és a kísérleteket követő időszakban (2012. februárban és 2013. márciusban) talajmintát vettünk a vizsgálatokban érintett konténerekből. Az első mintavétel célja, hogy részletes képet kapjunk az edények talajának fizikai és kémiai paramétereiről, megismerjük a talaj tápelem-szolgáltató képességét és arzén tartalmát. A 2011-ben mért arzén koncentrációt kiinduló értéknek tekinthetjük. A további két alkalommal vett talajminták vizsgálata kimutatja a talaj felső

rétegében történő arzénkoncentráció változást az egyes tenyészekben felhasznált öntözővíz hatására.

A talajvizsgálatok célja volt továbbá, hogy megvizsgálhassuk az egyes konténerek talajának homogenitását, melyre a konténerek feltöltésekor törekedtünk.

A mintavétel módszere átlagminta vétel, mely átlagmintákat pontmintavevő talajfúróval vett pontminták keverékéből képeztem. A mintavétel mélysége 0-30 cm. A módszer megegyezik a szakirodalomban leírt átlagminta vételi módszerrel (BUZÁS, 1993). Mindhárom alkalommal mintáztam a kontroll edényeket (2 db), a két különböző öntözési mód, 5-5 arzén dózisának helyet adó, dózisonként 2 db konténert, tehát összesen 22 db konténert. A pontmintákat az ismétlések helyéül szolgáló 2-2 konténerből átlagmintává egyesítettem, így összesen 11 db átlagmintát vizsgált a laboratórium mindhárom alkalommal.

A talajvizsgálat az induló évben, vagyis 2011-ben a klasszikus talajvizsgálati nevezéktan szerinti „bővített körű”-TVG vizsgálat volt, amelybe a következő vizsgálati paraméterek tartoznak: $pH_{(KCl)}$: 1:2,5 arányú, 1 mol/dm³ töménységű kálium-kloridos szuszpenzióban; Arany-féle kötöttség (K_A); vízdoldható összes-sótartalom; szénsavas mész- és humusztartalom. Laboratóriumunk a szénsavas mésztartalmat – szabvány szerint- Scheibler-féle kalciméterrel, a humuszt Tyurin módszerrel határozza meg. A nevezett vizsgálat tartalmazza még a tápelemek közül az AL-oldható foszfor- és káliumtartalmat P_2O_5 -ban és K_2O -ban kifejezve, az AL-oldható Na-tartalmat, az EDTA- Na_2 -oldható Fe-, Mn-, Cu-, Zn-tartalmat, a KCl-oldható nitrit-nitrát- nitrogén, magnézium- és szulfát-tartalmat (BUZÁS, 1983).

A fenti vizsgálati paramétereket egészítettük ki a HNO_3/H_2O_2 oldható, összes arzéntartalom vizsgálatával 2011-ben, illetve ezt a feltárási módszert alkalmaztuk a 2012-ben és 2013-ban vett talajminták esetében is az összes arzéntartalom meghatározása céljából. A talajroncsolmányok arzéntartalmának meghatározása ICP-AES technikával történt. A három alkalommal szedett talajminták vizsgálati eredményei a mellékletgyűjtemény 1. számú mellékletében láthatók.

A talajvizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a konténerek talaja homogénnek nevezhető és így, az egyes arzén kezelések hatását azonos talajtulajdonságok között tudtuk vizsgálni. A konténerek talajának kiinduló összes arzéntartalma átlagosan 2,52 mg/kg, mely érték PAIS (1980) szerint Magyarországon átlagosnak tekinthető és HORVÁTH et al. (1983) szerint nem lépi túl a talaj higiénias szempontból megengedhető arzén-tartalmát. Előbbi szakirodalmi adatokat kiegészítve saját tapasztalataimmal, laboratóriumunk 2008-óta kb. 2700 db, a dél-alföldi régióba tartozó szántóterület felső 30 cm-es, művelt rétegében mérte

az összes arzéntartalmat, a mérések átlagos értéke 2,90 mg/kg összes-As, vagyis a Bemutatókert konténereiben mért érték a régióban is átlagosnak tekinthető.

A fenti talajvizsgálatokat és a következő alfejezetben szereplő növényvizsgálatokat a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában végeztem kollégáimmal együttműködve. Laboratóriumunk a vizsgálatokat szabvány szerint, akkreditáltan végzi. A dolgozatban érintett vizsgálatok szabványjegyzékét a mellékletgyűjtemény 2. számú melléklete tartalmazza.

4.11. A növényminták légszárazanyag-tartalmának meghatározása, a minták feltárása, az elemanalízis módszere

A paradicsom termésminták és a saláta fejek tömegét – az egyes ismétlések szerint - a mintavétel helyszínén, a Bemutatókert előkészítő helyiségében és az üvegházban gramm pontosságú mérlegen mértem.

A növényminták laboratóriumi fogadását követően a paradicsom bogyóminták esetében a bogyókat csapvízzel mostam, a 0,3-1,0 kg össztömegű mintákból a bogyókat negyedelve, minden bogyót mintázva, 100-200 g eredeti nedvességtartalmú, reprezentatív mintát képeztem, és Petri-csészében előkészítettem a légszárazanyag-tartalom meghatározásra. A salátalevél mintákat (100-200g) már a mintázás helyszínén kivettem az egész salátafejeből, a laboratóriumban a leveleket csapvízzel óvatosan lemostam, és eredeti nedvességtartalmú állapotban, papírzacskóba helyezve előkészítettem a légszárazanyag-tartalom meghatározásra.

A légszárazanyag-tartalom meghatározása során mértem a bemért nedves tömeget (m), a nedves minta+papírzacskó/Petri-csésze tömeget (e), és a légszáraz minta+papírzacskó tömeget (sz). A nedves mintát szárító-szekrényben, 70 °C-on súlyállandóságig szárítva, majd a mintatároló szobában szobahőmérsékletűre hűtve alakítottuk ki a légszáraz mintát. A légszárazanyag-tartalmat a következő képlettel határoztuk meg:

$$\text{Légszárazanyag-tartalom(\%)} = 100 - (e - sz) \frac{100}{m}.$$

Fentiek alapján tehát, a paradicsom bogyó-, és a saláta levélminták esetén határoztam meg a légszárazanyag-tartalmat. Előbbiek jelentősége abban rejlik, hogy bár a laboratórium az egyes növényi részek arzén koncentrációját légszáraz anyagra vonatkoztatva határozza meg, a fogyasztásra szánt növényi részek arzén koncentrációját eredeti nedvesség-tartalmú állapotban kifejezve is közölni kell, hiszen a hatályos jogszabályban (17/1999. (VI.16) EüM

rendelet) a nyers zöldségfélék megengedhető arzén határértékét (0,200 mg/kg) is eredeti nedvesség-tartalmú állapotra vonatkoztatva közlik.

A fentiekén túl a laboratóriumba érkezett paradicsom levél és gyökér, valamint saláta gyökér mintákat is szárítószekrényben, szintén 70 °C-on légszárzra szárítottuk.

A légszárz mintákat laboratóriumi darálóval homogenizáltuk. A feltárás a légszárz, homogenizált mintákból történt mikrohullámú roncsolóval, tömény salétromsav és hidrogén-peroxid jelenlétében. A készülék nagynyomású roncsoló teflonbombáiban 40-60 bar nyomás mellett, 210 °C-on 20 percig történt a feltárás. A feltárást követően, a megfelelő hígítási arányt nagy tisztaságú, ionmentes vízzel állítottuk be, majd a mintákat kvantitatív szűrőpapíron keresztül szűrtük „A” jelű mérőlombikokba. Az alkalmazott nedves feltárási módszer az MSZ-08-1783-1:1983 sz. szabvány szerint történt.

A műszeres elemtartalom-vizsgálatot ICP-AES spektrométeren végeztük (HÜVELY, 2005). A meghatározás módszere megfelel a szakirodalomban szereplő módszernek (BUZÁS, 1988) és az MSZ-08-1783-15:1984 sz. szabványban leírtaknak.

Az alkalmazott műszerben a plazma radiális állású, az argon átáramlás 12 l/min, a generátor kicsatolt teljesítménye 1000 W, a vizsgált hullámhossz 193,695 nm. A minta átáramlási sebesség: 1 ml/min. A detektor működési elve: High Dynamic Detection system (HDD). A vizsgálhatóság alsó határa (Limit of Quantification): 0,300 mg/kg arzén a minta légszárz-anyagára vonatkoztatva. A mérés minőségellenőrzése céljából vakmintát és RM-mintát (anyagminta, mely esetünkben wageningeni körvizsgálati minta, a WEPAL-IPE szervezésében) is alkalmaztunk. Az RM minta eredménye az egyes feltárások és vizsgálatok alkalmával $\pm 10\%$ -os eltérésen belül volt a minta világátlag eredményéhez képest.

4.12. A statisztikai elemzés módszere

A dolgozatban szereplő kísérletek eredményeinek statisztikai értékelése SVÁB (1973) varianciaanalízis és regresszióanalízis módszereivel történt. A kísérletek típusa véletlen blokkrendezés egy tényezővel.

Sváb szerint a véletlen blokkrendezés egy tényezővel az egyik legegyszerűbb és igen előnyös kísérleti elrendezés bármilyen témakörű kísérletben, ha a megfigyelési egységek úgy csoportosíthatók, hogy a csoportba minden kezelésből egy megfigyelési egység jusson. Egy ilyen csoport képezi a blokkot, egyben egy ismétlést. A blokkok száma így az ismétlések számával azonos. A blokkon belül a kezeléseket randomizáljuk. A dolgozatomban szereplő vizsgálatokban az egyetlen tényező az öntözővíz vagy a tápoldat egyre növekvő arzén

koncentrációja. A blokkokat a növényládákból alkotott 10 ládás sorok jelentik, melyekben soronként megjelenik minden kezelés, randomizált elhelyezésben (11. ábra). Vizsgálataimban a két különböző öntözési módot, két elkülönülő kezelésnek tekintem, a statisztikai értékelés során nem vonom be második tényezőként, mert az eredmények értékelése során elsősorban az arzéndózisok befolyásoló hatását kívánom tisztán kimutatni, nem foglalkozva az öntözési mód kölcsönhatást gyakorló tényezőjével. Az eredményközlést minden esetben külön diagramon végzem el a két öntözési mód szerint.

A regresszióanalízis módszere kétváltozós lineáris analízis. A független változó a kezelés dózisa, a függő az ismétlések átlaga. Az analízis során kiszámítottam a korrelációs koefficiens (r), majd elvégeztem annak statisztikai próbáját.

Dolgozatomban eredményközléskor feltüntettem a kezelésenkénti ismétlésátlagokat, és a hozzájuk tartozó szignifikáns differenciát; ill. megadtam a korrelációs koefficiens és a kritikus r érték P szintjét, tehát hogy mekkora tévedési valószínűség mellett bizonyítható a változók összefüggése.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

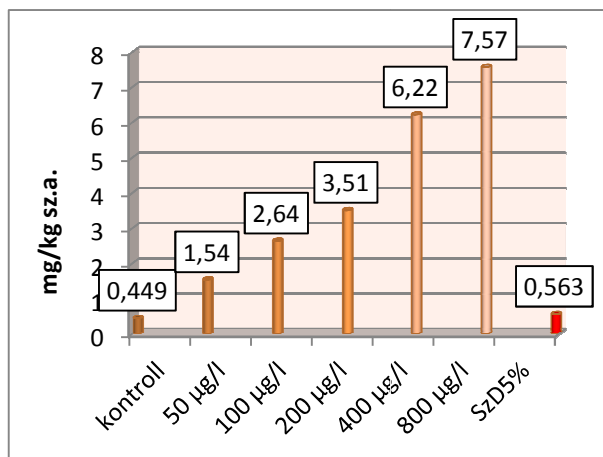
5.1. A szabadföldi paradicsom kísérlet eredményei

A teszt növények eredményeinek közlésekor elsőként bemutatom a vegetatív növényi részek arzéntartalmát, a gyökér és a levél sorrendjében. Az egyes vizsgálati évek eredményein végighaladva, a két elkülönített öntözési típus közül elsőként a csepegtető, majd az esőztető öntözés eredményei következnek. A különböző mintavételi időpontokban gyűjtött minták esetében külön eredményközlő diagramot és statisztikai értékelést közlök.

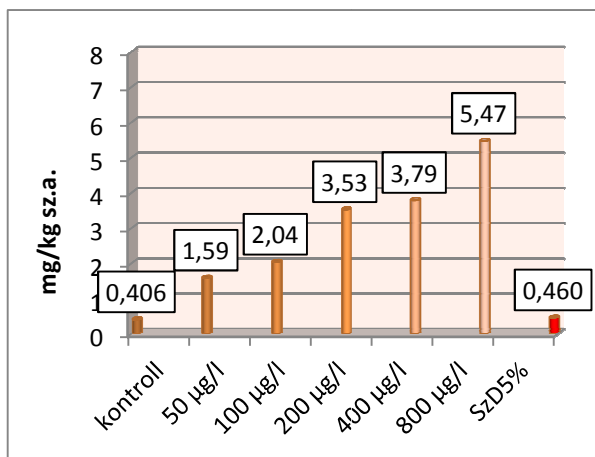
Fentiek után a bogyótermés arzén tartalom eredményei következnek, melyeket a termés szárazanyagára és eredeti nedvességtartalmú állapotára megadva is közlök. Végül a vizsgálatok során mért termésmennyiségeket mutatom be.

5.1.1. A szabadföldi kísérletben termelt paradicsom gyökerének arzéntartalma

A szabadföldi paradicsom gyökérmintáinak eredményei alapján megállapítható, hogy a kísérletben alkalmazott homoktalajon a teszt növény gyökerének arzéntartalma az egyre növekvő arzéntartalmú öntözővíz hatására egyenletesen emelkedett, 2011-ben az ismétlések eredményeinek átlagában, csepegtető öntözés esetén 7,57 mg/kg; esőztető öntözésnél 5,47 mg/kg legnagyobb értéket ért el. A statisztikai értékelés szerint, a 2011-es vizsgálati év során szignifikáns különbség van valamennyi egymást követő arzéndózis ismétlésátlaga között, kivéve az esőztető öntözés 200 és 400 µg/l-es öntözővíz arzén koncentrációját (21. és 22. ábra).



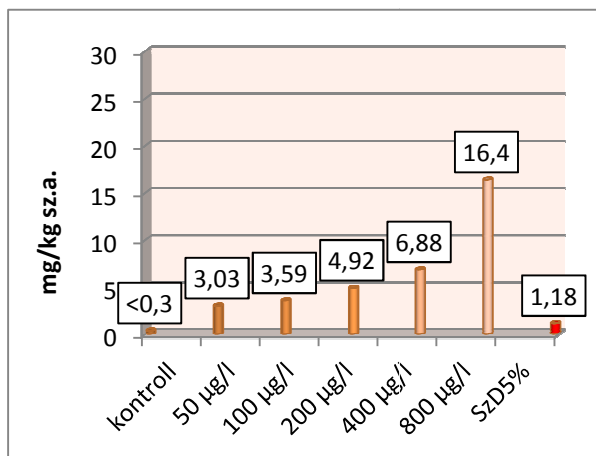
21. ábra. Paradicsom gyökerének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2011. $r=0,950$ / $P=1\%$



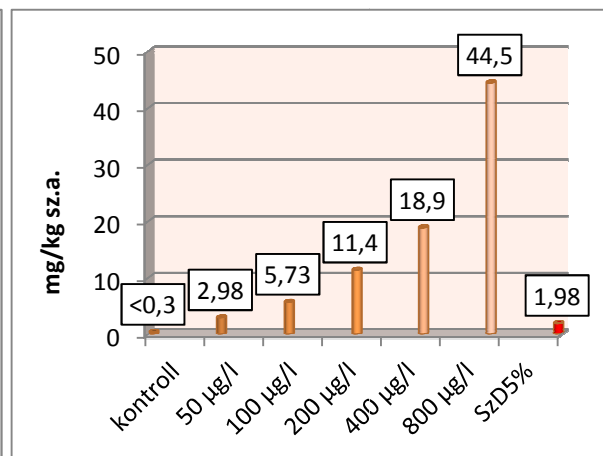
22. ábra. Paradicsom gyökerének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2011. $r=0,930$ / $P=1\%$

A regresszióanalízis erős összefüggést mutat, mindkét öntözési módnál 1 %-os tévedési valószínűség mellett.

A statisztikai értékelés szerint az eredmények között 2012-ben is szignifikáns különbségek vannak. Csepegtető öntözést alkalmazva a kontroll kezelés és valamennyi további kezelés között, és 100 µg/l koncentráció felett az egymást követő dózisok között is igazolt a különbség. Esőztető öntözés mellett 2012-ben valamennyi kezeléskoncentráció eredménye között szignifikáns a különbség (23. és 24. ábra).



23. ábra. Paradicsom gyökerének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2012.
 $r=0,985$ / $P=0,1\%$.



24. ábra. Paradicsom gyökerének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2012.
 $r=0,996$ / $P=0,1\%$.

A regresszióanalízis 2012-ben erősebb korrelációt mutat, mint 2011-ben, itt $P=0,1\%$, mindkét öntözési mód alkalmazásakor.

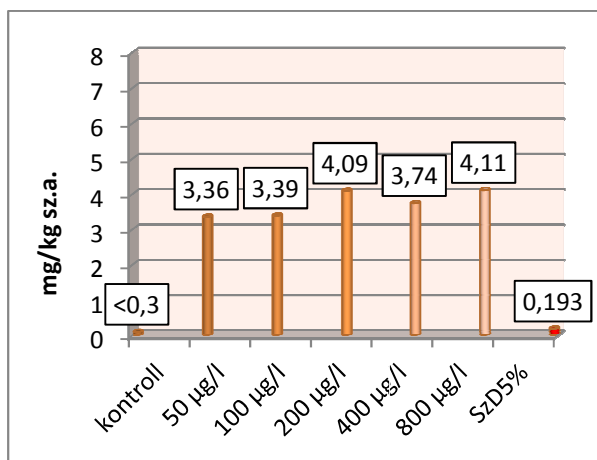
A két kísérleti év eredményeit összevetve megállapítható, hogy a gyökérminták arzén koncentrációja nagyságrendileg hasonló tartományba esett, de az eredmények között vannak ellentmondások. 2012-ben mindkét öntözési mód mellett nagyobb arzénkoncentráció alakult ki, mint 2011-ben, valamint 2011-ben a csepegtető, 2012-ben pedig az esőztető öntözés hatására emelkedett jobban a gyökér arzén koncentrációja. 2011-ben a kontroll kezelés mintáiban is volt kimutatható mennyiségű arzén, melynek oka valószínűleg a kontroll talajban természetes módon jelenlévő, 2-3 mg/kg arzéntartalom.

5.1.2. A szabadföldi kísérletben termelt paradicsom levelének arzéntartalma

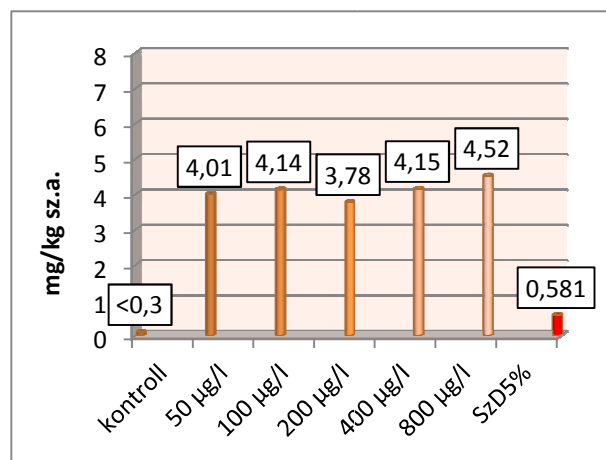
A paradicsom tesztnövény vizsgálata során 2011-ben három, 2012-ben két alkalommal szedtünk levélmintát. A mintázáskor a hajtás felső egyharmadáról gyűjtöttünk kifejlett, de nem idős leveleket. Mivel determinált fajtát vizsgáltunk, melynél a hajtás növekedése

augusztus végére befejeződik, a mintaidőpontok előrehaladtával megközelítőleg ugyanazt a levélhalmazt mintáztuk.

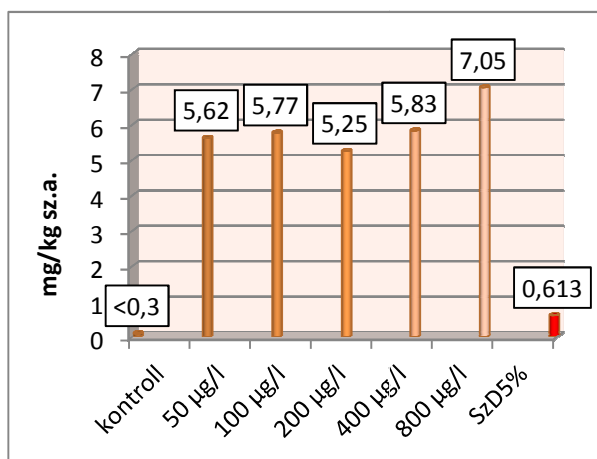
A 2011. évi vizsgálatban, csepegtető öntözés mellett kimutatható a levelek arzéntartalmának növekedése. Az elmozdulás a kontroll és bármely más dózis eredményeit összevetve a legjelentősebb. A szignifikáns különbség a kontroll kezelés és az arzénnel kezelt növények eredményei között áll fenn a varianciaanalízis szerint. Az egyre növekvő arzéndózisok eredményei között csak néhány esetben van szignifikáns különbség, és az is előfordul, hogy a változás a növekvő dózissal szemben éppen fordított, de nem jelentős, csökkenő irányú. A regresszióanalízis egyik mintavételi időpontnál sem mutat szignifikáns összefüggést (25., 26. és 27. ábra).



25. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2011.07.27.
 $r=0,549$ / $P>10\%$ /



26. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2011.08.18.
 $r=0,521$ / $P>10\%$ /

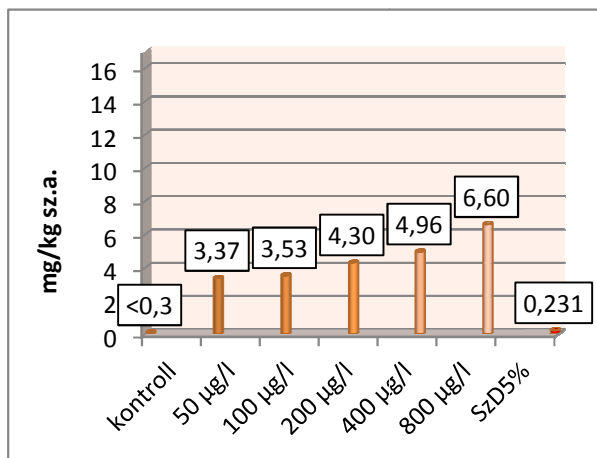


27. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2011.09.01.
 $r=0,606$ / $P>10\%$ /

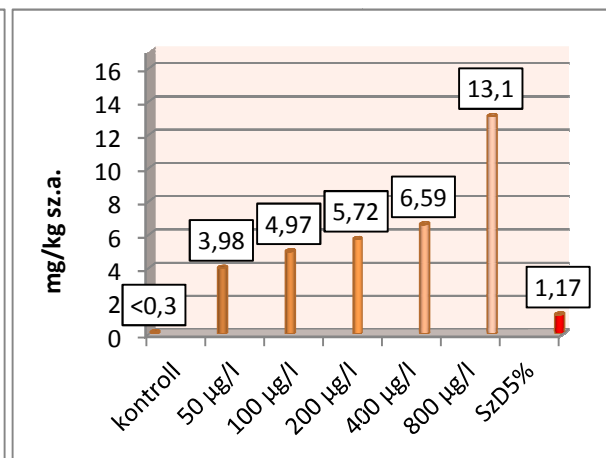
Fenti ábrákon látható, hogy a levelek arzéntartalma a tenyészidő előrehaladtával folyamatosan nőtt, az első és a harmadik mintavételi időpont értékeit összehasonlítva, a növekedés minden

dózis esetében fennáll. Az utolsó alkalommal, szeptember elsején vett levélminták arzén koncentrációja a 800 µg/l-es dózis esetében 70%-al nagyobb, mint a 35 nappal korábban gyűjtött leveleké (4,11 és 7,05 mg/kg).

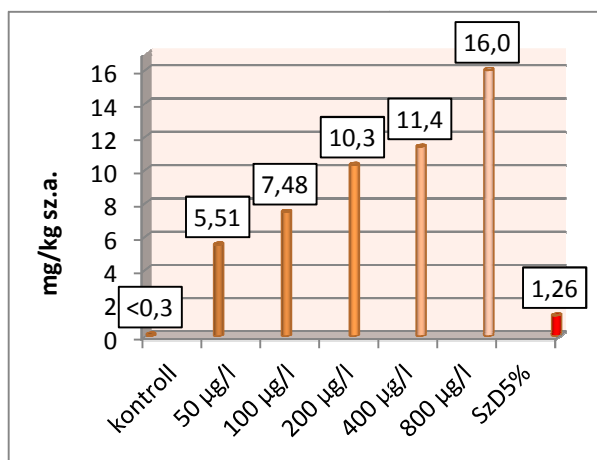
Az esőztető öntözés mellett a levelek arzéntartalmának növekedése egyenletesebb az egyre növekvő öntözővíz arzénkoncentráció hatására (28., 29. és 30. ábra). A statisztikailag igazolt különbség az első és a második mintavétel idején a 100 µg/l-es illetve a 400µg/l-es dózistól felfelé, az utolsó mintavétel idején pedig már – egy kivétellel – az összes egymás követő dózissnál kimutatható a dózisértékek között, valamint a kontroll és a dózisértékek eredményei között is. Az esőztető öntözés mellett is igaz, hogy az időben egymást követő mintavételek során egyenletesen nőtt a levelek arzénkoncentrációja. A növekedés az összes arzén dózis esetében tapasztalható volt mindhárom mintavételi időben.



28. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2011.07.27.
r=0,843 /P=5%/



29. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2011.08.18.
r= 0,947 /P=1%/



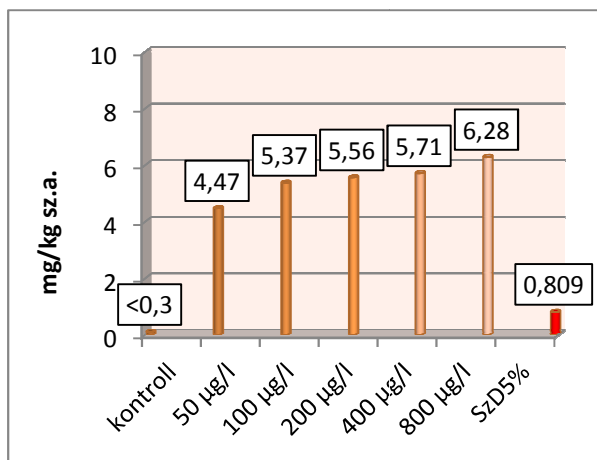
30. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2011.09.01.
r=0,894 /P=2%/

A regresszióanalízis 2011-ben, esőztető öntözést alkalmazva legfeljebb 5%-os tévedési valószínűség mellett, erős korrelációt mutat mindhárom mintavételi időpontban..

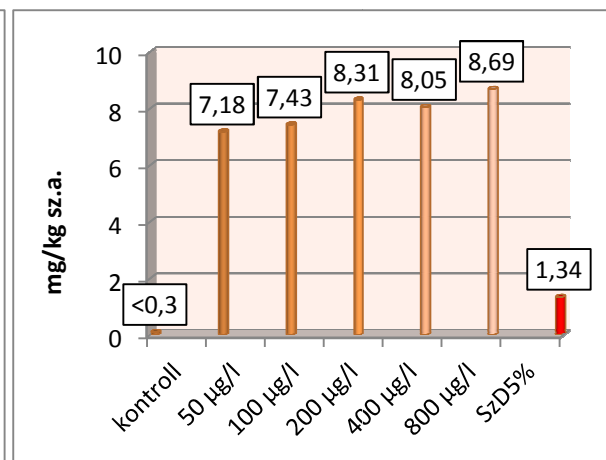
A legnagyobb arzénkoncentráció a levélben, esőztető öntözés hatására 16,0 mg/kg sz. a. volt 2011-ben.

2012-ben, csepegtető öntözést alkalmazva szintén növekedett a levelek arzén koncentrációja az arzénes öntözővíz hatására (31. és 32. ábra). Az első mintavétel idején (08.01.) a szignifikáns különbség a kontroll, az első és a második dózis, valamint a két legnagyobb dózis eredményei között áll fenn a varianciaanalízis szerint. A második mintavételkor (08.08.) már kiegyenlítettebb koncentrációkat tapasztaltam. Igazolt különbség csak a kontroll és az első dózis, valamint az első és a legnagyobb dózis eredményei között mutatható ki.

A második időpontban végzett mintavételkor (08.08.) ebben az évben is tapasztaltam As-tartalom növekedést a megelőző mintavétel (08.01.) eredményeihez viszonyítva. A növekedés rátája főként a kisebb dózisoknál jelentős, pl. az 50µg/l-es öntözővíz As-koncentráció esetében 62%-os (4,47 és 7,18 mg/kg) mindössze egy hét alatt.



31. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2012.08.01.
r=0,608 /P>10%/



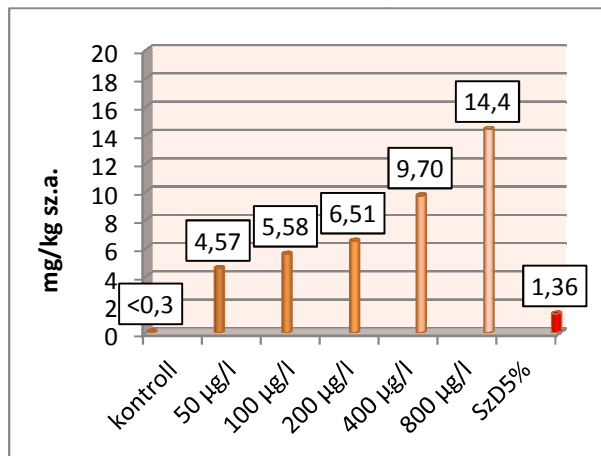
32. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2012.08.08.
r=0,546 /P>10%/

A lineáris regresszió a csepegtető öntözés eredményeit vizsgálva nem mutat igazolt összefüggést, ennek oka, hogy a görbe nem lineáris, hanem un. telítődési görbe.

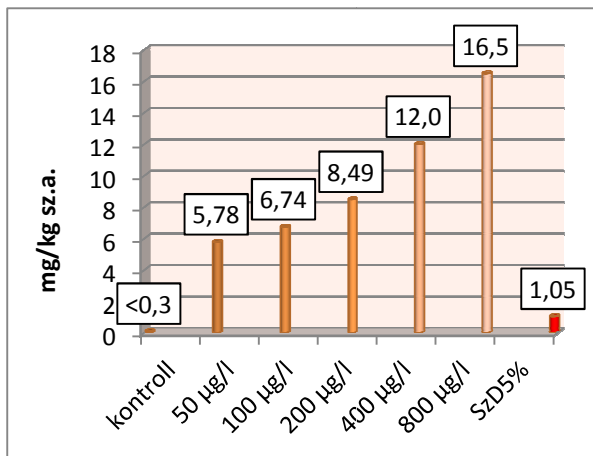
Az esőztető öntözés mellett, 2012-ben is egyenletesebb levél arzéntartalom növekedést tapasztaltam, mint csepegtető öntözés alkalmazásakor (33. és 34. ábra). Statisztikailag igazolt különbség van a 3, ill. 4 legnagyobb, egymást követő dózis eredményei között mindkét mintavételi időpontban (200, 400 és 800 µg/l, ill., 100, 200, 400, 800 µg/l), ill. mindkét időpontban a kontroll és valamennyi kezelt minta ismétlésátlagai között. A legnagyobb

értékek az első mintavételkor 14,4 mg/kg, a másodikonál 16,5 mg/kg As, a levél szárazanyagára vonatkoztatva.

Itt is igaz, hogy a később végzett mintavétel idejére nőtt a levelek arzéntartalma. A növekedés mértéke átlagosan 20-30% közötti.



33. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2012.08.01.
r=0,951 /P=1%/



34. ábra. Paradicsom levelének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2012.08.08.
r=0,931 /P=1%/

A regresszióanalízis mindkét mintavételi időpontban erős korrelációt mutat, 1%-os tévedési valószínűség mellett.

A két vizsgálati év eredményeit összevetve megállapítható, hogy mindkét öntözési típus esetén hasonló tendenciájú változások és hasonló mértékű As-koncentrációk alakultak ki a tesztnövény levelében.

Csepegtető öntözés esetén 2011-ben 4,11; 4,52; 7,05 mg/kg, 2012-ben 6,28 és 8,69 mg/kg legnagyobb As-koncentráció alakult ki a levelekben, a legnagyobb As-dózis eredményeként. Több esetben igazoltunk szignifikáns különbségeket, de az eredmények inkább kiegyenlítettnek nevezhetők mindkét évben, csepegtető öntözés mellett. A legmarkánsabb különbség a kontroll és a kezelt növények eredményei között mutatkozik.

Esőztető öntözés mellett, ugyancsak a legnagyobb dózis eredményeként 2011-ben 6,60; 13,1; és 16,0 mg/kg, 2012-ben 14,4 és 16,5 mg/kg legmagasabb arzénkoncentrációkat mértünk. A növekedés mindkét évben egyértelműbb, mint csepegtető öntözésnél. A statisztikai értékelés szerint a kezelés befolyásoló hatása erős, a szignifikáns különbségek – kevés kivétellel – minden kezelés eredményei között fennállnak, különösen a tenyésztés végén.

Mindkét évben látható, hogy esőztető öntözés mellett nagyobb arzén koncentrációk alakulnak ki a paradicsom levelében, mint csepegtető öntözést alkalmazva. Az eltérés átlagosan kétszeres arzén koncentrációt jelent az esőztető öntözés javára.

Mindkét évben, mindkét öntözési típusnál látható, hogy a kezelési időszak előrehaladtával nő a levelek arzénkoncentrációja.

5.1.3. A szabadföldi kísérletben termett paradicsom bogyótermésének arzéntartalma

A paradicsom tesztnövény vizsgálata során mindkét tenyészévben három egymást követő alkalommal szedtünk termésmintát. A kezelésenkénti négy ismétlés mintáinak analitikai vizsgálatokor azt tapasztaltuk, hogy a termésben (a teljes bogyó szárazanyagában) már igen alacsony arzénkoncentrációk alakulnak ki. Ez az érték sok esetben a mérőműszer (ICP-AES) biztonságos vizsgálhatósági határa (Limit of Quantification=LOQ) alá esett, ez azonban nem akadályozta meg a célkitűzésünkben szereplő, élelmiszerbiztonsági szempontból kielégítő vizsgálat elvégzését, mert a műszer LOQ határa (0,020-0,029 mg/kg As, eredeti nedvességtartalmú mintára vonatkoztatva) kisebb, mint a szabványban szereplő élelmiszer határérték (0,200 mg/kg eredeti nedv. tart.).

Az eredmények közlésekor és a statisztikai vizsgálat elvégzésénél figyelembe kell venni a fentieket. A következő négy táblázat közül kettőben (7. és 9. táblázat, 2011. és 2012. év) a bogyótermésben mért, szárazanyagra vonatkoztatott As-koncentrációt közlöm, valamennyi kezelés összes ismétlésének eredményét és azok átlagát megadva. A táblázatokból látható, hogy kezelésenként 0-3 db ismétlés esetében jelenik meg LOQ feletti As-koncentráció a termésben.

A bogyótermések feldolgozása előtt lemértük a minták szárazanyag-tartalmát. Az értékek 7,5-9,7 tömegszázalék tartományba estek. Az adatok felhasználásával lehetővé válik a 7. és 9. táblázat eredményeinek mg/kg As, eredeti nedvességtartalmú bogyóra vonatkoztatott értékre történő átszámítása. A kapott értékeket a 8. és 10. táblázatban közlöm. Ahol a szárazanyagban mért arzén érték LOQ (0,300 mg/kg sz.a.) feletti volt, ott az ismétlés bogyóinak egyedi nedvességtartalmával, ahol alatti, ott az adott mintavételi időpontra jellemző átlagos nedvességtartalommal korrigáltam.

7. táblázat. A paradicsom bogyótermés szárazanyagának As-koncentrációja, 2011. 07.27-09.01. között, mg/kg sz.a.

As konc.	Önt.	Mintavétel ideje												Átlag	Korr. koeff.
		2011.07.27				2011.08.18				2011.09.01					
		I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.		
Kontroll	Csep.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<k.h.	r=-0,05 /P>10%/
50 µg/l	Csep.	0,598	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,598	<0,300	<0,300	<0,300	0,598	
100 µg/l	Csep.	<0,300	0,357	<0,300	<0,300	0,317	<0,300	<0,300	<0,300	0,317	<0,300	<0,300	<0,300	0,330	
200 µg/l	Csep.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,572	<0,300	<0,300	<0,300	0,572	<0,300	<0,300	<0,300	0,572	
400 µg/l	Csep.	<0,300	0,375	0,347	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,361	
800 µg/l	Csep.	<0,300	<0,300	<0,300	0,411	0,398	<0,300	0,465	<0,300	0,398	<0,300	<0,300	0,425	0,419	
Kontroll	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<k.h.	r=-0,771 /P=10%/
50 µg/l	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<k.h.	
100 µg/l	Eső.	0,327	<0,300	<0,300	<0,300	0,435	<0,300	<0,300	<0,300	0,381	<0,300	<0,300	<0,300	0,381	
200 µg/l	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,537	<0,300	<0,300	<0,300	0,537	<0,300	0,453	<0,300	0,509	
400 µg/l	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,425	<0,300	0,477	<0,300	<0,300	0,559	0,547	0,502	
800 µg/l	Eső.	<0,300	<0,300	0,355	0,392	0,332	<0,300	0,499	0,554	<0,300	0,652	<0,300	0,831	0,516	

Csep.= csepegtető öntözés; Eső.= esőztető öntözés

8. táblázat. A szedéskori, eredeti nedvességtartalmú paradicsom bogyótermésének As-koncentrációja, 2011. 07.27-09.01. között, mg/kg

As konc.	Önt.	Mintavétel ideje												Átlag	Korr. koeff.
		2011.07.27				2011.08.18				2011.09.01					
		I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.		
Kontroll	Csep.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	<k.h.	r=0,191 /P>10%/
50 µg/l	Csep.	0,045	<0,023	<0,023	<0,023	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	0,057	<0,029	<0,029	<0,029	0,051	
100 µg/l	Csep.	<0,023	0,027	<0,023	<0,023	0,026	<0,024	<0,024	<0,024	0,031	<0,029	<0,029	<0,029	0,028	
200 µg/l	Csep.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	0,047	<0,024	<0,024	<0,024	0,055	<0,029	<0,029	<0,029	0,051	
400 µg/l	Csep.	<0,023	0,029	0,027	<0,023	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	0,028	
800 µg/l	Csep.	<0,023	<0,023	<0,023	0,032	0,033	<0,024	0,037	<0,024	0,038	<0,029	<0,029	0,041	0,036	
Kontroll	Eső.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	<k.h.	r=0,674 /P>10%/
50 µg/l	Eső.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	<k.h.	
100 µg/l	Eső.	0,025	<0,023	<0,023	<0,023	0,035	<0,024	<0,024	<0,024	0,037	<0,029	<0,029	<0,029	0,032	
200 µg/l	Eső.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	0,044	<0,024	<0,024	<0,024	0,051	<0,029	0,043	<0,029	0,046	
400 µg/l	Eső.	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,024	0,034	<0,024	0,039	<0,029	<0,029	0,053	0,052	0,045	
800 µg/l	Eső.	<0,023	<0,023	0,027	0,030	0,027	<0,024	0,040	0,045	<0,029	0,061	<0,029	0,080	0,044	

Csep.= csepegtető öntözés; Eső.= esőztető öntözés

A statisztikai értékelést a 7. és 8. táblázat eredményei között regresszióanalízissel végeztem el, mivel az ismétléseredmények hiányossága miatt a varianciaanalízis nem számolható. Az értékelés alapján látható, hogy az alacsony termés arzénkoncentrációk értéke között gyenge korreláció van, az összefüggés a szárazanyagra és az eredeti

nedvességtartalomra vonatkoztatva is az esőztető öntözés mellett erősebb, mint csepegtető öntözésnél, tehát az arzén kontakt hatása itt is megjelenik.

A bogyó szárazanyagában, 2011-ben 0,831 mg/kg volt a legnagyobb As-koncentráció, az esőztető öntözés 800 µg/l-es dózisának IV. ismétlésében (7. táblázat). Megállapítható tehát, hogy a bogyótermésben a legnagyobb As-koncentráció a legnagyobb dózis és a legkésőbbi mintavételezéskor alakult ki. A 8. táblázat eredményei szerint a szedéskori, eredeti nedvességtartalmú bogyóban az As-koncentráció 0,025-0,080 mg/kg között alakul, ez a hatályos jogszabályban (17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet) engedélyezett határérték 12,5-40%-a. A „kisebb, mint” relációs jel után szereplő biztonságosan vizsgálható legkisebb érték (LOQ) itt nem egyezik meg az egyes mintavételi időpontokban (0,023; 0,024 és 0,029 mg/kg), mert a bogyóminták átlagos nedvességtartalma a mintavételi időszakok között változott.

A bogyó szárazanyagában 2012-ben 0,755 mg/kg legmagasabb arzénkoncentrációt mértem, szintén az esőztető öntözés legnagyobb, 800µg/l-es dózisénaál, a II. ismétlésben (9. táblázat). A bogyótermés legnagyobb As-koncentrációja itt is a legnagyobb As-adagnál, a legutolsó időpontban végzett mintavételekor jelentkezett.

9. táblázat. A paradicsom bogyótermés szárazanyagának As-koncentrációja, 2012. 08.01-08.23. között, mg/kg sz.a.

As konc.	Önt.	Mintavétel ideje												Át-lag	Korr. koeff.
		2012.08.01				2012.08.08				2012.08.23					
		I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.		
Kontroll	Csep.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<k.h.	r=0,772 /P=10%/
50 µg/l	Csep.	<0,300	<0,300	0,325	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,325		
100 µg/l	Csep.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,322	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,322		
200 µg/l	Csep.	0,509	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,362	<0,300	<0,300	<0,300	0,436		
400 µg/l	Csep.	<0,300	<0,300	<0,300	0,388	<0,300	0,392	<0,300	<0,300	0,437	<0,300	<0,300	0,383	0,400	
800 µg/l	Csep.	<0,300	<0,300	0,371	<0,300	<0,300	<0,300	0,425	<0,300	<0,300	0,462	0,486	0,436		
Kontroll	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<k.h.	r=0,853 /P=5%/
50 µg/l	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,403	<0,300	<0,300	0,352	<0,300	0,468	<0,300	<0,300	0,408	
100 µg/l	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	0,344	<0,300	0,433	<0,300	0,335	<0,300	<0,300	<0,300	0,347	0,365	
200 µg/l	Eső.	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	<0,300	0,357	<0,300	0,393	<0,300	<0,300	0,375	
400 µg/l	Eső.	0,422	<0,300	<0,300	<0,300	0,300	<0,300	0,346	<0,300	<0,300	0,427	<0,300	0,411	0,381	
800 µg/l	Eső.	<0,300	0,432	0,562	<0,300	<0,300	0,388	<0,300	0,435	0,495	0,755	0,531	<0,300	0,514	

Csep.= csepegtető öntözés; Eső.= esőztető öntözés

10. táblázat. A szedéskori, eredeti nedvességtartalmú paradicsom bogyótermésének As-koncentrációja, 2012. 08.01-08.23. között, mg/kg

As konc.	Önt.	Mintavétel ideje												Át-lag	Korr. koeff.
		2012.08.01				2012.08.08				2012.08.23					
		I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.		
Kontroll	Csep.	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<k.h.	r=0,762 /P=10%/
50 µg/l	Csep.	<0,020	<0,020	0,022	<0,020	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	0,022	
100 µg/l	Csep.	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,022	0,023	<0,022	<0,022	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	0,023	
200 µg/l	Csep.	0,034	<0,020	<0,020	<0,020	<0,022	<0,022	<0,022	0,027	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	0,031	
400 µg/l	Csep.	<0,020	<0,020	<0,020	0,026	<0,022	0,029	<0,022	<0,022	0,035	<0,024	<0,024	0,027	0,029	
800 µg/l	Csep.	<0,020	<0,020	0,025	<0,020	<0,022	<0,022	<0,022	0,033	<0,024	<0,024	0,033	0,039	0,033	
Kontroll	Eső.	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<k.h.	r=0,625 /P>10%/
50 µg/l	Eső.	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	0,030	<0,022	<0,022	0,026	<0,024	0,039	<0,024	<0,024	0,032	
100 µg/l	Eső.	<0,020	<0,020	<0,020	0,023	<0,022	0,035	<0,022	0,025	<0,024	<0,024	<0,024	0,029	0,028	
200 µg/l	Eső.	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,022	<0,022	<0,022	0,027	<0,024	0,033	<0,024	<0,024	0,030	
400 µg/l	Eső.	0,029	<0,020	<0,020	<0,020	0,023	<0,022	0,027	<0,022	<0,024	0,036	<0,024	0,034	0,030	
800 µg/l	Eső.	<0,020	0,030	0,039	<0,020	<0,022	0,029	<0,022	0,033	0,041	0,065	0,044	<0,024	0,036	

Csep.= csepegtető öntözés; Eső.= esőztető öntözés

A 10. táblázat eredményei alapján látható, hogy a szedéskori, eredeti nedvességtartalmú minta As koncentrációja 0,022-0,065 mg/kg között alakul, ez a fenti jogszabályban szereplő határérték 11,0-32,5%-a.

A statisztikai értékelést a 2012. évi bogyótermés arzéneredményei között szintén regresszióanalízissel végeztem. Látható, hogy a gyökér és a levél arzénkoncentrációihoz hasonló szoros összefüggés itt sem mutatható ki. A szárazanyagra vonatkoztatott eredményeknél ebben az évben is erősebb korreláció van az esőztető öntözés eredményei között, mint a csepegtető öntözés eredményeinél (9. táblázat). Az esőztető öntözés $r=0,853$ értéke már 5%-os tévedési szint mellett szignifikáns összefüggést mutat.

5.1.4. A szabadföldi kísérletben termett paradicsom termésmennyisége

A bogyótermés mintázásakor az egyes ismétlések teljes mintamennyiségét leszedtük, és lemértük a termésmennyiséget (11. táblázat). Az eredmények szerint 2011-ben egyik öntözési mód mellett sem okozott igazolt termésmennyiség változást az arzénnel kezelt öntözővíz. 2012-ben, esőztető öntözés alkalmazása mellett az egyre növekvő arzéndózisok hatására a termésmennyiség szignifikánsan csökkent. Az igazolt különbség a 100 µg/l-es töménységnél jelenik meg a kontroll és a legkisebb dózis eredményéhez viszonyítva. A két nagyobb dózisonál az igazolt eltérés tovább nő. A termésnövekedést ebben a vizsgálatban a regresszióanalízis is igazolja.

11. táblázat. A paradicsom termésmennyisége az arzénnel kezelt öntözővíz hatására 2011-2012.

As konc.	Önt. módja	Ismétlésátlag,	Ismétlésátlag,
		kg:	kg:
		2011	2012
Kontroll	Csep.	1,73	1,92
50 µg/l	Csep.	1,83	2,08
100 µg/l	Csep.	1,79	1,82
200 µg/l	Csep.	1,84	2,15
400 µg/l	Csep.	1,90	2,16
800 µg/l	Csep.	1,70	1,98
	SzD_{5%}:	-	-
Kontroll	Eső.	1,74	2,05
50 µg/l	Eső.	1,85	2,02
100 µg/l	Eső.	1,72	1,69
200 µg/l	Eső.	1,70	1,67
400 µg/l	Eső.	1,65	1,37
800 µg/l	Eső.	1,81	1,15
	SzD_{5%}:	-	0,360
	r=	-	-0,940
			/P=1%/

Csep.= csepegtető öntözés; Eső.= esőztető öntözés

5.2. A szabadföldi fejes saláta kísérlet eredményei

A fejes saláta tesztnövényvel 2011-ben és 2012-ben végeztem el a vizsgálatokat szabadföldi, konténeres körülmények között, ugyanazon a kísérleti helyen, ahol a paradicsomot neveltem. Az egyre növekvő arzéndózisokat a kijuttatott öntözővíz arzén koncentrációjának növelésével biztosítottam.

Az eredményközlést a fejes saláta tesztnövénynél a vegetatív részek arzéntartalmának bemutatásával kezdem. Elsőként a gyökérszet, majd a salátafej leveleinek értékeit ismertetem. A diagramok utolsó oszlopaként, piros színnel kiemelve az $SzD_{5\%}$ értéket tüntettem fel. Szabadföldi vizsgálatban, a saláta esetében is megkülönböztettem a két eltérő öntözési módszert, elsőként minden növényi résznél a *csepegtető* majd az *esőztető* öntözés eredményeit közlöm. A diagramok alatti feliratban látható a regresszióanalízis során számított korrelációs koefficiens (r) és a P (tévedési szint) értéke.

A paradicsom bogyóterméséhez hasonlóan, a saláta esetében is közlöm a nedvességtartalommal korrigált, eredeti nedvességtartalmú, fogyasztásra szánt növényi rész (levél) arzén koncentrációját.

A fejes saláta esetében a saláta fejtömeg eredményeiből következtetek a termésmennyiségre és a termésmennyiségben bekövetkező változásokra.

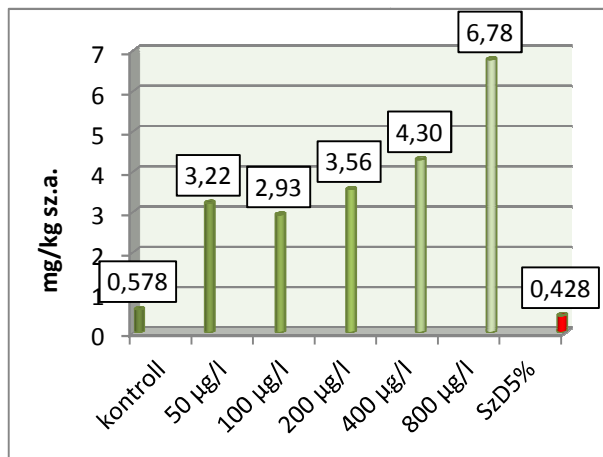
5.2.1. A szabadföldi kísérletben nevelt fejes saláta gyökerének arzéntartalma

A szabadföldi kísérletben nevelt saláta gyökerének arzén koncentrációja a dózisok hatására növekedett 2011-ben (35. és 36. ábra). A varianciaanalízis szerint a kontroll kezeléstől mutatott eltérés minden más dózissal szemben szignifikáns, mindkét öntözési mód esetén. Csepegtető öntözésnél a 100 $\mu\text{g/l}$ -es dózis eredménye az 50 $\mu\text{g/l}$ -hez képest csökken, míg a 200 $\mu\text{g/l}$ koncentrációtól felfelé már az egymást követő kezelések között is igazolt a növekedés. Esőztető öntözésnél a gyökér arzénkoncentráció növekedése egyenletes, a 100 és 200 $\mu\text{g/l}$ -es dózisokat leszámítva a változás az egymást követő dózisok között is szignifikáns különbséget mutat. A két öntözési mód azonos nagyságrendű eredményeket ért el, a legnagyobb érték (6,78 mg/kg) a csepegtető öntözés mellett alakult ki.

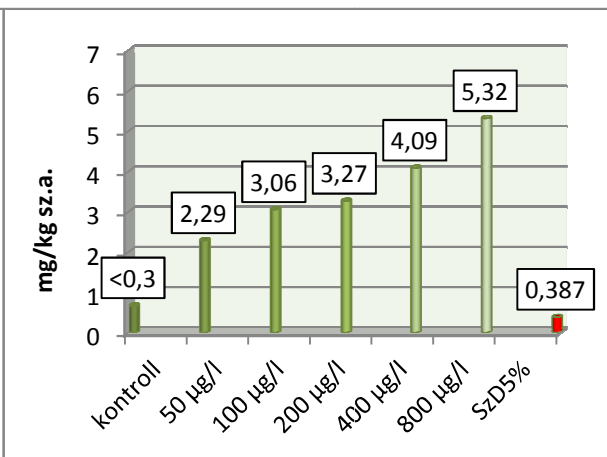
2012-ben hasonló arzénkoncentráció növekedést tapasztaltam, mint a megelőző évben (37. és 38. ábra). Eltérésként meg kell említeni, hogy esőztető öntözés esetén a kontroll kezelés és a legkisebb dózis (50 $\mu\text{g/l}$) eredményei között nincs igazolt növekedés. Mindkét öntözési mód

esetén a 100 µg/l-es öntözővíz koncentráció felett alakul ki az egymást követő dózisok közötti szignifikáns különbség. 2012-ben megfigyelhető, hogy csepegtető öntözés mellett, 400 µg/l dózistól felfelé, átlagosan kétszer nagyobb a gyökér arzén koncentrációja, mint esőztető öntözésnél.

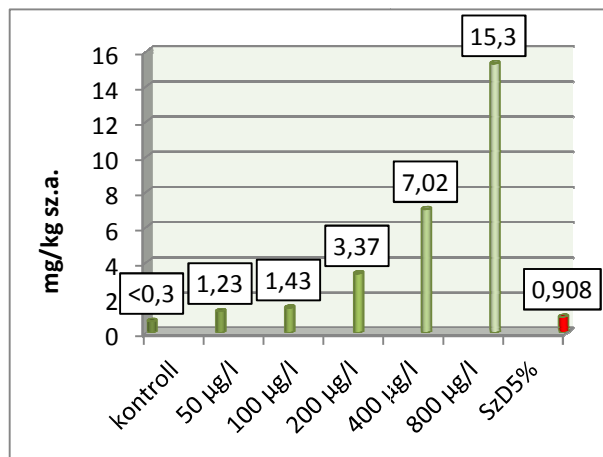
A két év eredményeit összevetve azonos tendenciák tapasztalhatók. A legnagyobb As-koncentráció a legnagyobb arzén dózis (800 µg/l) hatására jelentkezett, mindkét öntözési módnál. Az értékek csepegtető öntözésnél 6,78 és 15,3 mg/kg, esőztető öntözésnél 5,32 és 8,12 mg/kg.



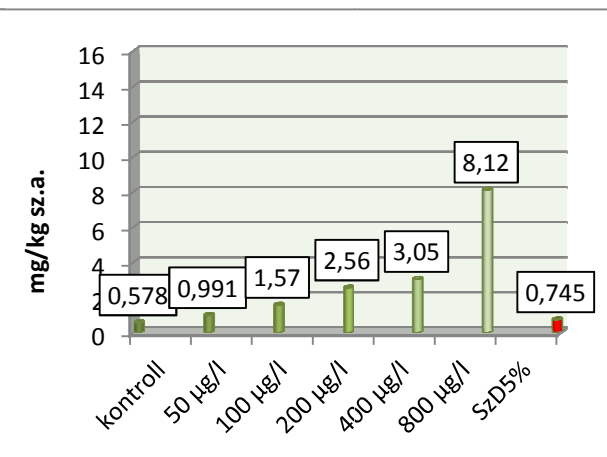
35. ábra. Szabadföldi saláta gyökerének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2011.
r=0,920 /P=1%/



36. ábra. Szabadföldi saláta gyökerének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2011.
r=0,899 /P=2%/



37. ábra. Szabadföldi saláta gyökerének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2012.
r=0,996 /P=0,1%/



38. ábra. Szabadföldi saláta gyökerének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2012.
r=0,982 /P=0,1%/

Megfigyelhető, hogy a saláta gyökerének arzéntartalma mindkét évben nagyobb csepegtető öntözést alkalmazva, mint esőztető öntözés mellett. A megállapítás a 2012. évi 100 µg/l-es dózist leszámítva az összes azonos kezelés esetén igaz. A jelenség magyarázata, hogy csepegtető öntözést alkalmazva nagyobb arzénkoncentráció alakulhatott ki a gyökérszónában, mint esőztető öntözéskor.

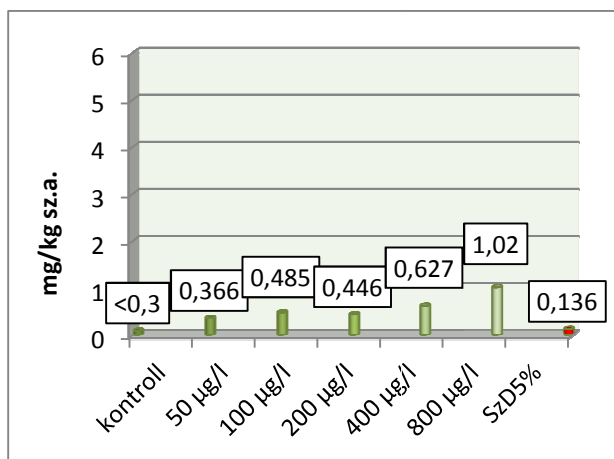
A szignifikáns összefüggéseket a regresszióanalízis is igazolja (35., 36., 37. és 38. ábra). 2011-ben 1 és 2%, 2012-ben mindkét öntözési módnál 0,1% tévedési szinten bizonyítható a szignifikáns összefüggés.

5.2.2. A szabadföldi kísérletben nevelt fejes saláta levelének arzéntartalma

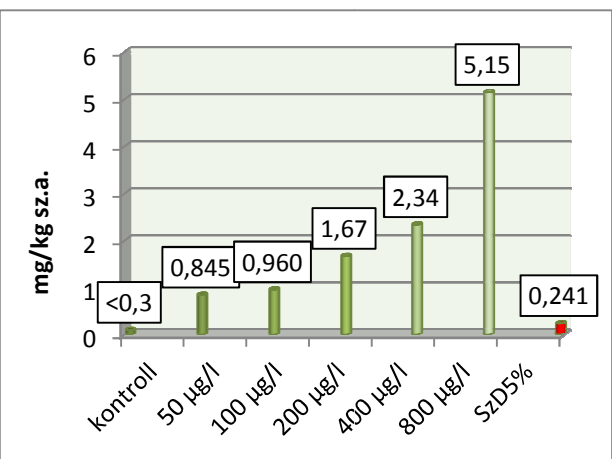
A szabadföldi kísérletben nevelt saláta levelének arzén koncentrációjában az eltérő öntözési módok jelentős különbségeket okoztak.(39. és 40., ill. 41. és 42. ábra).

2011-ben már az első, 50 µg/l-es dózis hatására mérhető levél As-koncentrációt tapasztaltam (0,366 mg/kg és 0,845 mg/kg) mindkét öntözési módszer hatására (39., 40. ábra). Az esőztető öntözésnél tapasztalt érték a varianciaanalízis szerint statisztikailag igazoltan eltér a kontroll kezelés eredményétől. A regresszióanalízis mindkét öntözési módnál erős korrelációt mutat (P=1 és 0,1%) a kezelések dózisa és a mért koncentrációk között.

Az egymást követő dózisok eredményei között az igazolt eltérés csepegtető öntözés esetén a 200 µg/l-es, esőztető öntözés mellett már a 100 µg/l-es dózistól megjelenik. Jelentős az eltérés a két öntözési mód eredményei között. Esőztető öntözésnél, valamennyi dózis eredményét figyelembe véve a levél arzén koncentrációja 2-5-szöröse a csepegtető öntözés eredményeinek, tehát az esőztető öntözés alkalmazásakor az arzén levélen keresztül történő felvétele itt is kimutatható.

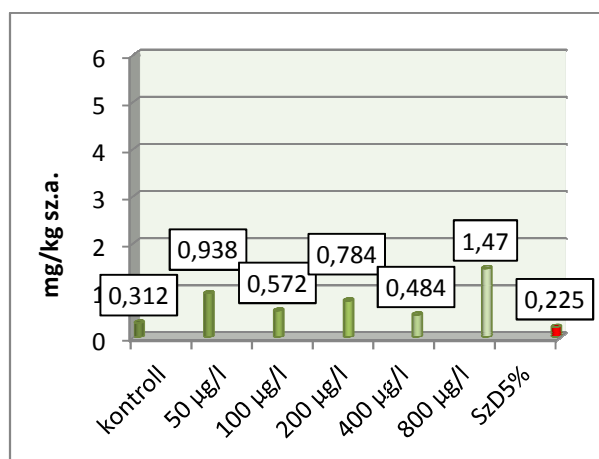


39. ábra. Szabadföldi saláta levelének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2011.
 $r=0,950 / P=1\%$

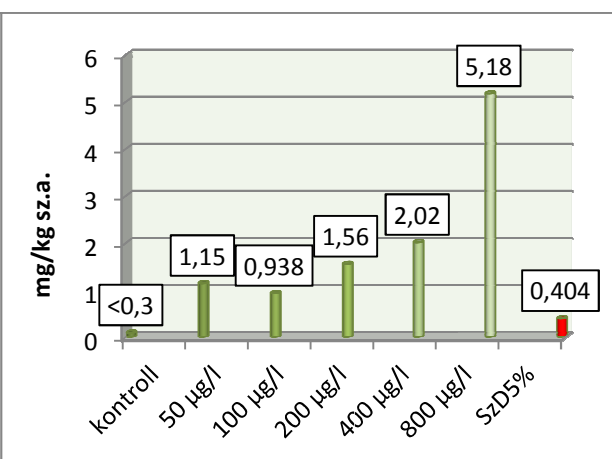


40. ábra. Szabadföldi saláta levelének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2011.
 $r=0,992 / P=0,1\%$

2012-ben a csepegtető öntözési módszert alkalmazva egészen a 400 µg/l-es dóziséig ingadoztak a levél As-eredményei (41. és 42. ábra). A kontroll kezelés és a 400 µg/l-es dózis eredményei között nincs statisztikailag igazolható különbség. A legnagyobb levél As-koncentrációt a legnagyobb dózis (800 µg/l) mellett mértem, értéke 1,47 mg/kg. Esőztető öntözésnél a 100 µg/l-es dózistól kezdve már az egymást követő öntözővíz arzén koncentrációk értéke között is szignifikáns a különbség. A legmagasabb érték (5,18 mg/kg) itt is a legnagyobb dózis mellett jelentkezett, értéke 3,5-szer nagyobb, mint ugyanennek a dózishoz az eredmény csepegtető öntözés mellett.



41. ábra. Szabadföldi saláta levelének arzéntartalma csepegtető öntözés hatására, 2012.
 $r=0,731 / P>10\%$



42. ábra. Szabadföldi saláta levelének arzéntartalma esőztető öntözés hatására, 2012.
 $r=0,975 / P=0,1\%$

A regresszióanalízis a 2012-es év eredményeit vizsgálva csepegtető öntözésnél gyenge, esőztető öntözésnél erős korrelációt mutat a kezelések dózisa és a mért arzénkoncentrációk között.

A két év eredményei párhuzamban állnak egymással. Esőztető öntözés esetén az egyes dózisok hatására kialakuló levél As-koncentrációk nagyon közel esnek egymáshoz a két vizsgálati évben. További hasonlóság, hogy az esőztető öntözés eredményei mindig felülmúlják a csepegtető öntözés eredményeit, valamennyi azonos dózis esetén, és esőztető öntözésnél a levél arzénkoncentrációk - egy kivétellel (2012: 100µg/l) - a növekvő dózisokkal korrelálnak.

Csepegtető öntözésnél az eredmények ingadozása 2012-ben jelentősebb, mint 2011-ben. Egyenletesebb levél As-koncentráció növekedés ennél az öntözési módnál csak 2011-ben jelent meg (39. ábra).

A levélminták laboratóriumi feldolgozását a minták szárazanyag-tartalmának meghatározásával kezdtem. Az értékek 3,9-6,5 tömegszázalék között változtak. Az ismétlésenként egyedi nedvességtartalommal korrigált, eredeti nedvességtartalmú levélmintára vonatkoztatott As koncentrációkat és azok átlagát a 2011. évi eredményekkel a 12. és 13. táblázatban, a 2012. évi eredményekkel a 14. és 15. táblázatban tüntettem fel. Az ismétlések eredményeinek feltüntetése lehetővé teszi, hogy az adott kezelésnél előforduló legnagyobb koncentrációjú mintát elemezzem és értelmezzem.

12. táblázat. Az eredeti nedvességtartalmú salátalevél As-koncentrációja, szabadföldi természetben, csepegtető öntözés mellett, 2011., mg/kg

<u>Öntözővíz</u> <u>As konc.</u>	<u>I.</u> <u>ism.</u>	<u>II.</u> <u>ism.</u>	<u>III.</u> <u>ism.</u>	<u>IV.</u> <u>ism.</u>	<u>Átlag</u>	<u>Korr.</u> <u>koeff.</u>
Kontroll	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	r= 0,948 /P=1%/
50 µg/l	0,015	0,016	0,022	0,014	0,017	
100 µg/l	0,014	0,020	0,020	0,032	0,022	
200 µg/l	0,018	0,019	0,020	0,025	0,021	
400 µg/l	0,029	0,029	0,038	0,029	0,031	
800 µg/l	0,038	0,048	0,042	0,039	0,042	

13. táblázat. Az eredeti nedvességtartalmú salátalevél As-koncentrációja, szabadföldi természetben, esőztető öntözés mellett, 2011., mg/kg

<u>Öntözővíz</u> <u>As konc.</u>	<u>I.</u> <u>ism.</u>	<u>II.</u> <u>ism.</u>	<u>III.</u> <u>ism.</u>	<u>IV.</u> <u>ism.</u>	<u>Átlag</u>	<u>Korr.</u> <u>koeff.</u>
Kontroll	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	r= 0,957 /P=1%/
50 µg/l	0,009	0,009	0,008	0,010	0,009	
100 µg/l	0,041	0,036	0,035	0,040	0,038	
200 µg/l	0,050	0,049	0,038	0,038	0,044	
400 µg/l	0,072	0,078	0,076	0,071	0,074	
800 µg/l	0,101	0,092	0,111	0,100	0,101	

Az átszámítást követően itt is látható, hogy az egyre növekvő öntözővíz arzén koncentráció egyre növekvő levél As-töménységet okozott. A kontroll kezelés eredményei a műszer LOQ (LOQ= a mérőműszer vizsgálhatósági határa, 0,300 mg/kg As a sz.a.-ban) értéke alá esnek, vagyis itt mérhető arzén a fogyasztásra szánt növényi részekben nincs. Csepegtető öntözés hatására - a 800 µg/l-es dózisonál – 0,048 mg/kg, esőztető öntözés hatására, szintén a 800 µg/l-es dózisonál 0,111 mg/kg legnagyobb arzén koncentráció alakult ki a fogyasztásra szánt levélben 2011-ben. Az értékek az egészségügyi határérték 24 és 56%-ának felelnek meg. A dél-alföldi régióban megjelenő, 200 µg/l-es legmagasabb As-koncentrációjú öntözővíz hatására csepegtető öntözés esetén az egészségügyi határérték 12,5%-át (0,025 mg/kg), esőztető öntözés esetén a 25%-át (0,050 mg/kg) kitevő arzén koncentráció jelent meg a fogyasztásra szánt levélben (12., 13. ábra). Előbbi elemzést tehát nem az ismétlések eredményeinek átlagából, hanem közvetlenül az ismétlések eredményeiből végeztem, amit az indokol, hogy élelmiszerbiztonsági szempontból a mérhető legnagyobb arzénkoncentrációt képviselő, fogyasztani kívánt terméket kell vizsgálni.

Az eredmények statisztikai értékelése regresszióanalízissel történt a saláta eredeti nedvességtartalmú levelének átlagos arzénkoncentrációja alapján. Megállapítható, hogy a változók értékei között erős összefüggés van mindkét öntözési mód alkalmazásakor.

2012-ben – illeszkedve a szárazanyagra vonatkoztatott értékekhez – a fogyasztásra szánt levelekben is jelentősebb arzén koncentráció jelent meg, mint 2011-ben (14. és 15. táblázat). Csepegtető öntözés esetén 0,097 mg/kg, esőztető öntözés mellett 0,366 mg/kg legnagyobb levél As-koncentrációt mértünk. Utóbbi érték az egészségügyi határérték 183%-a, tehát ez a salátafej már nem alkalmas emberi fogyasztásra. A 200 µg/l-es arzén koncentrációjú, geológiai okokból Magyarországon is megjelenő öntözővíz hatására az egészségügyi határérték 27,5%-nak megfelelő levél As-koncentrációt tapasztaltam csepegtető öntözés és 47,5%-nak megfelelő koncentrációt mértem esőztető öntözés hatására (0,055 és 0,095 mg/kg).

14. táblázat. Az eredeti nedvességtartalmú salátalevél As-koncentrációja, szabadföldi termesztésben, csepegtető öntözés mellett, 2012., mg/kg

Öntözővíz As konc.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	Átlag	Korr. koeff.
Kontroll	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	r=0,718 /P>10%/
50 µg/l	0,071	0,039	0,061	0,044	0,054	
100 µg/l	0,037	0,031	0,036	0,028	0,033	
200 µg/l	0,055	0,038	0,044	0,040	0,044	
400 µg/l	0,019	0,030	0,030	0,026	0,026	
800 µg/l	0,063	0,097	0,090	0,085	0,084	

15. táblázat. Az eredeti nedvességtartalmú salátalevél As-koncentrációja, szabadföldi termesztésben, esőztető öntözés mellett, 2012., mg/kg

<u>Öntözővíz As konc.</u>	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	<u>Átlag</u>	<u>Korr. koeff.</u>
Kontroll	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	r=0,948 /P=1%/
50 µg/l	0,072	0,056	0,084	0,050	0,066	
100 µg/l	0,052	0,056	0,071	0,042	0,055	
200 µg/l	0,085	0,078	0,095	0,092	0,088	
400 µg/l	0,102	0,122	0,120	0,112	0,114	
800 µg/l	0,254*	0,366*	0,355*	0,357*	0,333	

*= fogyasztásra nem alkalmas saláta levél.

A regresszióanalízis szerint az eredeti nedvességtartalmú saláta levél arzénkoncentrációja és a kezelés dózisa között 2012-ben az esőztető öntözést alkalmazva mutatható ki magas korrelációs érték.

5.2.3. A szabadföldi kísérletben nevelt fejes saláta fejtömege

A salátalevelek mintavétele előtt a szabadföldön termesztett saláta vizsgálata során is lemértük az egyes kezelések ismétléseinek salátafej tömegét, a tömegek átlagértékét a 16. táblázat tartalmazza.

A varianciaanalízis elvégzése során kitűnt, hogy 2011-ben a csepegtető öntözési módszer mellett, az 50 µg/l-es kezelés hatására statisztikailag igazolt mértékben növekedett a fejtömeg a kontroll kezelés fejtömegéhez képest. Az igazolt különbséget ennél a vizsgálatnál a regresszióanalízis nem támasztja alá, a korrelációs koefficiens nem magas.

Az 50 µg/l-es kezelést követő dózisok hatására nem alakult ki igazolt különbség. A további vizsgálatokban, vagyis a 2011-évi esőztető öntözés és a 2012-évi vizsgálatok során egyik öntözési mód mellett sem történt igazolható változás az öntözővíz egyre növekvő arzén koncentrációjának hatására, vagyis az arzén nem befolyásolta a saláta terméstömeg alakulását sem pozitív sem negatív irányban.

16. táblázat. A saláta átlagos fejtömege szabadföldi termesztésben, 2011-2012., g

<u>Öntözővíz</u> <u>As konc.</u>	<u>2011</u>		<u>2012</u>	
	<u>Csep.</u>	<u>Eső.</u>	<u>Csep.</u>	<u>Eső.</u>
Kontroll	383	395	361	357
50 µg/l	490	362	284	301
100 µg/l	437	405	325	344
200 µg/l	384	376	335	325
400 µg/l	353	344	287	397
800 µg/l	363	359	321	366
SzD_{5%}	65,7	-	-	-
r=	-0,587			
	/P>10%/			
Csep.= csepegtető öntözés; Eső.= esőztető öntözés				

5.3. A hidrokultúrás fejes saláta kísérlet eredményei

A fejes saláta tesztnövényt 2010-ben és 2011-ben, aggregát hidropóniás, talaj nélküli termesztéstechnológia felhasználásával neveltem. Az egyre növekvő arzéndózisokat a tápoldat arzén koncentrációjának növelésével biztosítottam.

Az eredményközlést ennél a termesztési módszernél is a vegetatív növényi részek arzéntartalmának bemutatásával kezdem. Elsőként a gyökérzet, majd a salátafej leveleinek koncentrációját ismertetem.

A szabadföldi saláta kísérlethez hasonlóan itt is közlöm a nedvességtartalommal korrigált, eredeti nedvességtartalmú levél arzénkoncentrációját.

A hidrokultúrás saláta kísérlet esetében is a fejtömeg eredményeiből következtetek a termésmennyiségre és a termésmennyiségben bekövetkező változásokra.

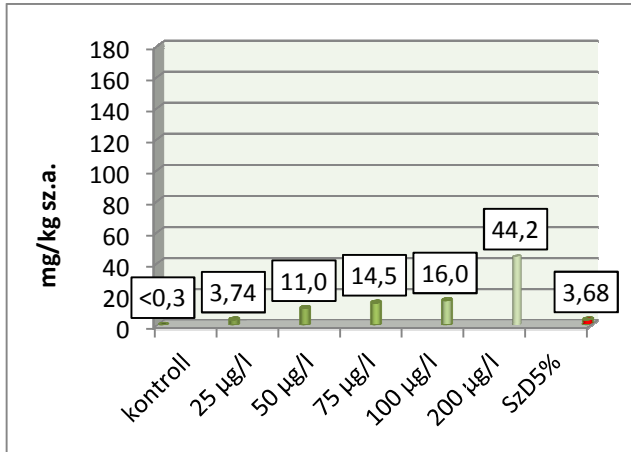
5.3.1. A hidrokultúrás kísérletben nevelt fejes saláta gyökerének arzéntartalma

A gyökérzet arzénkoncentrációja mindkét évben emelkedett az egyre növekvő tápoldat As-koncentráció hatására (43. és 44. ábra). A kontroll kezelés eredménye 2010-ben szignifikánsan különbözik valamennyi kezelt dózis eredményétől. 2011-ben a statisztikai különbség csak a 100 µg/l-es dózistól jelenik meg.

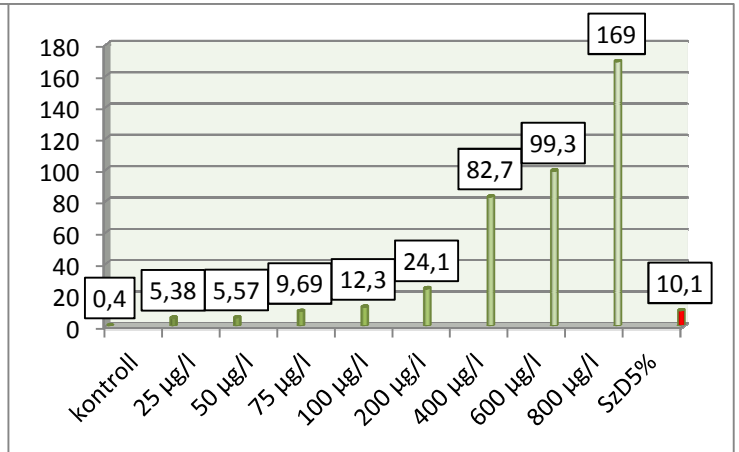
2010-ben az egymást követő dózisok közül a 25 és 50 µg/l-es és a 100 és 200 µg/l-es kezelések között igazolt a különbség. 2011-ben az egymást követő dózisok közül elsőként a 100 és 200 µg/l-es koncentrációk között jelenik meg a szignifikáns különbség, és a további dózisoknál kivétel nélkül fennmarad. A két év ismételt tápoldat-koncentrációinak As eredményei párhuzamban állnak egymással, a legnagyobb eltérés a 200 µg/l-es dózisonál jelentkezik, 2010-ben 44,2; 2011-ben 24,1 mg/kg gyökér As-koncentrációval.

A legnagyobb gyökér As-koncentrációt (169 mg/kg gyökér sz.a.) 2011-ben, a 800 µg/l-es kezelés hatására mértem.

A regresszióanalízis mindkét évben erős összefüggést mutat a tápoldat arzénkoncentrációja és a gyökér arzéntartalma között. Az r értéke pontosan megegyezik a két évben ($r=0,988$).



43. ábra. Hidrokulturás saláta gyökerének arzéntartalma, 2010.
 $r=0,988 / P=0,1\%$

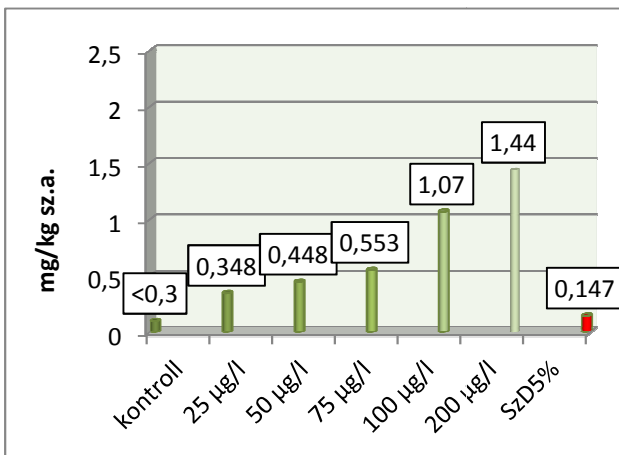


44. ábra. Hidrokulturás saláta gyökerének arzéntartalma, 2011.
 $r=0,988 / P=0,1\%$

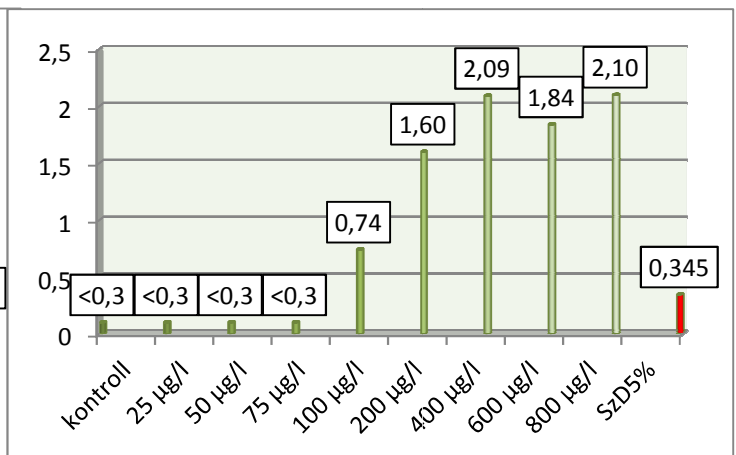
5.3.2. A hidrokulturás kísérletben nevelt fejes saláta levelének arzéntartalma

A saláta levelében a gyökérhez képest egy, esetenként két nagyságrenddel kisebb arzénkoncentrációk jelentkeztek a kezelés hatására (45. és 46. ábra).

2010-ben már az első, 25 µg/l-es tápoldat dózis hatására mérhető levél As-koncentrációt tapasztaltam (0,348 mg/kg). 2011-ben az első mérhető érték (0,74 mg/kg) a 100 µg/l-es kezelés hatására jelent meg, statisztikailag igazolt levél As-tartalom növekedés pedig az 50 és a 100 µg/l-es dózis hatására volt mérhető a két évben. A szignifikáns növekedés a 400 µg/l-es tápoldat töménységig maradt fenn, ezután a töménység állandó érték körül ingadozott, a 600 és 800 µg/l-es dózisok hatására tovább nem emelkedett.



45. ábra. Hidrokulturás saláta levelének arzéntartalma, 2010.
 $r=0,968 / P=1\%$



46. ábra. Hidrokulturás saláta levelének arzéntartalma, 2011.
 $r=0,812 / P=5\%$

A varianciaanalízis eredményeit a regresszióanalízis alátámasztja. 2010-ben egyenletes, lineáris koncentrációnövekedés történt a levélben egészen a legnagyobb dóziséig, itt a korrelációs koefficiens értéke magas, 0,968. 2011-ben a diagram képe telítési görbére hasonlít, a lineáris regresszió r-értéke csak 0,812, mely érték 5%-os tévedési szint mellett igazol szignifikáns összefüggést.

A két év eredményei a 100 és 200 µg/l-es dózisoknál párhuzamban állnak, a legnagyobb eltérés abban mutatkozik, hogy 2011-ben 75 µg/l tápoldat As-koncentrációig nem jelent meg mérhető arzén tartalom. A legmagasabb mért érték 2,10 mg/kg, a 800 µg/l-es dózis hatására.

A levélminták laboratóriumi feldolgozását a minták szárazanyag tartalmának meghatározásával kezdem. Az értékek átlagosan 4-6 tömegszázalék közé estek. Az ismétlésenként egyedi nedvességtartalommal korrigált, eredeti nedvességtartalmú levélmintára vonatkoztatott As koncentrációkat ismétlésenként és az ismétlések átlagában a 17. és 18. táblázatban tüntetem fel.

Az ismétlések eredményeinek feltüntetése lehetővé teszi, hogy az adott koncentrációjú arzénkezelésnél előforduló legnagyobb koncentrációjú levélmintát elemezzük és értelmezzük, melynek szennyezettsége magasabb, mint a 4 ismétlés átlagos koncentrációja.

17. táblázat. Az eredeti nedvességtartalmú salátalevél As-koncentrációja, hidrokultúrárs termesztésben, 2010., mg/kg

<u>Tápoldat</u> <u>As konc.</u>	<u>I.</u> <u>ism.</u>	<u>II.</u> <u>ism.</u>	<u>III.</u> <u>ism.</u>	<u>IV.</u> <u>ism.</u>	<u>Átlag</u>	<u>Korr.</u> <u>koeff.</u>
Kontroll	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	r= 0,967 /P=1%/
25 µg/l	0,016	0,016	0,014	0,015	0,015	
50 µg/l	0,023	0,014	0,019	0,015	0,018	
75 µg/l	0,021	0,021	0,017	0,021	0,020	
100 µg/l	0,041	0,041	0,043	0,039	0,041	
200 µg/l	0,058	0,045	0,068	0,057	0,057	

18. táblázat. Az eredeti nedvességtartalmú salátalevél As-koncentrációja, hidrokultúrási termesztésben, 2011., mg/kg

Táplodtat As konc.	I. ism.	II. ism.	III. ism.	IV. ism.	Átlag	Korr. koeff.
Kontroll	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	r=0,860 /P=5%/
25 µg/l	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	
50 µg/l	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	
75 µg/l	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	
100 µg/l	0,025	0,033	0,026	0,024	0,027	
200 µg/l	0,052	0,057	0,049	0,060	0,055	
400 µg/l	0,082	0,079	0,069	0,102	0,083	
600 µg/l	0,064	0,066	0,074	0,080	0,071	
800 µg/l	0,100	0,078	0,079	0,099	0,089	

Az eredmények alapján itt is látható, hogy a növekvő táplodtat arzénkoncentráció egyre növekvő levél As-töménységet okozott. A mérőműszer vizsgálhatósági határa (LOQ, 0,300 mg/kg As a sz.a.-ban) alatti arzén értékekhez a 17., 18. táblázatban is nem mérhető érték került, a korrekciót az ide tartozó ismétlések mintái esetében az átlagos nedvességtartalom alapján számítottam. Az itt szereplő LOQ értékek (0,012 és 0,014 mg/kg) a két vizsgálati év különböző nedvességtartalom értékei miatt nem egyeznek meg.

Az eredményekből látható, hogy 2010-ben 0,068 mg/kg legnagyobb arzénkoncentráció alakult ki a fogyasztásra szánt levélben. Ez a töménység a dél-alföldi régióban megjelenő, 200 µg/l-es kútvíz (itt táplodtat) arzénkoncentráció hatására jelent meg. Ez az érték az egészségügyi határérték 34%-a.

2011-ben, a legnagyobb, 800 µg/l-es táplodtat koncentráció hatására 0,1 mg/kg levél As-koncentrációt mértem (I. ism.), ez a jogszabályi határérték 50%-a. Hasonló mértékű (0,102 mg/kg) levél arzénkoncentráció jelent meg a 400 µg/l-es dózis IV. ismétlésében is (18. táblázat).

A regresszióanalízis – hasonlóan, mint a szárazanyagra vonatkoztatott arzénkoncentrációk esetén – az eredeti nedvességtartalmú levél arzén eredményeinél 2010-ben 1%, 2011-ben 5% tévedési szint mellett igazol szignifikáns összefüggést a változók között.

5.3.3. A hidrokultúrási kísérletben nevelt fejtes saláta fejtömege

A salátalevelek mintavétele előtt lemértem az egyes kezelések ismétléseinek salátafejtömeget, a tömegek átlagértékét a 19., 20. táblázatok tartalmazzák.

A varianciaanalízis elvégzése során kiderült, hogy 2010-ben nem történ változás a fejtömegekben a kezelés hatására, 2011-ben a fejtömeg a kezelés hatására a 75 µg/l-es dóziséig

emelkedett. A kontroll eredményéhez képest – a legkisebb (25 µg/l) és a legnagyobb (800 µg/l) dózisú kezelést leszámítva - valamennyi további dózisonál igazolt a különbség. A regresszióanalízis egyik évben sem igazol szignifikáns összefüggést, eszerint nem tekinthetjük igazoltnak a fejtömeg változást.

19. táblázat. A saláta fejtömege hidrokultúras termesztésben, 2010., g

<u>Tápoldat</u> <u>As konc.</u>	<u>Fejek</u> <u>átlagos</u> <u>tömege:</u>
Kontroll	528
25 µg/l	542
50 µg/l	546
75 µg/l	537
100 µg/l	554
200 µg/l	561
SzD_{5%}	-

20. táblázat. A saláta fejtömege hidrokultúras termesztésben, 2011., g

<u>Tápoldat</u> <u>As konc.</u>	<u>Fejek</u> <u>átlagos</u> <u>tömege:</u>
Kontroll	493
25 µg/l	526
50 µg/l	562
75 µg/l	597
100 µg/l	585
200 µg/l	578
400 µg/l	564
600 µg/l	566
800 µg/l	496
SzD_{5%}	43,5
r=	-0,226 /P>10%/

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A dolgozat eredményeiből következtetni lehet az egyes tesztnövények arzénfelvevő képességére, az egyes növényi részek egymáshoz viszonyított arzén koncentrációja alapján a növényen belüli mobilitás mértékére, a levélen keresztül történő felvétel jelentőségére, az arzén általunk alkalmazott koncentrációja mellett az elem termésmennyiséget befolyásoló hatására, és a fogyasztásra szánt növényi részek élelmiszerbiztonsági kockázatára.

A szabadföldi paradicsom kísérlet eredményei alapján arra lehet következtetni, hogy a tesztnövény az arzént a kísérletekben alkalmazott homoktalajból felvette, valamennyi vizsgált vegetatív növényi részben statisztikailag igazolt mértékben nőtt a növény arzénkoncentrációja a kezelés hatására.

A paradicsom *gyökérzet* arzénkoncentrációja 2011-ben csepegtető öntözésben 7,57 mg/kg-ig, esőztető öntözésben 5,47 mg/kg-ig emelkedett. Az előbbi értékekhez, az utolsó levélmintavételi időpontban tartozó levél As-koncentráció 7,05 mg/kg (csepegtető) és 16,0 mg/kg (esőztető).

A levél arzéntartalmát meghaladó gyökér arzénkoncentráció párhuzamban áll a szakirodalmi adatokkal. KÁDÁR (1993, 2006), ROFKAR, DWYER és FRANTZ (2007), ill. SMITH, JUHÁSZ és WEBER (2008) szerint a toxikus elemek felvételében tesztelt növények gyökérzete általában nagyobb As-koncentrációt mutat, mint bármely más növényi rész.

Paradicsommal végzett kísérleteimben a levél arzénkoncentrációja esőztető öntözésnél, 2011-ben a legtöbb kezelés mellett meghaladta a gyökér arzén koncentrációját, melyből arra lehet következtetni, hogy talajon történő termesztéskor, amennyiben a talaj fizikai, kémiai paraméterei gátolhatják a mikroelem felvételt, az esőztető öntözés kontakt jellege nagyobb arzénkoncentrációt okoz a levélben, mint amekkora kialakul a gyökérzetben.

Megvizsgálva a két tesztnövény szabadföldi kísérleteinek eredményeit, a gyökérre vonatkozóan elmondható, hogy mindkét öntözési mód hatására igazoltan emelkedett a gyökérminták arzén koncentrációja. A jelenség párhuzamban áll CARBONELL et al. (1995) tápoldatos vizsgálataiban tapasztaltakkal. Ha összehasonlítjuk a két öntözési mód eredményeit a paradicsom és a szabadföldi saláta kísérlet esetében is megállapíthatjuk, hogy a *csepegtető* öntözés hatására, a 400 µg/l-es dózistól felfelé nagyobb gyökér arzén koncentráció alakul ki, mint az *esőztető* öntözés hatására, kivéve a 2012. évi paradicsom eredményeket.

A hidrokultúrában termesztett saláta esetében jól látható a gyökér elsődleges szerepe az arzén megkötésében és gyűjtésében. A gyökérzet As-koncentrációja 44,2 és 169 mg/kg

legnagyobb értékeket ért el a két vizsgálati évben, és koncentrációja minden tápoldat-dózis esetén nagyobb, mint a levél As töménysége. Az előbbi két legmagasabb gyökér As-koncentrációhoz tartozó levél As-koncentráció 1,44 és 2,10 mg/kg (43-46. ábrák). A 169 mg/kg-os gyökér As-tartalom esetében a gyökér szárazanyagának arzénkoncentrációja a tápoldat töménységének (800 µg/l) 211-szerese, mely jól mutatja a gyökér filtrációban betöltött kiemelkedő szerepét.

SMITH et al (2008) hidrokultúrában termesztett saláta növényt vizsgálva, 2 mg/l-es tápoldat As-dózist alkalmazva, 278 mg/kg gyökér arzén és 3,18 mg/kg levél arzén szintet mért, tehát arra lehet következtetni, hogy eredményeim párhuzamban állnak más kutatók hasonló körülmények között kapott vizsgálati eredményeivel. Valószínű, hogy a hidrokultúras termesztési módszer esetén a talaj fém-immobilizáló hatásának elmaradása miatt mutatható ki a gyökon egyenletesen növekvő arzénfelvétel és a tág gyökér-levél As arány.

ROFKAR, DWYER és FRANTZ (2007) lágyszárú növényekkel végzett hidrokultúras kísérletekben feljegyzett 360 és 660 mg/kg arzén koncentrációt is egyes vegetatív növényi részekben, de az általuk alkalmazott tápoldat As-koncentrációja a dolgozatomban szereplő hidrokultúras tápoldat töménységének sokszorososa.

A szabadföldi vizsgálatok eredményeit elemezve megállapítható, hogy az egyre növekvő arzén dózisek egyre növekvő arzén koncentrációkat okoztak a tesztnövények *levelében*. Az arzén levélen keresztüli felvétele mindkét tesztnövény esetén jelentős volt, mindkét vizsgálati évben. A szabadföldi paradicsom kísérlet 50 µg/l-es (2011), ill. 50 és 100 µg/l-es (2012) kezeléseik eredményeit leszámítva, arra lehet következtetni, hogy a paradicsom és a saláta az esőztető öntözés mellett a levelekben sokkal több As-t akkumulált, mint csepegtető öntözés esetén.

A paradicsom levelének elemzési eredményiből látható az is, hogy az egymást időben követő mintavételek alkalmával egyre nőtt a levél As-koncentrációja ugyanazon a dózison belül is. A tendencia a legnagyobb arzén dózisonál mutatkozik a leghatározottabban. 2011-ben, csepegtető öntözés mellett 4,11; 4,52; 7,05 mg/kg, esőztető öntözés esetén 6,60; 13,1; 16,0 mg/kg levél As-koncentrációt mértünk az egymást követő mintavételi időpontokban. Ugyanezen értékek 2012-ben (itt csak két levélminta-vételi időpont volt) csepegtető öntözésnél 6,28; 8,69 mg/kg, ill. esőztető öntözésnél 14,4; 16,5 mg/kg. A kapott eredmények összhangban állnak a szakirodalmi adatokkal, KÁDÁR (1991, 2006), SMITH és NAIDU (2008), ill. FÜLEKY et al. (2011) szerint a toxikus elemek, félfémek, nehézfémek lassan mozognak a talaj-növény rendszerben, ha rendkívüli okból nem nő meg a toxikus elemek

mobilitása a talajban, akkor lassú transzlokációra lehet számítani a növényen belül (BUSSLER, 1970).

A hidrokultúrák körülmények között vizsgált saláta esetében is igaz, hogy az egyre növekvő arzén koncentrációjú tápoldatok szignifikánsan növelték a levél arzéntartalmát. Az igazolt különbség 2010-ben 75; 2011-ben 100 $\mu\text{g/l}$ tápoldat As-koncentráció felett jelentkezett.

A vizsgálatok során egyik tesztnövény esetében és egyik termesztési módnál sem találtam As okozta *levéltüneteket*, nekrotikus foltokat. PAIS (1980), KABATA-PENDIAS és PENDIAS (1989) szerint arzén mérgezéskor a növények szövetei rózsaszínűek, majd világossárgák lesznek, az idős leveleken vörösesbarna nekrotikus foltok jelennek meg. Következtetésem szerint a vizsgálataimban alkalmazott arzén koncentrációk nem érthették el azt az arzén töménységet, amelynél az előbbi tünetek megjelenjenek. Paradicsom esetében a tünetek megjelenésének elmaradását magyarázza az a szakirodalmi feljegyzés is, hogy OVERCASH és PAL (1979) szerint a paradicsom az arzénterhelés szempontjából a nagyon toleráns növények közé tartozik.

Vizsgálataimban az arzénterhelés a tesztnövények fejlődése során nem okozott növekedési depressziót, nem csökkent jelentősen a *termésmennyiség* a kontroll kezelés eredményeihez képest. Kivétel a paradicsom tesztnövény, melynek termésmennyisége a statisztikai értékelés szerint 2012-ben, esőztető öntözés hatására szignifikánsan csökkent. Megegyező vizsgálati körülmények között 2011-ben nem történt változás. Csepegtető öntözés mellett egyik évben sem változott igazolható mértékben a termésmennyiség. A termésnövekedés jelensége megjelenik a feldolgozott szakirodalomban, KISS et al. (1990) tavaszi árpával és vöröshagymával, KÁDÁR (1993) többféle szántóföldi növényel, CARBONELL et al. (1995) paradicsommal igazolta az arzén termésnövekedést, viszont az előbbi vizsgálatokban kivétel nélkül lényegesen nagyobb talaj és tápoldat arzén koncentrációkat alkalmaztak a kutatók, mint a dolgozatomban szereplő koncentrációk.

A saláta fejtömeg vizsgálata során szignifikáns különbséget tapasztaltunk a hidrokultúrában termesztett salátánál 2011-ben, és a szabadföldi vizsgálat 2011-es évében, csepegtető öntözés mellett. Hidrokultúrában a kontroll eredményéhez képest a 75 $\mu\text{g/l}$ -es koncentrációig növekedett az átlagos salátafej tömeg, az igazolt különbség a kontroll fejek és az 50; 75; 100; 200; 400; 600 $\mu\text{g/l}$ -es dózisok fejtömeg értéke között jelent meg. A legnagyobb dózis hatására a fejtömeg szignifikánsan csökkent. A fejtömeg igazolt változását

csak a varianciaanalízis jelezte, a regresszióanalízis szerint statisztikailag nem igazolható az összefüggés.

A tesztnövények *fogyasztásra szánt részeinek* eredeti nedvességtartalomra átszámított arzén mennyiségét vizsgálva megállapítható, hogy az egészségre ártalmas, 0,200 mg/kg As-koncentrációt meghaladó As-eredmények csak a saláta növényben, és csak a dél-alföldi régióban megjelenő, 200 µg/l-es koncentrációnál töményebb As-koncentrációjú öntözővíz felhasználása esetén mértem.

Paradicsom növény öntözéses vizsgálata során, a bogyótermésben 2011-ben 0,055 mg/kg, 2012-ben 0,033 mg/kg legnagyobb arzén koncentrációt mértem, a dél-alföldi régióban megjelenő, 200 µg/l-es As koncentrációjú öntözővíz hatására. Salátában a levél legnagyobb As-koncentrációja az előbbi öntözővíz, ill. tápoldat töménység mellett: hidrokultúrában 0,068 mg/kg, szabadföldön, humuszos homoktalajon természetve 0,050 mg/kg értéket ért el. Megállapítható tehát, hogy a dolgozatban szereplő tesztnövények, a vizsgált termesztési körülmények között bár megnövekedett arzén bevitelt jelenthetnek a lakosság számára, de a jogszabályban szereplő élelmiszer biztonsági határértéket nem haladják meg.

Az eredmények összhangban állnak HORVÁTH et al. (1983) megállapításaival, akik szerint a kritikus arzén koncentráció a zöldségfélék fogyasztásra szánt részeiben 6-14 mg/kg talaj összes-arzéntartalom mellett alakulhat ki. A dolgozatban szereplő kísérletek során elvégzett talajvizsgálatok eredményei szerint a szabadföldi kísérletekben alkalmazott homoktalaj sem a kísérletek megkezdése előtt, sem azok befejezését követően (következő tavaszi mintázás során) nem tartalmazott 6 mg/kg koncentráció feletti arzént (1. sz. melléklet).

Jelen dolgozat eredményei is következtetései alapján javasolható, hogy a biztonságos kertészeti élelmiszer alapanyagok, frissfogyasztású zöldségfélék termelhetősége érdekében fokozottan figyelni kell az arzénterheléssel kapcsolatos jogszabályok betartására, a termesztés során felhasznált erőforrások megfelelőségére. Az erőforrások közül különösen kiemelendő a talaj, mely termesztésbe vont termőtalajként a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet szerint legfeljebb 15 mg/kg összes arzént tartalmazhat, illetve az öntözővíz, mely az MI-10 172/9 (1990) sz. Víztisztítási követelmény szerint közvetlen fogyasztásra szánt növények öntözése esetén legfeljebb 100 µg/l, egyéb esetben legfeljebb 200 µg/l koncentrációban tartalmazhat arzént. Fenti határértékek betartása mellett - a dolgozat eredményei szerint - paradicsom és fejes saláta fogyasztása esetén, legalábbis a dolgozatban szereplő termesztési módszereket alkalmazva, a lakosság arzén terhelése megelőzhető.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink egyik fontos, tudományosan vizsgált területe a lakosságot érő toxikus-elem terhelés felmérése és lehető legnagyobb mértékű csökkentése. Hazánkban az 1980-as évek elejétől kezdve ismert, hogy az ország délkeleti megyéiben az ivóvízadó földrétegekből kitermelt víz természetes, geológiai okokból arzénrel szennyezett. A szennyezés mértéke több helyen meghaladja a 100 µg/l koncentrációt (TÓTH et al., 1985; ÁNTSZ, 2000; GALAMBOS, 2006), és elérheti a 170 µg/l-t is (PETŐ et al., 2012). A jelenség a magyarországi vízszolgáltatóknak komoly problémát okoz, mert a fogyasztásra szánt víz megtisztítása igen költséges feladat.

A hazai zöldségtermesztő terület (átlagosan 50-60 ezer ha/év) kb. 80%-a az arzénes kútvízzel érintett dél-alföldi térségben van. A hajtásban, valamint a szabadföldi körülmények között termesztett zöldségféléink is érintkezhetnek arzénrel szennyezett öntözővízzel. A választott témám célja annak felderítése, hogy az öntözésre szánt, arzénrel szennyezett rétegvizek milyen mértékben befolyásolják a termesztett zöldségfélék arzénkoncentrációját és fejlődésük ütemét.

A dolgozatban szereplő kísérletekben a paradicsomot és a fejes salátát vizsgáltam. A két zöldségféle jelentős szerepet játszik a hazai termesztésben és fogyasztásban. Mindkét növényt vizsgáltam szabadföldi, öntözött termesztési körülmények között, 2011 és 2012-ben, ill. a fejes salátával talaj nélküli, hidrokultúrás termesztési körülmények között is elvégeztem a vizsgálatot, 2010-ben és 2011-ben. Az egyes vizsgálati években megegyeztek a termesztés paraméterei. A szabadföldi kísérletekben a kezelt öntözővízzel, a hidrokultúrás vizsgálatokban a kezelt tápoldattal valósítottam meg a arzénes kezeléseket.

Az alkalmazott arzén koncentrációk a szabadföldi vizsgálatokban 50, 100, 200, 400 és 800 µg/l, a hidrokultúrában 0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600 és 800 µg/l As. A kezelt vizet laboratóriumi körülmények között, nagy pontosságot biztosító mérőeszközök felhasználásával állítottam elő. A szabadföldi kísérleteket környezetvédelmi okokból földbe süllyesztett, zárt rendszerű növényládákban, konténerekben valósítottam meg, a hidrokultúrás vizsgálatokat üvegházban elhelyezett tápoldat csatornában, ún. aggregát hidropóniában végeztem el.

A kísérletek helyéül a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Bemutatókertje és üvegháza szolgált.

A véletlen blokkelrendezésű kísérletek egyetlen tényezője az alkalmazott víz egyre növekvő arzén koncentrációja volt. A szabadföldi kísérletek során mindkét tesztnövény esetében megkülönböztettem két eltérő öntözési módot: a kezelt víz a vizsgálatok egyik

felében csepegtető öntözéssel, közvetlenül a talajfelszínre került, a másik felében esőztető öntözés mellett elsőként a növények talaj feletti részeinek felületére, majd onnan a talajfelszínre jutott.

A paradicsom szabadföldi vizsgálatában a tenyészidő alatt több alkalommal gyűjtöttem levélmintákat és termésmintákat, ill. a kísérlet bontásakor gyökérmintákat is. Levélmintákat a hajtások felső harmadáról szedtem, termésmintákat pedig az érési fázisban lévő bogyótermésből alakítottam ki. A termést maradék nélkül begyűjtöttem, így lehetséges volt a kezelések hatására kialakuló termésmennyiség mérése is. A saláta mindkét termesztési módszere során a kísérletek bontásakor szedtem gyökérmintákat és a fej középső részéből levélmintákat. A saláta termésmennyiségének mérését a fejtömegek meghatározása biztosította.

A mintákat laboratóriumba szállítottam, meghatároztam szárazanyag-tartalmukat, a szárított mintákat homogenizáltam, nedves roncsolással feltártam és meghatároztam összes arzén-tartalmukat ICP-AES spektrométeren. Az analitikai vizsgálatokat a kar Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában végeztem.

A dolgozat eredményeiből következtetni lehet az egyes teszt növények arzénfelvő képességére, az egyes növényi részek egymáshoz viszonyított arzén koncentrációja alapján a növényen belüli mobilitás mértékére, a levélen keresztül történő felvétel jelentőségére, az arzén által alkalmazott koncentrációja mellett az elem termésmennyiséget befolyásoló hatására, és a fogyasztásra szánt növényi részek élelmiszerbiztonsági kockázatára. Az eredmények statisztikai értékelését varianciaanalízissel és lineáris regresszióanalízissel végeztem (SVÁB, 1973).

Az eredmények szerint a vizsgált zöldségnövények a kísérletekben alkalmazott homoktalajból és tápoldatból felvették az arzént, a kezelés hatására egyre növekvő, a legtöbb esetben statisztikailag igazolható mértékű arzénkoncentráció növekedés volt mérhető a vegetatív részekben, ill. a paradicsom termésében is megjelent mérhető mennyiségű arzén.

A paradicsom gyökerében 2011-ben 7,57 mg/kg, 2012-ben 44,5 mg/kg legnagyobb arzén koncentráció alakult ki, első évben a csepegtető, második évben az esőztető öntözés hatására. A levélmintákban 16,0 mg/kg és 16,5 mg/kg legnagyobb arzén koncentrációt mértem, mindkét tenyészévben az esőztető öntözés hatására, tehát a toxikus elem levélen keresztüli felvétele jól megmutatkozott. A termésben, eredeti nedvességtartalomra vonatkoztatva 2011-ben 0,080 mg/kg, 2012-ben 0,065 mg/kg arzén koncentráció volt mérhető, a legnagyobb, 800 µg/l-es töménységű öntözővíz alkalmazása mellett. Az eredményeket összehasonlítottam a

szakirodalmi adatokkal, az egyes növényi részekben mért toxikus-elem arány párhuzamban áll más kutatók tapasztalataival.

A saláta gyökerében szabadföldi kísérleti körülmények között 15,3 mg/kg legnagyobb arzén koncentráció alakult ki csepegető, és 8,12 mg/kg koncentráció volt mérhető esőztető öntözés hatására. Saláta esetében, szabadföldi vizsgálati körülmények között mindkét évben a csepegetető öntözés fokozta jobban a gyökérzet arzén felvételét.

A levelek tekintetében fordított tendencia volt fellelhető. Csepegetető öntözés mellett 1,47 mg/kg, esőztető öntözés hatására 5,18 mg/kg legnagyobb arzén koncentrációt mértem, és mindkét vizsgálati évben igaz volt, hogy esőztető öntözés hatására nagyobb levél arzénkoncentráció alakult ki, mint csepegetető öntözés mellett. A hidrokultúrák saláta vizsgálatában a gyökér toxikuselem-akkumuláló szerepe nagyon erősen megmutatkozott. A legnagyobb gyökér arzénkoncentráció itt 169 mg/kg, míg az ugyanezen kezeléshez tartozó levél arzéntartalom 2,10 mg/kg volt. Az eredeti nedvességtartalmú salátalevéltre vonatkoztatott legnagyobb arzénkoncentráció szabadföldön, esőztető öntözésnél 0,366 mg/kg, hidrokultúrában 0,102 mg/kg, mely értékek a dél-alföldi régióra jellemző rétegvíz arzénkoncentrációnál (kb. 200 µg/l) nagyobb arzéntöménységű víz felhasználása mellett alakultak ki.

A dél-alföldi régióban megjelenő, 200 µg/l-es As koncentrációjú öntözővíz hatására paradicsom növény öntözéses vizsgálata során, a bogyótermésben 0,055 mg/kg legnagyobb arzénkoncentrációt mértem, salátában a levél legnagyobb As-koncentrációja az előbbi öntözővíz, ill. tápoldat töménység mellett: hidrokultúrában 0,068 mg/kg, szabadföldön, humuszos homoktalajon természetve 0,050 mg/kg értéket ért el. Megállapítható tehát, hogy a dolgozatban szereplő tesztnövények, a vizsgált termesztési körülmények között bár megnövekedett arzén bevitelt jelenthetnek a lakosság számára, de a jogszabályban szereplő élelmiszer biztonsági határértéket (0,200 mg/kg) nem haladják meg.

A vizsgálatok során a szakirodalmi hivatkozásokban fellelhető, arzénmérgezéssel összefüggő levéltünetet nem tapasztaltam. A vizsgált növények termésmennyisége változóan reagált a kezelésre. 2012-ben a paradicsom termése, esőztető öntözés hatására szignifikánsan csökkent, a saláta növény átlagos fejtömege az alkalmazott kezelések hatására, mindkét statisztikai módszerrel (varianciaanalízis és regresszióanalízis) egyaránt igazolható mértékben nem változott egyik évben sem, sem a szabadföldi, sem a hidrokultúrák vizsgálatok során.

8. AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A kísérlet eredményei szerint az arzénnel kezelt öntözővíz és tápoldat hatására paradicsomban és fejes salátában igazolt mértékben végbemegy az arzén koncentrációjának növekedése a vegetatív növényi részekben. A legnagyobb koncentrációt a gyökérmintákban mértük, ehhez képest egy-két nagyságrenddel kisebb töménység alakult ki a levélben és megint egy nagyságrenddel kisebb a bogyótermésben.
2. A mért eredmények szerint paradicsom teszt növényben az alkalmazott arzénkezelések hatására, szabadföldi termesztési körülmények között a tenyészidő előrehaladtával az azonos korú, kifejlett levelek As-koncentrációja egyre nagyobb mértékben nő csepegtető és esőztető öntözés mellett egyaránt. 2011-ben, az egymást követő mintavételi időszakokban, a 800 µg/l-es arzén koncentráció mellett, csepegtető öntözést alkalmazva 4,11, 4,52, 7,05 mg/kg, esőztető öntözést alkalmazva 6,60, 13,1, 16,0 mg/kg, ill. 2012-ben, szintén a legnagyobb dózisonál, csepegtető öntözés mellett 6,28, 8,69 mg/kg, esőztető öntözés mellett 14,4, és 16,5 mg/kg levél arzén koncentrációt mértünk.
3. A dolgozatban szereplő eredmények szerint szabadföldi öntözéses kísérletekben az esőztető öntözés - az arzénterhelést kontakt módon megvalósítva - lényegesen magasabb levél arzénkoncentrációt okoz a paradicsom és a saláta levelében, mint a csepegtető öntözés. A legnagyobb kialakuló különbségek, a 800 µg/l-es arzéndózis hatására, paradicsomban 2011-ben, 16 és 7,05 mg/kg, 2012-ben 16,5 és 8,69 mg/kg As-koncentráció.
4. A kapott eredmények szerint szabadföldön nevelt fejes saláta termesztésekor, humuszos homoktalajon az arzéntartalmú öntözővíz a saláta gyökerében magasabb arzén koncentrációt okoz abban az esetben, ha a vizet kizárólag a talaj felszínére juttatjuk ki (csepegtető öntözés) és nem a levélfelületre, abban az esetben, ha a víz arzén koncentrációja eléri vagy meghaladja a 200 µg/l-es töménységet.
5. Hidrokultúras termesztési körülmények alkalmazásakor a saláta gyökerében többszörös arzénkoncentráció alakul ki, mint szabadföldi termesztés esetén, humuszos homoktalajon. A 800 µg/l-es arzéndózisonál hidrokultúrában 169 mg/kg, a szabadföldi vizsgálatokban 5,32-15,3 mg/kg közötti értékeket mértünk.
6. A hidrokultúras fejes saláta vizsgálat eredményei szerint, aggregát hidropóniás kísérleti körülmények között a növény levelének arzén koncentráció növekedése

400 $\mu\text{g/l}$ -t meghaladó tápoldat arzénkoncentráció felett megáll, további koncentrációnövekedés már nem tapasztalható. Az eredmények diagramja telítődési, nemlineáris regressziós függvényre hasonlít. A jelenséget alátámasztja, hogy a lineáris regresszióval számított korreláció koefficiens, $r = 0,812$, mely ennél a szabadságfoknál legfeljebb $P = 5\%$ -os szinten mutat szignifikáns eltérést.

7. A dél-alföldi régióban megjelenő legnagyobb, kb. 200 $\mu\text{g/l}$ -es kútvíz arzénkoncentráció hatására a paradicsom és a fejes saláta fogyasztásra szánt növényi részeiben, humuszos homoktalajon és hidrokultúrában sem akkumulálódik a jogszabályban szereplő élelmiszer biztonsági határértéket (0,200 mg/kg) meghaladó arzéntöménység.

9. NEW SCIENTIFIC RESULTS

1. The results of the experiment showed that arsenic concentration grows in the vegetative parts of tomato and lettuce in significant rate due to arsenic treated irrigation water and nutrient solution. The highest concentration was measured in the root samples. In compared to this the concentration was one or two magnitudes lower in leaves and one magnitude lower in the berries.
2. Over the time, the test results in field growing conditions show that the arsenic concentration of the matured tomato leaves (the same age) grew increasingly in both drip and sprinkler irrigation by the arsenic treatments. In 2011, in drip irrigation, at 800 mg/l of arsenic concentration treatment, 4.11, 4.52, 7.05 mg/kg arsenic concentrations were measured in the leaves in the consecutive sampling periods. As for sprinkler irrigation, the measured values were 6.60, 13.1, 16.0 mg/kg, respectively. In 2012, in drip irrigation, applying the highest dosage level, the arsenic concentration was 6.28, 8.69 mg/kg in the leaves. In sprinkler irrigation these values were 14.4, and 16.5 mg/kg.
3. According to the results of this paper, in field experiments sprinkler irrigation - implementing contact arsenic charging – resulted a significantly higher arsenic concentration in tomato and lettuce leaves than drip irrigation. In 2011, the biggest differences in tomato arsenic concentration, at 800 mg/l of arsenic dose, were 16 and 7.05 mg/kg and in 2012 the differences were 16.5 and 8.69 mg/kg.
4. In field lettuce cultivating, the results show that if water gets on the soil surface (drip irrigation) and not the leaf surface, in humic sandy soil the arsenic content of the lettuce roots is higher provided the arsenic concentration of the water is equal or greater than 200 mg/l.
5. In hydroponics lettuce growing the arsenic concentration of the roots is multiple than that of the field cultivation on humic sandy soil. In hydroponics, when 800 µg/l arsenic dosage was applied, the arsenic concentration value was 169 mg/kg, in field trials the values varied from 5.32 to 15.3 mg/kg.
6. The results of the hydroponic lettuce trial show that under aggregated hydroponics experimental conditions the increase of arsenic concentration in the leaf stops over 400 mg/l arsenic concentration in the nutrition solution. Further increase in concentration is no longer observed. The diagram of the results is a saturation type, similar to a non-linear regression function. This phenomenon shows that the

calculated linear regression correlation coefficient is $r = 0.812$. Up to this degree of freedom, significant difference occurs at $P \leq 5\%$.

7. On the Southern Great Plain region, either in humic sandy soil or in hydroponics the arsenic concentration in tomato and lettuce plant parts for consumption does not accumulate over the legal safety limit value (0.200 mg/kg) if the arsenic concentration of irrigation water is about 200 $\mu\text{g/l}$.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- 17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet: Az élelmiszerek vegyi szennyezettségének megengedhető mértékéről. Minisztériumi rendelet.
- 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet: Az ivóvíz minőségi követelményeiről, és az ellenőrzés rendjéről.
- Adriano, D.C. (1986a): Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag. New York.
- Adriano, D.C. (1986b): A mikroelemek forrásai, esszencialitásuk és biogeokémiai körforgásuk. Kémiai Közlemények 65: 315-343. pp.
- Adriano, D.C. (1992): Biogeochemistry of Trace Metals. Lewis Publishers. Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo.
- Adriano, D.C. (2001): Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. (2nd edn.). Springer-Verlag. New York.
- Aiuppa, A., D'Alessandro, W., Federico, C., Palumbo, B., Valenza, M. (2003): The aquatic geochemistry of arsenic in volcanic groundwaters from southern Italy. Appl. Geochem. 18:1283–96. pp.
- Alexandratos, V., Elzinga, E., Reeder, R. (2007): Arsenate uptake by calcite: macroscopic and spectroscopic characterization of adsorption and incorporation mechanisms. Geochimica et Cosmochimica Acta 71:4172–4187 pp.
- Alloway, B.J. (ed). (1990): Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd. Glasgow and London. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Anke, M., Groppel, B., Hennig, A., Meissner, D. (1980): The influence of arsenic deficiency on growth, reproductivness, life expectancy and health of goats. Internat.Tr. El.Symp., Jena. 25-32. pp.
- Anke, M., Schmidt, A., Groppel, B., Kronemann, H. (1985): Importance of arsenic for fauna. I. Internat.Tr.El.Symp., Budapest. 61-71. pp.
- ÁNTSZ (2000): Arzén előfordulása Magyarország vezetékes ivóvizeiben. Elektronikus szakmai kiadvány. Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat. Elérhetőség: www.antsz.hu.
- ÁNTSZ (2010): Arzénnel szennyezett ivóvizek. Elektronikus szakmai kiadvány. Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat. Elérhetőség: www.antsz.hu.
- Appelo, C.A.J., Van Der Weiden, M.J.J., Tournassat, C., Charlet, L. (2002): Surface complexation of ferrous iron and carbonate on ferrihydrite and the mobilization of arsenic. Environ. Sci. Technol. 36:3096–103. pp.
- Balázs S. (2000): Fémek szóródása az ökológiai rendszerekben. Bessenyei György Könyvkiadó. Nyíregyháza.
- Bartha A. (1998): Geokémia-Geoanalitika: Ritkaelemek, víz és környezetgeokémia. Magyar Állami Földtani Intézet Laboratóriumi Főosztály. Budapest. 97-114 pp.
- Bergmann, W. (1979): Termesztett növények táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 11-23. pp.
- Botos Gy. (1980): Paradicsom. In: A szántóföldi zöldségtermesztés gyakorlata. Szerk.: Zsitvay Attila. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 141-176. pp.
- Bowen, H.J.M. (1979): Environmental chemistry of the elements. Academic Press. New York. 32. p.
- Bussler, W. (1970): Bei Nährstoffüberschuß an höheren Pflanzen auftredende Symptome. Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkunde 125:95-110. pp.
- Buzás I. (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

- Buzás I. (1988):** Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. INDA 4231 Kiadó. Budapest.
- Buzás I. (1993):** Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. INDA 4231 Kiadó. Budapest.
- Carbonell Barrachina A., Burlo Carbonell F., Mataix Beneyto J. (1995):** Arsenic uptake, distribution, and accumulation in tomato plants: Effect of arsenite on plant growth and yield. *Journal of Plant Nutrition*. 1237-1250. pp.
- Carlou, C., D'Alessandro, M., Swartjes, F. (2007):** Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission. Joint Research Centre. Ispra. EUR 22805-EN. 306 pp.
- Casentini, B., Hug, S.J., Nikolaidis, N.P. (2011):** Arsenic accumulation in irrigated agricultural soils in Northern Greece. *Science of the Total Environment*. 409 4802-4810. pp.
- Chen, Ch.J., Chuang, Y.Ch., Lin, T.M., Wu, H.Y. (1985):** Malignant neoplasms among residents of a blackfoot disease-endemic area in Taiwan: high-arsenic artesian well water and cancers. *Canc.Res.* 45:5895-5899. pp.
- Collechi, P., Esposito, M., Brera, S., Mora, E., Mazzucotelli, A., Oddone, M. (1986):** The distribution of arsenic and cobalt in patients with laryngeal carcinoma. *J. Appl.Toxicol.* 6.4: 287-289. pp.
- Csalagovits I. (1999):** A magyarországi arzén rétegvizek földtani- geokémiai környezete és lehetséges genetikája. Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest. 85-92. pp.
- Csanády M., Bozsai G., Deák Zs. (1985):** Arzén előfordulása alföldi rétegvizekben. *Egészségtudomány*. 29:240–249. pp.
- Csathó P. (1994a):** A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA-TAKI, Budapest.
- Csathó P. (1994b):** Nehézfém- és egyéb toxikus elem-fogalom a talaj-növény rendszerben. *Agrokémia és Talajtan* 43:371-398. pp.
- Cserni I., Petó J., Hüvely A., Rajkainé Végh K., Rajkai K., Szili-Kovács T., Németh T. (2007):** Néhány beltartalmi érték alakulása paradicsom bogyóban különböző talajtípusokon különböző nitrogén ellátottság mellett. *Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia kiadványa. I. kötet.* 232-235. pp.
- Csillag, J., Lukács, A., Osztóics, E., Csathó, P., Baczó, Gy. (2006):** Trace metal concentrations in the liquid phase of phosphate rock-treated soils. *Agrokémia és Talajtan* 55:203–212. pp.
- Dura Gy., Kádár M., Rudnai P. (2004):** Az arzén tartalmú ivóvíz fogyasztásának egészségkockázata. Országos Környezetegészségügyi Intézet. (Elérhető: www.antsz.hu/data/cms42120/arzen_tartalmu_ivoviz_egeszsegkockazata.pdf)
- Erdélyi M. (1990):** A tiszántúli arzén rétegvíz hidrogeológiája. In: Szederkényi T. (red.) (1990): Az arzéntartalom származása és alakulásának kérdései Békés megye vízmű kútjaiban. Az MTA Szegedi Akadémiai Bizottságának Kiadványai. Szeged. 71–86. pp.
- Erdélyi M. (1991):** A tiszántúli arzén rétegvíz hidrogeológiája. *Földrajzi Értesítő* 1991. 3–4: 231–251. pp.
- Farkas J. (2002):** Paradicsom. In: *Zöldségtermesztők kézikönyve*. Szerk.: Balázs S. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 195-226. pp.
- Fendorf, S., La Force, M.J., Li, G. (2004):** Temporal changes in soil partitioning and bioaccessibility of arsenic, chromium, and lead. *J Environ Qual* 2004;33:2049–55. p.
- Fergusson, J.E. (1990):** *The Heavy Elements*. Pergamon Press. Oxford.
- Fergusson, J. E. (1991):** *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press. Oxford-New York-Seoul-Tokyo. 329-406. pp.

- Filep, Gy. (1988):** Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Filep, Gy. (1999):** Talajszennyeződés, talajtisztítás. In: Talajtan. (Szerk.: Stefanovits, P., Filep Gy., Füleky Gy.). Mezőgazda Kiadó. Budapest. 363-381. pp.
- Filep, Gy. (2002):** Talajszennyeződés. In: Talaj és környezet. (Szerk.: Kátai, J., Jávora A.). Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 63-85. pp.
- Fügedi U., Szurkos G., Vermes J., (2004):** Éghajlatváltozások geokémiai hatásai Magyarország középső és keleti részén. A Magyar Állami Földtani Intézet Éves Jelentése. Budapest. 65-71. pp.
- Füleky Gy. (1999):** Növényi tápanyagok a talajban. In: Talajtan. (Szerk.: Stefanovics P.). Mezőgazda Kiadó. Budapest. 191-220. pp.
- Füleky Gy., Elfoughi, A., Benedek Sz. (2011):** A komposztrágyázás hatása a réz és cink megkötődésére és növényi felvehetőségére. Agrokémia és Talajtan 60:195-202. pp.
- Galambos I. (2006):** Kútvizek huminsav- és arzénmentesítése. Doktori (PhD) értekezés. Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék. Budapest. 2006. 18-21. pp.
- Glass, A.D.M. (1989):** Plant Nutrition. An Introduction to Current Concepts. Jones and Bartlett Publishers, Boston/Portola Valley.
- Goh, K., Lim, T. (2005):** Arsenic fractionation in a fine soil fraction and influence of various anions on its mobility in the subsurface environment. Appl. Geochem. 20:229–39. pp.
- Göhler, H., Molitor, H. (2002):** Erdlose Kulturverfahren im Gartenbau. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- Grafe, M., Eick, M.J., Grossl, P.R. (2001):** Adsorption of arsenate (V) and arsenite (III) on goethite in the presence and absence of dissolved organic carbon. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1680–1687. pp.
- Hodossi S. (2004):** Burgonyafélék. Paradicsom. In: Zöldségtermesztés szabadföldön. (Szerk.: Hodossi S., Kovács A., Terbe I.) Mezőgazda Kiadó. Budapest. 129-140. pp.
- Horváth A., Szabó Z. és Szabados M. (1983):** A higiénés talajnormák megállapításának elvi és módszertani kérdései (arzen modellen). In: A talaj környezetvédelmének problémái. Tud. ülés. Királyrét, 1981. okt. 5-6. Agrokémia és Talajtan. 32:498-506. pp.
- Hutchinson, T.C., Meema, K.M. (1987):** Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment. John Wiley and Sons. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Hüvely A. (2005):** Az ICP, vagyis az emissziós analízis lehetőségei. Magyar Tudomány Ünnepe. Bács-Kiskun Megyei Tudományos Fórum. 36-41. pp.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1989):** Trace elements in soil and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 315. p.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992):** Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor, London.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001):** Trace Elements in Soils and Plants (3rd edition). CRC Press LLC. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.
- Kádár I., (1991):** Környezet- és természetvédelmi kutatások. A talajok és növények nehézfém tartalmának vizsgálata. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest. 7-19. pp.
- Kádár I. (1992):** A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA-TAKI. Budapest.
- Kádár I. (1993):** Talajaink mikroelem ellátottságának környezeti összefüggései. MTA Agrártudományi Osztály Tájékoztatója. Akadémiai Kiadó. Budapest. 102-106. pp.

- Kádár I. (1995):** Környezet- és természetvédelmi kutatások: A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Kádár I. (1998a):** A szennyezett talajok vizsgálatáról. Kármentesítési kézikönyv 2. Környezetvédelmi Minisztérium. Budapest.
- Kádár I. (1998b):** Talaj és a környezet szennyeződése. GATE Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Gyöngyös. (főiskolai jegyzet).
- Kádár I. (2000):** Szennyezett területek/talajok mintavételének problémái. Agrokémia és Talajtan 49:541-556. pp.
- Kádár, I. (2006):** Transport of As in the soil–plant system in a long-term field experiment. Agrokémia és Talajtan 55:145–154. pp.
- Kiss A.S., Ducsik M., Dombóvári J., Veres S. és Ács G. (1990):** A tavaszi árpa és a vöröshagyma arzén felvétele és ennek csökkentése Mg trágyázással. In: Hungagrochem '90. 1990. júl. 4-6. Szerk.: Blaske Zné. Keszthely. 83-90. pp.
- Klimentné K. M., Muksi Gy., (1992):** Magyar Epidemiológia: Az ivóvíz arzén szennyezettségének szerepe a tüdődaganatok kialakulásában. ANTSZ Dél-alföldi regionális Intézete. Békéscsaba. 59. p.
- Kloke, A. (1980):** Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. Mitt. VDLUFA. H. 1. 9-11. pp.
- Kolos E. (1969):** Vegyszer-vizsgálat. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 264-268. pp.
- KSH (2012):** 4.1.12. A fontosabb zöldségfélék termesztése és felhasználása (2009-2011). Idősoros éves adatok. Mezőgazdaság. Központi Statisztikai Hivatal. Budapest.
- Langner, H.W., Inskeep, W.P. (2000):** Microbial reduction of arsenate in the presence of ferrihydrite. Environmental Science and Technology. 34.15:3131-3136. pp.
- Liebig, G.F. (1966):** Arsenic. In: Diagnostic criteria for plants and soils (Ed. Chapman, H.D.) Univ. California. Di. Agric. Sci. 12-13. pp.
- Lisk, D.J. (1972) :** Trace metals in soils, plants and animals. Adv. Argon. 24:267-325. pp.
- Livesey, N.T., Huang, P.M. (1981):** Adsorption of arsenate by soils and its relation to selected chemical properties and anions. Soil Sci. 131. pp.
- Manahan, S.E. (1994):** Environmental Chemistry. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Mester Z., Woller Á., Fodor P. (1996):** Determination of Arsenic Species by High Performance Liquid Chromatography –Hydride Generation- (Ultrasonic Nebulizer) – Atomic Fluorescence Spectrometry. Microchemical Journal. 184-194. pp.
- MI-10 172/9 (1990)** Az öntözővíz vizsgálata, minősítési rendje. Vízhigiénés követelmény.
- Mor, F., Sahindokuyucu, F., Erdogan, N. (2010):** Nitrate and Nitrite Contents of Some Vegetables Consumed in South Province of Turkey. Journal of Animal and Veterinary Advances. 9.15: 2013-2016. pp.
- Morris, H.E., Swingle, D.B. (1927):** Injury to growing crops caused by the application of arsenic compounds to the soil. J. Agric. Res. (U.S.) 34:59-78. pp.
- Morris, O.M. (1938):** The tolerance of various orchard cover crops to arsenical toxicity in the soil. In: Proc. 34th Ann. Meeting Washington State Hort. Assoc. 110-112. pp.
- Nádasyiné I. E., (1999):** N-műtrágya formák hatása a saláta termésére és NO₃-tartalmára. Agrokémia és Talajtan 48:369-380. pp.

- NÉBIH (2013):** Zöldség - Gyógy - és Fűszernövények Nemzeti fajtajegyzék 2013. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. Felelős kiadó: Lukács József. ISSN 1585-8308
- Nriagu, J.O. (1990):** Global metal pollution, poisoning the biosphere? *Environment*. 32:7-33. pp.
- Oloyede, F.A., Akomolafe, G.F., Odiwe, I.A. (2013):** Arsenic hyperaccumulation and phytoremediation potentials of *Pteris vittata* and *P. ensiformis* (Ferns) in Nigeria. *Acta Botanica Hungarica* 55 (3-4): 377-384 pp.
- Onken, B.M., Adriano, D.C. (1997):** Arsenic availability in soil with time under saturated and subsaturated conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:746–752. pp.
- Overcash, M. R., Pal, D. (1979):** Design of land treatment systems for industrial wastes-theory and practice. Ann Arbor Science Publ. Inc. 684. p.
- Öllös G. (1998):** Víz tisztítás-üzemeltetés. Egri Nyomda Kft. Eger.
- Pais I. (1980):** A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. *Mezőgazdasági Kiadó*. 37-45. pp.
- Pais I. (1999):** A mikroelemek jelentősége az életben. *Mezőgazda Kiadó*. Budapest. 70-71. pp.
- Pais, I., Jones, J.B., Jr. (1997):** The Handbook of Trace Elements. St. Lucie Press. Boca Raton.
- Pallas (1893-1897):** Pallas Nagy Lexikona. Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt. Elérhető: Magyar Elektronikus Könyvtár. (<http://www.mek.iif.hu>) 750. pp.
- Pershagen, G. (1985):** Lung cancer mortality among men living near an arsenic-emitting smelter. *Am J Epidemiol* 122.4:684-694. pp.
- Pető J., Cserni I., Hüvely A., Rácz-Pintér S. (2012):** Öntözővíz vizsgálatok jelentősége és laboratóriumi eredményei. AGTEDU 2012. A Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából rendezett tudományos konferencia kiadványa. 329-334. pp.
- Pigna, M., Cozzolino, V., Giandonato Caporale, A., Mora, M.L., Di Meo, V., Jara, A.A., Violante, A. (2010):** Effects of Phosphorus Fertilization on Arsenic Uptake by Wheat Grown in Polluted Soils. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 10 (4): 428-442. pp.
- Rékási, M., Filep, T., (2010):** Relations between soil properties and the 1 M NH₄NO₃ soluble mobile element fraction. *Agrokémia és Talajtan* 59:109–116. pp.
- Roberts, L.C., Hug, S.J., Dittmar, J., Voegelin, A., Saha, G.C., Ali, M.A., et al. (2007):** Spatial distribution and temporal variability of arsenic in irrigated rice fields in Bangladesh. 1. Irrigation water. *Environ. Sci. Technol.* 41:5960–5966. pp.
- 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*. 38: 2505-2517. pp.
- Ross, S.M. (1994):** Sources and forms of potentially toxic metals in soil–plant system. *Toxic Metals in Soil–Plant Systems*. John Wiley. Chichester. 3–25. pp.
- Salomons, W., Förstner, V., Mader, P. (1995):** Heavy Metals: Problems and Solutions. Springer-Verlag, Berlin.
- Shacklette, H.T., Boerngen, J.G. (1984):** Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1270. Washington, D.C.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. (2002):** A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17:517–568. pp.
- Smith, E., Juhasz, A. L., Weber, J. (2008):** Arsenic uptake and speciation in vegetables grown under greenhouse conditions. *Environmental Geochemistry and Health*. 31.1:125-132. pp.
- Smith, E., Naidu, R. (2008):** Chemistry of inorganic arsenic in soils: kinetics of arsenic adsorption–desorption. *Environ Geochem Health*. 31:49–59. pp.

- Stauffer, R., Thompson, J. (1984):** Arsenic and antimony in geothermal waters of Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 48:2547–2561. pp.
- Sváb J. (1973):** Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 104-146. pp.
- Szabó S. A. (1987):** Mikroelemek a mezőgazdaságban I.: Esszenciális mikroelemek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Szabó S. A. (2007):** Arzén az élelmiszerekben. Élelmiszerek ásványi anyag tartalma 25. rész. *Élelmezési Ipar.* 59.9:279-281. pp.
- Szabó S.A., Regiusné M.Á., Győri D. (1994):** Mikroelemek a mezőgazdaságban III. (Toxikus mikroelemek). Akadémiai Kiadó és Nyomda. Budapest.
- Szabó S.A., Regiusné M.Á., Győri D., Szentmihályi S. (1987):** Mikroelemek a mezőgazdaságban I. (Esszenciális mikroelemek). Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Szederkényi T. (1990):** A DK-tiszántúli rétegvizek arzéntartalmának mélységi (medencealjzati) eredetéről. In: *Az arzéntartalom származása és alakulásának kérdései Békés megye vízmű kútjaiban.* MTA SZAB Kiadványai. 59-69. pp.
- Takács S. (2001):** A nyomelemek nyomában. Arzén. Medicina Könyvkiadó Rt. Budapest. 71-78. pp.
- Terbe I. (2002):** Fejes saláta. In: *Zöldségtermesztők kézikönyve.* Szerk.: Dr. Balázs Sándor. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 438-453. pp.
- Terbe I., Fehér M. (2000):** Levélzöldségek. In: *A zöldségajtatás kézikönyve.* Szerk.: Balázs Sándor. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 393-434. pp.
- Terbe I., Hodossi S., Kovács A. (2005):** Zöldségtermesztés termesztő-berendezésekben. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 59-60 pp.
- Terbe I., Pap Z. (2008):** A talaj nélküli termesztési rendszerek. In: *Talaj nélküli zöldségajtatás.* Szerk.: Terbe I., Slezák K. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 9-19. pp.
- Terbe I., Zsoldos L., Patócs I (1986):** A zöldségnövények nitráttartalma. *Lippay János Tudományos Ülészak Előadásai.* 1:125-131. pp.
- Terényi S., Josepovits Gy., Matolcsy Gy. (1967):** Növényvédelmi Kémia. Akadémiai Kiadó. Budapest. 95-96. pp.
- Thyll Sz. (szerk.) (1996):** Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Tompos D. (2008):** A fejes saláta talaj nélküli termesztése. In: *Talaj nélküli zöldségajtatás.* Szerk.: Terbe I., Slezák K. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 308-325. pp.
- Tóth Gy., Eger F., Namesánszky K. (1985):** Magyarország Vízgeokémiai Atlasza. (Hydrogeochemical Atlas of Hungary.) M=1:1 000 000. MÁFI kiadvány. Kézirat.
- Turkington, C. (1995):** Mérgek és ellenanyagaik lexikona, ford.: Démény E., Tímár J., 1. kiadás, Corvina. ISBN 9631340177.
- Ubrizsy G. (1969):** Pesticidok – Áldás vagy átok? Akadémiai Kiadó. Budapest. 25-51. pp.
- Uthus, E.O. (1992):** Evidence for Arsenic Essentiality. *Environmental Geochemistry and Health.* Vol. 14, Issue 2, 55-58. pp.
- Varsányi I., Ó. Kovács L. (2002):** Factors influencing the As content of subsurface water in the Pannonian Basin, Hungary. In: *Bocanegra, E., Martinez, D., Massone, H. (eds.): Proc. Groundwater and Human Development Congress 2002, mar del Plata, Argentina.* 1533–1541. pp. CD-ROM, ISBN 987-544-063-9.
- Vermes L. (1994):** A talajszennyezés néhány kérdése. *Talajvédelem.* 2:86-93. pp.
- Vermes L., Kálmán T-né, Horváth Zs., Módi M. (1996):** Természeti erőforrások menedzsmenete. Talajvédelem. In: *Környezetmenedzserek Kézikönyvtára Sorozat, XV. kötet (Sorozat szerk.:*

Rédey Á., Kováts D., Tamaska L., kötet szerk.: Vermes, L.). Veszprémi Egyetem. Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Tanszék. EU-PHARE.

Vernet J.-P. (1991): Heavy Metals in the Environment. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. 406 pp. ISBN 0-444-89064-5.

Yaron, B., Calvet, R., Prost, R. (1996): Soil Pollution (Processes and Dynamics). Springer Verlag. Berlin-Heidelberg.

Yoshizuka, K., Nishihama, S., Sato, H. (2010): Analytical survey of arsenic in geothermal waters from sites in Kyushu, Japan, and a method for removing arsenic using magnetite.

Zhang, W., Cai, Y., Tu, C., Ma, L.Q. (2002): Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant. The Science of the Total Environment 300: 167-177 pp.

Zobrist, J., Dowdle, P.R., Davis, J.A., Oremland, R.S. (2000): Mobilization of arsenite by dissimilatory reduction of adsorbed arsenate. Environ. Sci. Technol. 34:4747–4753. pp.

11. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőimnek, Dr. Nádasyné Dr. Ihárosi Erzsébetnek és Prof. Dr. Buzás Istvánnak a témakidolgozás során nyújtott segítségét és útmutatását, Prof. Dr. Cserni Imre és Dr. Kovács András kollégáimnak a gyakorlati és elméleti problémák megoldásában nyújtott értékes tanácsokat, technikus kollégáimnak a kísérletek kivitelezésében biztosított mindennapi helytállásukat, és a Laboratórium oszlopos tagjának, Dr. Pető Juditnak a vizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségét.

12. MELLÉKLETEK

1. számú melléklet

A szabadföldi kísérletekben szereplő növényládák talajának vizsgálati eredményei

Bővített körű vizsgálat

Mintavétel ideje: 2011. március 3.

Vizsgálatot végezte: KF KFK Talaj- és Növényvizsgáló Laboratórium

Minta eredeti jelölése:		T-K	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Terület mérete:		0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²
Mintavételi mélység (cm):		0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények					
pH (H ₂ O)	-	7,66	7,69	7,75	7,84	7,73	7,67
pH (KCl)	-	7,33	7,38	7,42	7,45	7,42	7,39
Arany féle kötöttségi szám (K _A)	Arany-f. köt.egység	33	31	32	32	33	32
Vízoldható összes só	m/m % sz.a.	<0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
CaCO ₃	m/m % sz.a.	3,07	3,10	2,97	2,97	2,93	2,89
Humusz	m/m % sz.a.	2,24	2,27	2,48	2,78	2,72	2,49
KCl-oldható (NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻)-N	mg/kg sz.a.	0,776	5,76	9,53	7,31	7,24	7,30
AL-oldható P ₂ O ₅	mg/kg sz.a.	868	989	917	1030	939	983
1:5 vizes P ₂ O ₅	mg/l	40,5	41,1	39,5	44,9	42,9	41,5
AL-oldható K ₂ O	mg/kg sz.a.	51,4	66,4	67,6	73,1	57,7	64,2
KCl-oldható Mg	mg/kg sz.a.	123	139	129	139	143	127
AL-oldható Na	mg/kg sz.a.	19,3	17,8	20,3	18,6	17,7	23,1
EDTA-oldható Zn	mg/kg sz.a.	15,3	16,4	15,9	16,7	17,2	16,4
EDTA-oldható Cu	mg/kg sz.a.	19,4	16,3	16,2	16,0	17,9	17,6
EDTA-oldható Fe	mg/kg sz.a.	57,8	52,4	52,5	51,2	56,2	56,1
EDTA-oldható Mn	mg/kg sz.a.	36,8	41,4	33,9	38,6	35,7	38,2
KCl-oldható (SO ₄ ²⁻)-S	mg/kg sz.a.	2,80	13,4	9,88	10,6	15,2	7,55

Minta eredeti jelölése:		T-6	T-7	T-8	T-9	T-10
Terület mérete:		0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²
Mintavételi mélység (cm):		0-30	0-30	0-30	0-30	0-30
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények				
pH (H ₂ O)	-	7,74	7,67	7,62	7,72	7,68
pH (KCl)	-	7,43	7,39	7,47	7,42	7,43
Arany féle kötöttségi szám (K _A)	Arany-f. köt.egység	32	33	32	33	34
Vízoldható összes só	m/m % sz.a.	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
CaCO ₃	m/m % sz.a.	2,87	2,93	2,91	2,97	3,28
Humusz	m/m % sz.a.	2,43	2,32	2,51	2,37	2,43
KCl-oldható (NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻)-N	mg/kg sz.a.	6,58	5,07	9,13	6,82	3,75
AL-oldható P ₂ O ₅	mg/kg sz.a.	864	914	969	853	933
1:5 vizes P ₂ O ₅	mg/l	39,8	40,8	42,9	38,6	39,4
AL-oldható K ₂ O	mg/kg sz.a.	58,8	58,0	54,6	64,3	64,2
KCl-oldható Mg	mg/kg sz.a.	137	128	135	130	150
AL-oldható Na	mg/kg sz.a.	16,8	16,3	17,4	19,6	18,8
EDTA-oldható Zn	mg/kg sz.a.	14,9	16,0	19,6	16,4	17,6
EDTA-oldható Cu	mg/kg sz.a.	16,4	18,3	19,3	19,7	19,9
EDTA-oldható Fe	mg/kg sz.a.	55,4	57,1	56,3	52,2	55,9
EDTA-oldható Mn	mg/kg sz.a.	39,0	35,5	44,7	36,5	35,6
KCl-oldható (SO ₄ ²⁻)-S	mg/kg sz.a.	15,2	14,1	15,3	12,0	14,0

Összes (HNO₃/H₂O-oldható) arzéntartalom vizsgálat

Mintavétel ideje: 2011. március 3.

Vizsgálatot végezte: KF KFK Talaj- és Növényvizsgáló Laboratórium

Minta eredeti jelölése:	T-K	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	
Terület mérete:	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	
Mintavételi mélység (cm):	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények					
(HNO ₃ /H ₂ O)-oldható As	mg/kg sz.a.	2,64	2,44	2,67	2,62	2,59	2,42

Minta eredeti jelölése:	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	
Terület mérete:	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	
Mintavételi mélység (cm):	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények				
(HNO ₃ /H ₂ O)-oldható As	mg/kg sz.a.	2,56	2,41	2,57	2,48	2,34

Mintavétel ideje: 2012. február 27.

Vizsgálatot végezte: KF KFK Talaj- és Növényvizsgáló Laboratórium

Minta eredeti jelölése:	T-K	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	
Terület mérete:	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	
Mintavételi mélység (cm):	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények					
(HNO ₃ /H ₂ O)-oldható As	mg/kg sz.a.	2,58	3,24	2,74	2,62	2,75	2,58

Minta eredeti jelölése:	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	
Terület mérete:	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	
Mintavételi mélység (cm):	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények				
(HNO ₃ /H ₂ O)-oldható As	mg/kg sz.a.	2,75	2,90	2,75	2,73	2,84

Mintavétel ideje: 2013. március 6.

Vizsgálatot végezte: KF KFK Talaj- és Növényvizsgáló Laboratórium

Minta eredeti jelölése:	T-K	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	
Terület mérete:	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	
Mintavételi mélység (cm):	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények					
(HNO ₃ /H ₂ O)-oldható As	mg/kg sz.a.	1,34	3,01	2,64	2,04	1,88	2,03

Minta eredeti jelölése:	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	
Terület mérete:	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	0,57 m ²	
Mintavételi mélység (cm):	0-30	0-30	0-30	0-30	0-30	
Vizsgálat neve	Mérték-egységek	Eredmények				
(HNO ₃ /H ₂ O)-oldható As	mg/kg sz.a.	2,65	2,60	2,07	1,85	1,65

Jelmagyarázat a minták eredeti jelöléséhez

T-K: Kontroll tenyészedények, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-1: Esőztető öntözés, 800 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-2: Esőztető öntözés, 400 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-3: Esőztető öntözés, 200 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-4: Esőztető öntözés, 100 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-5: Esőztető öntözés, 50 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta

T-6: Csepegtető öntözés, 800 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-7: Csepegtető öntözés, 400 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-8: Csepegtető öntözés, 200 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-9: Csepegtető öntözés, 100 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta
T-10: Csepegtető öntözés, 50 µg/l, 1-4 ismétlés, átlagminta

A dolgozatban szereplő vizsgálatok során alkalmazott mérési módszerek szabványjegyzéke

Talajvizsgáló módszerek

MSZ-08-0202:1977	Sampling soils for management purposes in agriculture Helyszíni mintavétel mezőgazdasági célú talajvizsgálatokhoz
MSZ-08-0206-1:1978	Evaluation of some chemical properties of the soil. General prescriptions. Preparation of soil sample. A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Általános előírások. A talajminta előkészítése.
MSZ-08-0206-2:1978	Evaluation of some chemical properties of the soil. Laboratory tests. (pH value, phenolphthaleine alkalinity expressed in soda, all water soluble salts, hydrolite /y ₁ -value/ and exchanging acidity /y ₂ -value/). A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata. Laboratóriumi vizsgálatok. (pH-érték, szódában kifejezett fenolftalein lúgosság, vízben oldható összes só, hidrolitos /y ₁ -érték/ és kicserélődési aciditás /y ₂ -érték/).
MSZ-08-0452:1980	Quantitative determination of the organic carbon content of the soil A talaj szerves széntartalmának meghatározása
MSZ 20135:1999	Determination of soluble nutrient content of the soil. A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása
MSZ 21470-1:1998	Environmental Protection. Testing of soils. Sampling. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Mintavétel.
MSZ 21470-2:1981	Environmental Protection. Testing of soils. Preparation of soil sample. Determination of electrical conduction, humidity and pH. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Talajminta előkészítése, nedvességtartalom, elektromos vezetés és pH meghatározása.
MSZ 21470-50:2006	Environmental Protection. Testing of soils. Determination of total and soluble toxic element, heavy metal and chromium(VI) content Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikus elem-, a nehézfém- és a króm(VI)tartalom meghatározása.

Növényvizsgáló módszerek

MSZ-08-1783-1:1983	Use of high capacity equipment in plant analyses. Method of chemical preparation of plant samples for the quantitative determination of mineral nutrients. Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok kémiai minta előkészítési eljárása ásványi tápanyagok mennyiségi meghatározásához.
MSZ-08-1783-15:1984	Use of high-power equipment in plant analyses. Determination of arsenic content in plant materials. Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok arzéntartalmának mennyiségi meghatározása.