



*A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Pixabay*

Várallyay Szilvia¹, Balláné Kovács Andrea², Soós Áron¹, Kovács Béla¹

Érkezett: 2017. január – Elfogadva: 2017. június

Arzénnal szennyezett talajon termesztett zöldborsó élelmiszer- és takarmánybiztonsági megítélése

Kulcsszavak: talaj arzén-terhelése, szerves arzén, BMDL, arzén felvétel növényekbe

1. Összefoglalás

A talaj, valamint a talajvíz mind természetes, mind antropogén eredetű arzén szennyezése a világ valamennyi részére kiterjedő globális probléma, amelynek tekintetében hazánk területén elsősorban az Alföld térsége érintett. Az arzénnal szennyezett talajon történő növénytermesztés által az arzén bekerülhet a táplálékláncba, ami súlyos élelmiszer-biztonsági kockázatot jelenthet. Hazánkban a zöldségtermesztő területek több mint 70%-a a természetes eredetű arzénszennyezéssel érintett Alföld területén található. A zöldborsó – amelynek élelmiszeripari jelentősége többek közt a számos feldolgozási formának köszönhető – hazánkban a második legnagyobb területen termesztett zöldségnövény. Ennek alapján munkánk arzénnal kezelt talajon termesztett zöldborsó különböző növényi részeinek (szár, levél, borsóhévely, borsószem) arzéntartalmában bekövetkező változások meghatározására irányult. A kapott eredmények alapján azt vizsgáltuk, hogy az ilyen területen termesztett borsó milyen mértékű élelmiszer- és takarmánybiztonsági kockázatot jelent. A talaj arzénszennyezettségének hatását a zöldborsó arzénfelvételére tenyészedényes kísérlet segítségével vizsgáltuk. A kísérlet során az arzént As(III) és As(V) formájában alkalmaztuk, külön-külön. Munkánk során 0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg/kg-os arzénkezeléseket alkalmaztunk. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az arzénnal szennyezett területről származó borsó fogyasztásának hozzájárulása százalékos formában a különböző daganatos megbetegedések (tüdő-, hólyag-, illetve bőrrák) esetén a WHO által megállapított BMDL_{0,5} értékhez képest egyik esetben sem haladta meg a 0,46%-ot. A takarmányok nemkívánatos szennyezőire vonatkozó, a Magyar Takarmánykódex kötelező előírásairól szóló 44/2003. (IV. 26.) FVM rendeletben [30] az arzén esetén rögzített 2 mg/kg-os határértéket, szár esetén a kontroll, a levelet illetően pedig a kontroll és a legalacsonyabb koncentrációjú kezelések (3 mg/kg) kivételével, mindkét arzén-forma tekintetében, valamennyi dózis esetén mért érték meghaladta. A borsóhévely vonatkozásában 2 mg/kg feletti As-tartalmakat a 270 mg/kg-os kezelések esetén tapasztaltunk, azonban az As(V)-kezelést illetően, a 90 mg/kg-os dózis hatására a borsóhévely As-tartalma erőteljesen megközelítette az említett határértéket.

Az Európai Unió területén élelmiszerek arzénszennyezettségét illetően azért nem jelöltek meg élelmiszerekre vonatkozó határértékeket, mert egyelőre nem áll rendelkezésre olyan adatbázis, amely az egyes élelmiszercsoportokban található szerves-szervesetlen arzénformák toxicitását jellemezné [29].

¹ Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Élelmiszertudományi Intézet

² Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrokémiai és Talajtani Intézet

2. Bevezetés és irodalmi áttekintés

Az arzén már az ókor óta ismert elemek egyike [1], felfedezése Albertus Magnus nevéhez fűződik [2]. Az arzén megítélését a történelem során kettősség jellemezte. Habár mérgező hatása már évezredek óta ismert, ennek ellenére a különböző arzén vegyületeket gyógyászati célra is felhasználták. Hippokratész az arzént már alkalmazta fekélybetegek kezelésére [3], rendszeres gyógyászati célú használatát azonban Paracelsus svájci származású orvos kezdte meg. A későbbiek során számos más orvos is használta gyógyszerként [4]. Thomas Fowler malária gyógyítására használt kis mennyiségben arzént tartalmazó oldatot, amelynek alkalmazása a későbbiek során bevett szokás volt pikkelysömör, vérszegénység, reuma, tuberkulózis, valamint szifilisz kezelése esetén is [5]. Volt idő, amikor az arzént az egészség megőrzésének érdekében rendszeresen szedték, illetve felhasználták a hagyományos kínai orvoslásban is [6]. Az arzén felhasználása a régi időkben azonban nem csak gyógyászati célú volt. A különböző arzén vegyületeket az iparban többek között fakonzerválásra használták. Mérgező hatásának köszönhetően gyomirtó és rovarölő szerként is alkalmazták [7].

Az arzénnal történő mérgezés hatékony eszköznek bizonyult a nem kívánatos személyek likvidálására is. A korabeli leírások alapján több uralkodó halála is összefüggésbe hozható az arzénnal, innen ered a „Mérgek királya, királyok mérge” elnevezés is [8]. Hazánkban 1911 és 1929 között történtek a leghírhedtebb arzénnal végzett gyilkosságok, amelyek a „tiszazugi gyilkosságok” néven híressültek el. Miután Nagyrév bábaasszonya felfedezte, hogy a légyfogó papírt vízbe áztatva arzén tartalmú oldatot lehet nyerni – amely alkalmas az élőlények elpusztítására – több asszony is e módszer segítségével mérgezte meg hozzátartozóit [9], hiszen az arzén színtelen, szagtalan, kis mennyiségben is mérgező anyag. Egészen a Marsh-próba bevezetéséig kimutathatatlan elem volt [10]. Az arzént az áldozatok ételébe, italába keverték,

így okozták halálukat [9]. Az arzén az emberi szervezetbe ma is elsősorban élelmiszerekkel, illetve ivóvízzel kerülhet [11]. Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) tanulmánya alapján az ivóvízen kívül, a különböző gabonafélék, a kávé, a sör, a rizs, a halak, valamint a zöldségek is hozzájárulnak a fogyasztók arzén terheléséhez [12]. Belégzéssel, valamint bőrön keresztül történő felszívódással is szervezetünkbe juthat, ennek mértéke azonban elhanyagolható [13].

Az arzén bizonyítottan rákkeltő, máj-, tüdő-, hólyag- és bőrdaganatot idéz elő [1]. A mérgezés tünetei azonban az arzén szervezetbe jutott mennyiségétől függően különbözőek lehetnek. Akut mérgezés esetén a tünetek gyomorrontásra emlékeztetőek: gyomorfájdalom, hányás, hidegrázás, gyengeségérzet, hasmenés. A krónikus arzénmérgezés első tünetei a bőrön jelentkeznek, először világos, majd sötét foltok jelennek meg, elsősorban a végtagok bőrfelületén. Az így kialakuló tünetegyüttest az alsó végtagokon jelentkező fekélyes fekete sebek miatt „fekete láb” betegségről is nevezik. A krónikus mérgezés tünetei főként olyan területeken jelentkeznek, ahol a lakosság magas arzéntartalmú vizet kénytelen fogyasztani. Az arzén leginkább a szaruképletekben (haj, bőr, köröm) akkumulálódik [10].

A szervezet napi arzénbevitel nagyjában függ az elfogyasztott élelmiszertől. A világ több részéről jelentettek már arzénnal szennyezett élelmiszert, ilyen élelmiszerek közé tartozott többek közt a szójaszós (Japán), tejpor (Japán), valamint italok közül a bor (Anglia, Németország) is [2]. Az emberi test arzén-tartalma, habár a korrallal együtt nő, nem haladja meg a 3-4 mg-ot. A szervezetbe kerülő arzén egy része a vizelettel kiürül. A vizelet arzén tartalma 5 és 40 µg/nap között normálisnak tekinthető, azonban akut, illetve szubakut mérgezés esetén, ez az érték meghaladhatja a 100 µg/nap-ot [14]. Az emberi szervezetben elsősorban az anionos, illetve oldható formában jelenlévő arzén specíeszek képesek felszívódni [2].



A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Pixabay



A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Pixabay

Az arzén a természetben jelen van többek közt a talajban, illetve a talajvízben is, ahol az arzén regionális jellegű feldúsulása természetes, illetve antropogén eredetű lehet [15]. Természetes eredetű arzén szennyezés elsősorban a talaj anyakőzetében lejátszódó mállás folyamán alakulhat ki, valamint ilyen jellegű szennyezéssel meleg-, illetve termálfvízforrások mellett találkozhatunk. A geológiai eseményeken túl az arzéntartalmú gyomirtó-, és rovarölő szerek használata, valamint a különböző bányászati tevékenységek és az arzéntartalmú talajvíz mezőgazdasági hasznosítása is növelte/növeli a talaj arzénszennyezettségének mértékét [16], [17]. Az arzén mind a talajban [18], [19], mind a talajvízben elsődlegesen szerves formában [2] mint arzenit [As(III)] és arzenát [As(V)] van jelen, amely formák toxikusabbak, mint a szervesek [20]. A talaj arzénszennyezettsége bizonyos területeken elérheti a 2553 mg/kg-ot, ilyen magas értékek azonban főként emberi tevékenység hatására alakulnak ki [21]. A talaj, valamint a talajvíz arzén szennyezettsége globális probléma [2], [22], amely hazánkban elsősorban az Alföld területén van jelen, itt a legnagyobb gondot a felszín alatti vízkészlet geológiai eredetű arzén-tartalma jelenti [23], [24]. A termőtalaj, valamint a talajvíz arzénszennyezettségének problémája jelen van többek közt Kína, India, Thaiföld, az Amerikai Egyesült Államok, valamint Banglades egyes területein is [2].

Az arzénnal szennyezett vízzel történő öntözés, valamint az ilyen jellegű szennyezést tartalmazó talajon történő növénytermesztés által az arzén bekerülhet a táplálékláncba. 1988 és 2011 között – a WHO által közölt adatok értelmében – az ideiglenesen megállapított tolerálható heti beviteli érték (PTWI) szerves arzén esetén 0,015 mg/ttkg/hét volt. Mivel a szerves arzénvegyületek már ennél kisebb mennyiségben is megnövelik a daganatos megbetegedések kialakulásának kockázatát, ezért a FAO és a WHO által felállított szakértői bizottság 2011-ben kiadott értékelésében a korábban megállapított határértéket már nem tartotta megfelelőnek, hiszen a rákkeltő anyagokra

nézve az esetek többségében a rákbetegség kialakulási mechanizmusából következően még biztonságosnak nevezhető beviteli érték sem adható meg. Az egészségügyi kockázat megítélésére ilyen anyagok esetén az úgynevezett benchmark dózis (BMDL – benchmark dose level) megközelítést használják. A WHO 2011-ben kiadott értékelésben BMDL_{0,5} értéket adott meg a szerves arzén kötésben található arzénra a különböző daganatos megbetegedéseket illetően [25]. A BMDL_{0,5} érték a rákkeltő hatás vizsgálata során a kísérleti állatok 0,5%-ban daganatos megbetegedést kiváltó, legkisebb rákkeltő dózis 95%-os valószínűséggel megadott értékének alsó szintje.

Kutatómunkánk célja arzénnal szennyezett területen termesztett zöldborsó élelmiszer-, valamint takarmánybiztonsági megítélésének vizsgálata volt, hiszen a hazai zöldségtermesztő területek több, mint 70%-a az Alföld térségében található, a hazánkban termesztett zöldségek közül pedig a borsó a legnagyobb területen jelenlévő növény. Annak érdekében, hogy az arzénnal egyre nagyobb mértékben szennyezett területen termesztett zöldborsó fogyasztásából, valamint takarmányipari felhasználásából eredő egészségügyi kockázat mértékét megállapítsuk, tenyészedényes kísérletet állítottunk be.

3. Anyag és módszer

A Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Agrokémiai és Talajtani Intézet tenyészházában tenyészédénes kísérletet állítottunk be zöldborsó (*Pisum sativum* L.) tesztnövényvel. A kísérlet során használt Avola borsó – konzerv- és hűtőipari felhasználásra való alkalmasságának köszönhetően – az egyik legkedveltebb korai érésű, velő típusú borsófajta.

3.1. A kísérlet során alkalmazott talaj ismertetése

A borsó számára legmegfelelőbb a löszön kialakult meszes vagy mészlepedékes csernozjom talajtípus.

A kísérlet során a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Hajdúsági löszháton elterülő Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészlepedékes csernozjom talajt használtuk fel, amelynek jellemzői megegyeznek a Kovács és munkatársai [26] kísérletében felhasznált talajával. A kísérlet során alkalmazott talaj NPK-ellátottságát, a borsó fajlagos tápanyagigényét, valamint a tervezett termésátlagot figyelembe véve NPK-műtrágyázást alkalmaztunk, amely során a nitrogént NH_4NO_3 , a foszfort KH_2PO_4 , a káliumot pedig KH_2PO_4 , illetve K_2SO_4 formájában juttattuk a talajba.

3.2. A kísérlet során alkalmazott arzén-kezelések

Kísérletünk során az arzént nátrium-arzenit [As(III)] (NaAsO_2), valamint kálium-arzenát [As(V)] (KH_2AsO_4) formájában ioncserélt vízben feloldva alkalmaztuk, hiszen az arzén a talajban elsősorban ebben a két szerves formában fordul elő. Munkánk során úgy az arzenit, mint az arzenát esetében 0, 3, 10, 30, 90 és 270 mg/kg-os kezeléseket alkalmaztunk, amelyek során a szükséges koncentrációkat arzénra nézve, illetve a talajra vonatkoztatva számoltuk ki. Minden kezelés esetén három ismétlést állítottunk be.

3.3. Tenyészedenyes kísérlet bemutatása

A kísérlet során az egyes tenyészedenyekbe 11-11 kg légszáraz, 1x1 cm lyukátmérőjű szitán átszitált talajt mértünk be, amelyhez a műtrágyát, valamint az arzenit, illetve arzenátot oldatok formájában (edényenként 100-100 cm^3) adagoltuk. A kísérletben a kontrolkezelések mellett, mind arzenát, mind arzenit esetén 5-5 kezelési szintet állítottunk be 3 ismétlésben, amely összesen 33 db tenyészedenyt eredményezett.

A talaj bekeverése (2016.04.05.) során kiemelt figyelmet fordítottunk a homogenitásra. A talajfelszín fellazítását, valamint 200 cm^3 desztillált vízzel történt öntözését követően edényenként 25-25 db borsószemet vetettünk el, megközelítőleg 3-4 cm mély-

ségben. A tápközeg felszínének tömörítése után az edényeket a tenyészházi kocsiokon véletlen-blokk elrendezésben helyeztük el, eső esetén, illetve éjszaka tető alatt tartottuk. A vetőmag kelését követően a növények számát edényenként 16 db-ra ritkítottuk, majd a talaj nedvesség-tartalmát a maximális szántóföldi vízkapacitás 60%-ára állítottuk be. A vízpárolgás (evaporáció), valamint a növény szabályozott vízleadásának (transzspiráció) következtében fellépő vízvesztésüket tömegkiegészítés alapján naponta pótoltuk. A kísérlet felszámolására a borsó fejlődésének negyedik fenofázisában (teljes érés) került sor, amely során elemanalitikai vizsgálatra minden egyes edényből 4-4 db növényt különítettünk el. A növényeket szár, levél, borsóhévely és borsószem részekre választottuk szét, majd szárítószekrényben 65°C-on tömegállandóságig szárítottuk.

3.4. Növényi minták vizsgálata

Az elemanalitikai vizsgálatokat a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Élelmiszertudományi Intézetében végeztük el.

A tömegállandóságig szárított növényi mintákat homogenizáltuk, majd a megfelelően előkészített mintákból megközelítő pontossággal 0,1 g-ot mértünk be hőálló kémcsövekbe. A mintákhoz 1 cm^3 salétromsavat (65 m/m%, Scharlau Chemie, Spanyolország) adtunk, majd egy éjszakán át állni hagytuk. Másnap a kémcsöveket LABOR MIM OE-718/A típusú elektromos blokkroncsoló készülék fűtőegységébe helyeztük, melynek segítségével az előroncsolást 30°C-on 60 percen keresztül végeztük. A mintaoldatokhoz ezt követően 0,3 cm^3 30%-os hidrogén-peroxidot (Darmstadt, Merck, Németország) adagoltunk. A savas-peroxidos főroncsolás pedig 120°C-on 90 percig zajlott. Az elroncsolt mintákat szobahőmérsékletre hűtöttük, majd 18,2 $\text{M}\Omega$ /cm ellenállású ioncserélt vízzel 10 cm^3 -re egészítettük ki [27]. A minták feltárásával párhuzamosan vakpróbákat is készítettünk.

1. táblázat. Az ICP-MS készülék mérési paramétereit
Table 1 Measurement parameters of the ICP-MS instrument

RF teljesítmény / RF power	1.4 kW / 1.4 kW
Hűtőgáz áramlási sebesség / Cooling gas flow rate	13.5 dm^3 /perc / 13.5 dm^3 /min
Segédgáz áramlási sebesség / Auxiliary gas flow rate	0.9 dm^3 /perc / 0.9 dm^3 /min
Porlasztógáz áramlási sebesség / Nebulizer gas flow rate	0.91 dm^3 /perc / 0.91 dm^3 /min
Minta áramlási sebesség / Sample flow rate	0.47 dm^3 /perc / 0.47 dm^3 /min
Pole Bias / Pole Bias	-18.0 V / -18.0 V
Hexapole Bias / Hexapole Bias	-7.8 V / -7.8 V
He CCT gázkeverék / He CCT gas mixture	6 cm^3 /perc / 6 cm^3 /min
Ismétlés szám (main run) / Main run	3 db / 3
Mérési idő (dwell time) / Dwell time	100 ms / 100 ms
Kiolvasások száma (sweep) / Sweep	9 db / 9

3.5. Elemanalitikai vizsgálatok

A minták arzéntartalmának meghatározásához Thermo Scientific X-Series 2 Quadrupole típusú indukzív csatolású plazma tömegspektrométert (ICP-MS) alkalmaztunk. A készülék mérési paramétereit az **1. táblázat** tartalmazza.

A kis koncentrációk analízise során fellépő zavaró hatások kiküszöbölésére ütközési cellás (CCT - collision cell technology) mérési módszert és 7% hidrogént tartalmazó hélium CCT gázt használtunk. A vizsgálatok során belső standard alkalmazására is szükség volt, a nem spektrális zavaró hatások kiküszöbölésének érdekében. A belső standard olyan elemet vagy elemeket jelent, amelyeknek a mintában való előfordulási valószínűsége csekély. Az általunk belső standardként alkalmazott elem a Rh volt (40 µg/L).

3.6. Statisztikai módszer

Az eredmények statisztikai kiértékelésére SPSS 22.0 statisztikai programot alkalmaztunk. A paraméterek és az egyes tényezők közötti összefüggés statisztikai vizsgálatához egytényezős variancia analízist és Tukey-tesztet használtunk. 5%-os P-érték alatt tekintettük az eltéréseket szignifikánsnak. Az azonos szinten, de eltérő formában történő arzén kezelés hatásának összehasonlítására kétmintás T-próbát végeztünk.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Arzenit- és arzenát-kezelés hatása zöldborsó termésének arzén-tartalmára

A növekvő koncentrációjú arzenit-, illetve arzenát-kezelések hatására a borsószemek arzéntartalmában bekövetkező változásokat a **2. táblázat** szemlélteti.

A borsószemek arzén-tartalmának meghatározására irányuló analitikai vizsgálatok eredménye alapján megállapítható, hogy a termőtalaj növekvő arzén-tartalmának hatására folyamatosan nőtt a zöldborsó termésének arzénkoncentrációja. Az As(V)-kezelés esetén már a legkisebb dózis is szignifikánsan növelte a borsószem arzéntartalmát, az As(III)-kezelést illetően azonban csak a 90 mg/kg-os kezelés hatására következett be szignifikáns növekedés. Az As(V)-kezeléseknél megállapítható továbbá, hogy a 10 és 30 mg/kg-os kezelés esetén a borsószem arzénkoncentrációjának tekintetében szignifikáns eltérés nem volt megfigyelhető. Az azonos szinten, de eltérő formában történő kezelések hatása közt statisztikailag kimutatható különbség nem volt tapasztalható.

A legnagyobb mértékű növekedést természetesen a 270 mg/kg-os kezelés okozta. Amennyiben az arzént arzenit [As(III)] formájában adtuk a talajhoz a szemtermés arzéntartalma 15,5-szer volt nagyobb, mint a kontroll növény esetén mért érték. Amikor arzenátot alkalmaztunk [As(V)], a kontrollhoz képest 11-szeres értéket kaptunk.

4.2. Arzénnal szennyezett területen termesztett zöldborsó fogyasztásának élelmiszer-biztonsági megítélése

A tenyészedényes kísérletből származó borsószemek elemanalízisét követően vizsgáltuk, hogy az arzénnal egyre nagyobb mértékben szennyezett termőtalajon történő borsótermesztés milyen mértékű élelmiszer-biztonsági kockázatot hordoz magában. Mivel arzén esetén a tolerálható heti beviteli érték tekintetében a WHO álláspontja alapján 2011-ben változás történt, így vizsgáltuk, hogy az arzénnal különböző mértékben szennyezett területről származó borsó fogyasztásának milyen mértékű élelmiszerbiztonsági kockázatot tulajdonítottak 2011 előtt, valamint 2011 után.

2. táblázat. Növekvő koncentrációjú arzenit- és arzenát-kezelés hatása zöldborsó szemtermésének arzéntartalmára
Table 2 Effect of arsenite and arsenate treatments of increasing concentrations on the arsenic content of green pea seeds

Arzén-kezelés (mg/kg) Arsenic treatment (mg/kg)	Borsószem arzén-tartalma eltérő formájú arzén kezeléseknél friss tömegre vonatkoztatva (mg/kg) Arsenic content of pea seeds in the case of treatments using different forms of arsenic on an as-is basis (mg/kg)	
	As(III)	As(V)
0	0.0284±0.0041 ^a	0.0284±0.0041 ^a
3	0.0727±0.0091 ^a	0.0740±0.003 ^b
10	0.0891±0.0022 ^a	0.112±0.016 ^c
30	0.0921±0.0031 ^a	0.115±0.015 ^c
90	0.220±0.051 ^b	0.237±0.020 ^d
270	0.439±0.051 ^c	0.304±0.011 ^e

Az azonos oszlopban azonos felső indexszel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$).

There is no significant difference within the same column between treatments designated by the same index ($P \leq 0.05$).

A kockázat nagyságának megállapításához egyrészt a 2010-es (0,9 kg/fő/év), másrészt a KSH adatbázisban megtalálható legfrissebb, azaz a 2014-es évre vonatkozó (0,8 kg/fő/év) egy főre eső zöldborsó fogyasztási adatokat vettük alapul. A 2010-ben az arzént illetően a tolerálható heti beviteli érték a WHO által közölt adatok alapján 0,015 mg/ttkg/hét volt. Így ebben az esetben lehetőségünk volt arra, hogy a kockázat mértékét a tolerálható bevitel és a becsült étrendi bevitel hányadosa alapján állapítsuk meg (**3. táblázat**). A kockázatbecslést 70 kg-os emberre nézve végeztük el.

A táblázatban közölt adatokat az alábbi összefüggések alapján határoztuk meg:

Kockázat = $a/b = a/(c \cdot d)$, ahol

a = a WHO által javasolt napi tolerálható érték a heti adatból számolva (mg/ttkg/nap)

b = a becsült napi étrendi As-bevitel egy testtömeg-kilogrammra számolva 70 kg átlagos testtömeből számolva (mg/ttkg/nap)

c = a napi becsült zöldborsó-fogyasztás 0,9 kg fő/év adatból számolva (kg)

d = a borsó As-tartalma (mg/kg)

Amennyiben a tolerálható bevitel és a becsült étrendi bevitel hányadosa meghaladja a 10-et [**31**], az adott élelmiszer fogyasztását nem tekinthetjük kockázatosnak. Mivel a 2010-es évet illetően a kockázatbecslés során kapott valamennyi érték nagyobb volt, mint 10, így még a legnagyobb koncentrációjú arzénkezelésben (270 mg/kg) részesített talajon termesztett borsó esetén is elhanyagolható mértékű annak a kockázata, hogy fogyasztása bármilyen egészségkárosodást okozna.

3. táblázat. A tolerálható bevitel és a becsült étrendi bevitel hányadosa a növekvő koncentrációjú arzénkezelések függvényében
Table 3 Ratio of the tolerable intake and the estimated dietary intake as a function of increasing arsenic treatment concentrations

Arzén-kezelés (mg/kg) Arsenic treatment (mg/kg)	Kockázat (tolerálható bevitel/becsült étrendi bevitel) Risk (tolerable intake/estimated dietary intake)	
	As(III)	As(V)
0	2140	2140
3	856	823
10	690	549
30	669	535
90	278	258
270	143	200

4. táblázat. Arzénnal szennyezett zöldborsó fogyasztásának (0,8 kg/fő/év) hozzájárulása százalékos formában a különböző daganatos betegségek esetén megállapított BMDL_{0,5} értékhez
Table 4 Percentage contribution of the consumption of arsenic-contaminated green peas (0.8 kg/person/year) to the BMDL_{0.5} values determined for various cancers

Arzén-kezelés (mg/kg) Arsenic treatment (mg/kg)	Arzénnal szennyezett zöldborsó fogyasztásának (0.8 kg/fő/év) hozzájárulása százalékos formában a különböző daganatos betegségek esetén megállapított BMDL _{0,5} értékhez Percentage contribution of the consumption of arsenic-contaminated green peas (0.8 kg/person/year) to the BMDL _{0.5} values determined for various cancers					
	Tüdőrák Lung cancer		Hólyagrák Bladder cancer		Bőrrák Skin cancer	
	As(III)	As(V)	As(III)	As(V)	As(III)	As(V)
0	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
3	0.08	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04
10	0.09	0.12	0.05	0.07	0.05	0.06
30	0.10	0.12	0.06	0.07	0.05	0.07
90	0.23	0.25	0.13	0.14	0.13	0.14
270	0.46	0.32	0.26	0.18	0.25	0.18

A 2014-es évre vonatkozóan az élelmiszerbiztonsági kockázat mértékét már nem a tolerálható bevitel és a becsült étrendi bevitel hányadosa alapján határoztuk meg, hiszen 2014-ben az arzén tekintetében már nem volt tolerálható beviteli érték. A WHO 2011-ben kiadott értékelésében $BMDL_{0,5}$ értéket adott meg a szervesetlen kémiai kötésben található arzénra a különböző daganatos megbetegedéseket illetően a következőkben ismertetettek szerint: a tüdőt érintő rosszindulatú daganatos megbetegedés esetén $3 \mu\text{g}/\text{ttkg}/\text{nap}$, hólyagdaganat esetén $5,2 \mu\text{g}/\text{ttkg}/\text{nap}$, a bőrrákot illetően pedig $5,4 \mu\text{g}/\text{ttkg}/\text{nap}$ a $BMDL_{0,5}$ érték [25]. A növekvő koncentrációjú arzénit-, illetve arzénátkezelésben részesített talajon termesztett zöldborsó fogyasztásának élelmiszerbiztonsági hatását annak alapján becsültük, hogy fogyasztása milyen mértékben járul hozzá bizonyos daganatos megbetegedések esetén megállapított $BMDL_{0,5}$ értékhez.

A zöldborsó fogyasztása révén felvett arzén mennyiségének százalékos hozzájárulását ($BMDL_{0,5}$) az egyes daganatos betegségek kialakulásához, az alábbi összefüggések szerint számoltuk:

$$\text{Hozzájárulási}\% = b/BMDL_{0,5(i)}$$

b = a becsült napi étrendi As-bevitel egy testtömegkilogrammmra számolva 70 kg átlagos testtömegből számolva (mg/ttkg/nap) a 3. táblázat értékeinél említett módon;

$BMDL_{0,5(i)}$ = adott betegség esetén megállapított értékek ($\mu\text{g}/\text{ttkg}/\text{nap}$), az egyes betegségekre megadva:

$$BMDL_{0,5(\text{tüdő})} = 3,0 \mu\text{g}/\text{ttkg}/\text{nap}$$

$$BMDL_{0,5(\text{hólyag})} = 5,2 \mu\text{g}/\text{ttkg}/\text{nap}$$

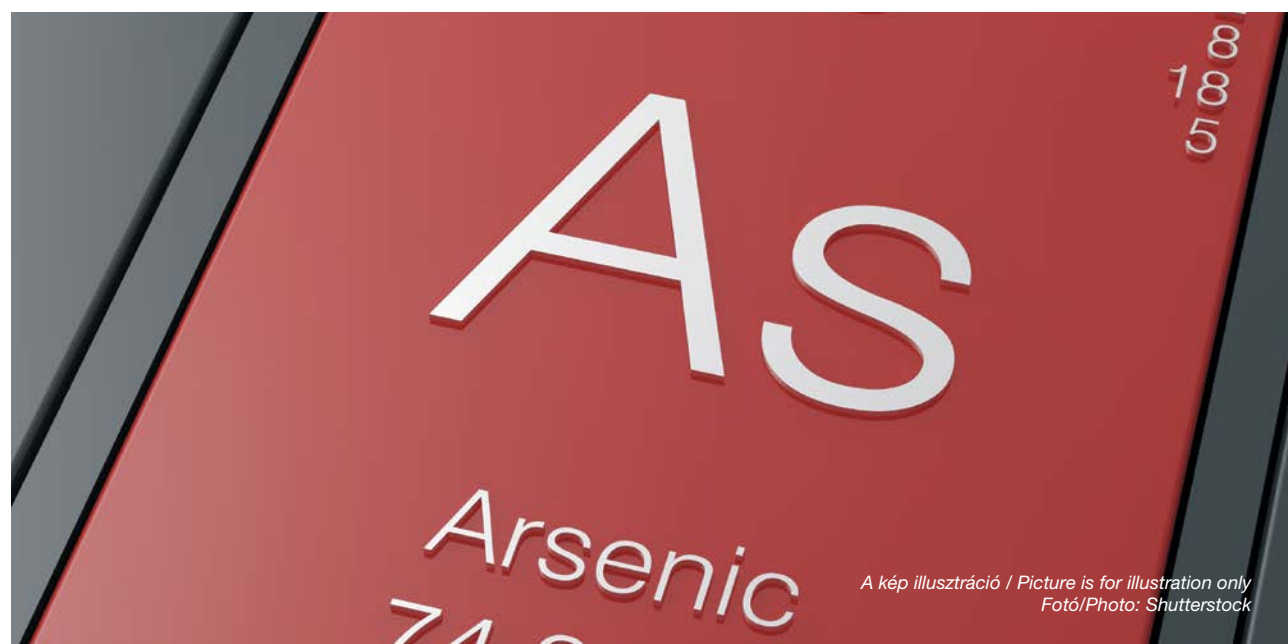
$$BMDL_{0,5(\text{bőr})} = 5,4 \mu\text{g}/\text{ttkg}/\text{nap}$$

A kapott eredményeket a **4. táblázat** szemlélteti.

A hólyagrák, valamint a bőrrák esetén leírt $BMDL_{0,5}$ értékhez a kontroll talajon nevelt zöldborsó szemtermésének fogyasztása 0,02%-kal járul hozzá, tüdőrák esetén ez az érték 0,03%. Mivel a növekvő koncentrációjú arzénit-, illetve arzénátkezelések hatására folyamatosan nőtt a borsószem arzénkoncentrációja, így az egyre nagyobb arzénit-, illetve arzénátterhelésnek kitett talajon termesztett zöldborsó fogyasztása egyre nagyobb mértékben járul hozzá a bőr, a hólyag, valamint a tüdő rosszindulatú daganatos megbetegedésének kialakulásához. Fontos azonban megjegyezni, hogy a legmagasabb arzén-tartalmat a szemtermésben a 270 mg/kg-os As(III)-kezelés esetén mértük, az ilyen szennyezett talajról származó borsószem fogyasztásának hozzájárulása a daganatos megbetegedések esetén meghatározott $BMDL_{0,5}$ értékhez az alábbiak szerint alakul: tüdőrák esetén 0,46%, hólyagrák esetén 0,26%, valamint bőrrák esetén 0,25%. Összességében annak valószínűsége, hogy a szennyezett területről származó zöldborsó elfogyasztása egy adott populáció 0,5%-nál daganat kialakulását idézné elő, rendkívül kicsi.

4.3. Arzénnal szennyezett területen termesztett zöldborsó takarmányként való felhasználása

A borsó betakarítása után visszamaradó, az élelmiszeripar szempontjából értéktelen növényi részek, mint a szár és a levél, valamint az élelmiszeripari feldolgozás során visszamaradó hüvely kiváló takarmány. Ebből adódóan a talaj arzén-terhelésének tükrében e növényi részek arzén-tartalmában bekövetkező változások vizsgálata is kiemelkedő jelentőségű. A haszonállatok arzénnal szennyezett takarmánnyal történő etetése egyrészt veszélyeztetheti az állatok egészségét, hiszen az arzén bizonyítottan toxikus nemcsak az emberek, de az állatok számára is, másrészt bár annak a valószínűsége, hogy az arzén a takarmányból bekerülne az állati termékekbe, kicsi, azonban nem kizárható. Így az állatok arzénnal szennyezett területről származó zöldborsó különböző



részeivel történő takarmányozása közvetve kockázatot jelenthet akár az emberi egészségre nézve is. A takarmányok nemkívánatos szennyezőire vonatkozóan a Magyar Takarmánykódex kötelező előírásairól szóló 44/2003. (IV. 26.) FVM rendeletben [30] foglaltak vannak érvényben, melynek értelmében a zöldborsó takarmányozásra szánt részeinek arzéntartalma nem haladhatja meg a 2 mg/kg-ot 12%-os nedvesség-tartalom mellett. Annak érdekében, hogy megállapítsuk az arzénnal szennyezett termőterületen termesztett, élelmiszeripari felhasználásra szánt zöldborsó visszamaradó, takarmányként hasznosítható részeinek arzéntartalmát, a borsó szárát, levelét, valamint a borsóhüvelyt elemanalitikai vizsgálatnak vetettük alá. A vizsgálat során kapott eredményeket az **5. táblázat** foglalja össze.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a talaj növekvő arzénkoncentrációjának hatására a zöldborsó szárának és levelének arzéntartalma monoton nőtt. A borsóhüvely esetén az átlagok tekintetében folytonosan növekvő tendencia csak az As(V)-kezeléseknél volt megfigyelhető.

A mérési eredmények alapján a hüvely arzén-koncentrációja a 90 mg/kg-ot meg nem haladó As(III)-kezelések esetén alacsonyabb volt, mint a takarmányok arzén-tartalmára vonatkozó előírásban rögzített 2 mg/kg-os határérték. A legnagyobb kezelés (270 mg/kg) hatására azonban jelentős növekedés következett be. A 270 mg/kg-os kezelésnél tapasztalt érték a 90 mg/kg-os kezelés esetén mért arzénkoncentrációnál 6,14-szer, a rendeletben rögzített határértéknél pedig 2,36-szor nagyobb volt. Az As(V)-kezelések tekintetében a 90 mg/kg-nál alacsonyabb dózisú kezelések esetén a borsóhüvely arzén-tartalma határérték alatti volt. A 90 mg/kg-os kezelésnél mért arzén-tartalom ($1,93 \pm 0,13$ mg/kg) azonban már

erőteljesen megközelítette a 2 mg/kg-os határértéket. A legnagyobb As(V)-dózis (270 mg/kg) hatására a hüvely arzéntartalma nagymértékben megnőtt. A 270 mg/kg-os kezelés esetén tapasztalt arzén-tartalom az előírt határértéknél 8-szor, az annál alacsonyabb kezelés esetén (90 mg/kg) mért értéknél pedig több mint 8,29-szer volt nagyobb.

A tenyészedényben nevelt zöldborsó szárának elemanalízise során mért értékeket figyelembe véve megállapítható, hogy mind az As(III)-, mind az As(V)-dózisok tekintetében a kontroll növény kivételével valamennyi kezelés esetén a szár arzéntartalma meghaladta a 2 mg/kg-ot. A talaj növekvő koncentrációjú As(III), illetve As(V)-terhelésének hatására drasztikusan nőtt a szár arzénkoncentrációja. A legmagasabb arzén-dózis (270 mg/kg) hatására a szár As(III)-kezelés esetén 25,5-ször, As(V)-kezelés esetén pedig a megengedettnél 90-szer több arzént tartalmazott.

A növekvő koncentrációjú As(V) és As(III)-kezelések hatására a levél As-tartalmában oly mértékű növekedés következett be, hogy a 3 mg/kg-ot meghaladó kezelések esetén a levél As-tartalma nagyobb volt, mint 2 mg/kg.

A zöldborsó takarmányozásra hasznosítható részeinek arzéntartalma alapján a következő sorrend állítható fel: szár > levél > hüvely. Az arzéntartalom meghatározására irányuló vizsgálatok eredménye alapján megállapítható továbbá, hogy az átlagok tekintetében a levél, illetve szár esetén az As(V)-kezelések hatására nagyobb mennyiségű arzén akkumulálódott az említett növényi szervekben, mint As(III)-kezelések esetén. A borsóhüvely tekintetében azonban ez a tendencia csak a 90 és 270 mg/kg-os kezelések esetén volt megfigyelhető. Az alacsonyabb koncentrációjú kezelések (0, 3, 10 mg/kg) esetén az ellenke-

5. táblázat. Növekvő koncentrációjú arsenit-, illetve arsenátkezelés hatása a zöldborsó különböző részeinek (szár, levél, hüvely) arzén-tartalmára

Table 5 Effect of increasing concentration arsenite and arsenate treatments on the arsenic content of the different parts (stalk, leaves, pods) of green peas

Arzén-kezelés (mg/kg) Arsenic treatment (mg/kg)	A különböző növényi részek arzén-tartalma (mg/kg) 12%-os nedvesség-tartalom esetén Arsenic content (mg/kg) of the different plant parts at a moisture content of 12%					
	Szár / Stalk		Levél / Leaves		Hüvely / Pods	
	As(III)	As(V)	As(III)	As(V)	As(III)	As(V)
0	0.661±0.04 ^a	0.661±0.04 ^a	0.443±0.043 ^a	0.443±0.043 ^a	0.243±0.014 ^a	0.242±0.014 ^a
3	2.14±0.03 ^{ab}	2.45±0.23 ^a	1.31±0.11 ^a	1.43±0.40 ^a	0.739±0.119 ^a	0.525±0.020 ^a
10	4.81±0.54 ^b	6.13±0.04 ^{ab**}	2.49±0.27 ^a	2.89±0.09 ^a	0.706±0.046 ^a	0.673±0.033 ^a
30	5.56±0.06 ^b	7.91±0.16 ^{ab***}	5.29±0.12 ^a	5.67±0.17 ^{a*}	0.695±0.110 ^a	0.695±0.001 ^a
90	19.2±7.8 ^b	29.8±0.8 ^b	16.4±2.3 ^c	20.1±0.3 ^b	0.770±0.031 ^a	1.93±0.13 ^{b*}
270	51±3 ^c	180±9 ^c	27±2 ^d	114±13 ^{c***}	4.73±1.11 ^b	16±0.7 ^{c*}

Az azonos oszlopban azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$).

Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzén kezelés esetén: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$;

*** $p < 0,001$.

There is no significant difference within the same column between treatments designated by the same letter ($P \leq 0.05$).

Significant difference in the case of arsenic treatments at the same level, but using different forms of arsenic: * $p < 0.05$;

** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

zójét tapasztaltuk, a 30 mg/kg-os kezelés kivételével, ahol az eltérő formájú arzén kezelések hatása között az átlagok tekintetében nem volt megfigyelhető különbség.

Amennyiben a borsó levelének és szárának arzén-tartalma nem haladja meg Magyar Takarmánykódexben [30] előírt határértéket, úgy ezen részek takarmányként is hasznosíthatóak lehetnek.

Az arzénnal szennyezett borsó takarmányként való felhasználásából eredő élelmiszerbiztonsági kockázat nagyságát azonban a takarmány arzén-tartalma alapján nem lehet meghatározni, ehhez etetési kísérletek kivitelezése szükséges.

5. Következtetések

A termőtalaj növekvő koncentrációjú arzén-terhelésének hatására a zöldborsó valamennyi növényi szervének arzén-tartalmában növekedés következett be. Az arzénnal szennyezett zöldborsó fogyasztásának hozzájárulása százalékos formában a különböző daganatos betegségek esetén a WHO által megállapított BMDL_{0.5} értékhez valamennyi esetben nem haladja meg a 0,46%-ot, vagyis a tüdő-, a hólyag-, illetve a bőrrák kialakulásának kockázata elhanyagolható mértékű. A növekvő koncentrációjú arzén-, valamint arzenátkezelésben részesített talajon termesztett zöldborsó takarmányként hasznosítható részeinek (szár, levél, hüvely) arzén-tartalma alapján megállapítható, hogy a takarmányok nemkívánatos szennyezőire vonatkozó, a Magyar Takarmánykódex kötelező előírásairól szóló 44/2003. (IV. 26.) FVM rendeletben [30] rögzített 2 mg/kg-os határértéket a borsóhüvely As-tartalma mind a 270 mg/kg-os As(III)-, mind As(V)-kezelés esetén túllépte, továbbá a borsóhüvely As-koncentrációja az említett határértéket a 90 mg/kg-os As(V)-kezelés esetén erőteljesen megközelítette. A szár esetén a kontrollnövények kivételével valamennyi dózis, míg levél esetén a 3 mg/kg-ot meghaladó kezelések esetén mértünk határérték feletti As-tartalmat.

A kísérletek alapján várható, hogy a környezetszennyezésből származó arzén növényi eredetű alapanyagok felhasználása esetén elhanyagolható mértékben fogja szennyezni az élelmiszerlánc elemeit.

A növényekbe felszívódó arzén kémiai formáit specifikációs analízissel nem volt alkalmunk meghatározni, de feltételezzük, hogy az arzén jelentős része szerves kötésbe került. Ez azért biztató, mert köztudomású, hogy az arzén szerves vegyületei sokkal kevésbé toxikusak, mint a szervetlenek [28].

6. Irodalom

- [1] Nriagu, J.O., Bhattacharya, P., Mukherjee, A.B., Bundschuh, J., Zevenhoven, R., Loepfert, R.H. (2007): Arsenic in soil and groundwater: an overview. In: Bhattacharya, P., Mukherjee, A.B., Bundschuh, J., Zevenhoven, R., Loepfert R.H. (eds.). Trace Metals and other Contaminants in the Environment. Volume 9. p. 3-60
- [2] Mandal, K.B., Suzuki, T.K. (2002): Arsenic around the world: a review. *Talanta*. 58. p. 201-235
- [3] Hughes, M.F., Beck, B.D., Chen, Y., Lewis, A.S., Thomas, D.J. (2011): Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicol Sci*. 123(3). p. 305-332
- [4] Frith, J. (2013): Arsenic – the “Poison of Kings” and the “Saviour of Syphilis”. *Journal of Military and Veterans’ Health*. 21. p. 11-17
- [5] Scheindlin, S. (2005): The duplicitous nature of inorganic arsenic. *Molecular Interventions*. 5. p. 60-64
- [6] Cullen, W.R. (2008): Some sociochemistry of arsenic. 2 Int. Congress Arsenic in Environ. Book Abstr., Valencia, p. 21
- [7] Zhao, J., Ma, J.F., Meharg, A.A., McGrath, S.P. (2008): Arsenic uptake and metabolism in plants. *New Phytologist*. 181. p. 777-794
- [8] Vahidnia, A., Voet, G.B., Wolff, F.A. (2007). Arsenic neurotoxicity – a review. *Human Experiment Toxicol*. 26. p. 823-832
- [9] Fülöp, M., Hamrák, D., Kenesei, Zs., Lakatos, S., Mravik, P., Mécs, B. (2014). Arzén a Tiszazugban. *Médiakutató*. XV(3). p. 7-23
- [10] Prokisch, J. (2010): Vigyázat, mérge! Az öt legveszélyesebb mérgező fém a környezetünkben: arzén, ólom, higany, kadmium és króm(VI). p. 1-90
- [11] Azizur Rahmana, M., Hasegawa, H., Mahfuzur Rahman, M., Mazid Miah, M.A., Tasmin A. (2008): Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): Human exposure through food chain. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 69. p. 317-324
- [12] Az EFSA tudományos álláspontja az élelmiszerek arzén szennyezettségéről: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efa.2009.1351/pdf>
Hozzáférés: 2016. 09. 10.
- [13] Hong, J.S., Song, K.H., Chung, J.Y. (2014): Health Effects of Chronic Arsenic Exposure. *J Prev Med Public Health*. 47. p. 245-252
- [14] Arnold, H.L., Odam R.B., James, W.D. (1990): Disease of the skin *Clinical Dermatology*, 8th ed., Saunders W.B. Company, Philadelphia. p. 121.

- [15] Chilvers, D. C., Peterson, P. J. (1987): Global cycling of arsenic. In: Hutchinson T. C., Mee-ma K. M. (eds.) Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment. 31. p. 279-301
- [16] Williams, P. N., Price, A. R., Raab, A., Hossain, S. A., Feldmann, J., Meharg, A. A. (2005): Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure. *Environmental Science and Technology*. 39. p. 5531-5540
- [17] Gonzaga, M. I. S., Santos, J. A. G., Ma, L. Q. (2006): Arsenic phytoextraction and hyperaccumulation by fern species. *Scientia Agricola*. 63. p. 90-101
- [18] Koch, I., Wang, L., Ollson, C. A., Cullen, W. R., Reimer, K. J. (2000): The predominance of inorganic arsenic species in plants from Yellowknife, Northwest territories, Canada. *Environmental Science and Technology*. 34. p. 22-26
- [19] Mattusch, J., Wennrich, R., Schmidt, A. C., Reisser, W. (2000): Determination of arsenic species in water, soils and plants. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*. 366. p. 200-203
- [20] Ullrich-Eberius, C. I., Sanz, A., Novacky, A. J. (1989): Evaluation of arsenate- and vanadate-associated changes of electrical membrane potential and phosphate transport in *Lemna gibba* G1. *Journal of Experimental Botany*. 40. p. 119-128
- [21] Walsh, L. M., and Keeney, D. R. (1975): Behaviour and Phytotoxicity of Inorganic Arsenicals in Soils. In "Arsenical Pesticides" (E. A. Woolson, ed.), Am. Chem. SOC., Washington, D.C., p. 35-53
- [22] Liao, X. Y., Chen, T. B., Lei, M., Huang, Z. C., Xiao, X. Y., An, Z. Z. (2004): Root distributions and elemental accumulations of Chinese brake (*Pteris vittata* L.) from As-contaminated soils. *Plant and Soil*. 261. p. 109-116
- [23] Varsanyi, I. (1989): Arsenic in deep groundwater, in: D.L. Miles (Ed.), *Proceedings of the 6th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-6)*, Malvern, Publisher AA Balkema, Rotterdam/Brookfield. p. 715-718
- [24] Rowland, H. A. L., Omoregie, E. O., Millot, R., Jimenez, C., Mertens, J., Baciu, C., Hug, S. J., Berg M. (2011): Geochemistry and arsenic behaviour in groundwater resources of the Pannonian Basin (Hungary and Romania). *Applied Geochemistry*. 26. p. 1-17
- [25] A WHO honlapja <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1863>
Hozzáférés: 2016. 09. 03.
- [26] Kovács, B., Puskás-Preszner, A., Huzsvai, L., Lévai, L., Bódi, É. (2015): Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 96. p. 38-44
- [27] Kovács, B., Gyóri, Z., Prokisch, J., Loch, J., Dániel, P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27. p. 1177-1198
- [28] Sugár É., Mihucz V. G., Zárny Gy. (2014): Arzénvizsgálatok ivóvízből és élelmiszerekből. *Élelmiszervizsgálati Közlemények LX/2.* p. 163
- [29] Szigeti T. J. (2015): Különböző víz- és élelmiszerminták arzéntartalmának vizsgálati eredményei. *Élelmiszervizsgálati Közlemények LXI./1.* p. 425
- [30] Magyar Takarmánykódex; 44/2003. (IV. 26.) FVM rendelet.
- [31] Mohácsiné Farkas Cs., Farkas J., Fodor P., Mészáros L. (2011): Élelmiszerbiztonsági kockázatbecslés. *Digitális Tankönyvtár: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0011_2A_1_modul/957/index.html*
Hozzáférés: 2016. 09. 11.