

**Eötvös Loránd Tudományegyetem**

**Természettudományi Kar**

**Jód adagolás hatása rhizoboxban  
nevelt sárgahüveljű  
bokorbabnövények jódfelvételére**

**TDK DOLGOZAT**



**MTA  
ÖKOLÓGIAI  
KUTATÓKÖZPONT**

The logo of the MTA Ökológiai Kutatóközpont (MTA Ecological Research Center) features a stylized sun with a yellow and orange arc above a green and blue wave-like shape.

Készítette:

**VETÉSI VIKTÓRIA**

**KÖRNYEZETTUDOMÁNY MESTERSZAKOS HALLGATÓ**

Témavezető:

**DOBOSY PÉTER**

tudományos segédmunkatárs

MTA Ökológiai Kutatóközpont Duna-kutató Intézet

Belső konzulens:

**PROF. DR. ZÁRAY GYULA**

professzor emeritus

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Analitikai Kémiai Tanszék

**Budapest, 2017**

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés .....	1
2. Szakirodalmi áttekintés .....	2
2.1. Növények kémiai felépítése .....	2
2.2. Jód előfordulása a környezetben és emberélettani jelentősége .....	3
2.3. Jód növényélettani vonatkozásai .....	4
3. Anyagok és módszerek.....	8
3.1. Alkalmazott vegyszerek és műszerek.....	8
3.2. Növénynevelés .....	8
3.3. Minta-előkészítés .....	9
3.4. Növényminták jód koncentrációjának meghatározása .....	10
4. Kísérleti eredmények.....	12
4.1. Sárgahüvelyű bokorbab szétválogatott részeinek nedves és száraz tömege .....	12
4.2. Jód kalibrációja ICP-MS rendszerrel.....	14
4.3. Jód koncentráció meghatározása a sárgahüvelyű bokorbab növényi részeiben..	14
5. Összefoglalás.....	18
6. Summary .....	19
7. Köszönetnyilvánítás .....	20
8. Irodalomjegyzék.....	21
9. Mellékletek.....	23

## 1. Bevezetés és célkitűzés

Az emberi szervezet egészséges működése érdekében a makroelemek (pl. szén, oxigén, foszfor, nitrogén) mellett nélkülözhetetlen különböző mikroelemek (pl. vas, cink, szilícium, szelén, jód), más néven nyomelemek jelenléte is. Azonban a mikroelemek táplálékkal történő bevitelét a talajokon termő növények csak részben biztosítják, ezért pótlásukat külső forrásokból kell megoldani. Napjainkban a probléma megoldására számos alternatíva létezik, például különböző étrend kiegészítők használata, tudatos étrend kialakítása, valamint például a jód esetén jódozott só fogyasztása. Számos nyomelemre nézve a lakosság nagy része hiányban szenved, melyekből a jódhány és az általa okozott problémák kiemelkedően fontosak.

A jód a halogén elemek csoportjába tartozó kémiai elem, mely az emberi szervezetben esszenciális elemként funkcionál. A lakosság körülbelül 35%-a érintett a jódhányban, mely számos egészségügyi kockázatot von maga után, hiszen lényeges eleme az emberi szervezetben végbemenő fiziológiai folyamatoknak. A jódhány megoldására lehetséges megoldás lehet az ivóvizek és öntözővizek jód koncentrációjának növelése. Az utóbbi években egyre több mezőgazdasági tevékenység során a műtrágyát és az öntözővizet esszenciális mikroelemekkel (például jóddal) adagolják (Lawson P.G. et al. 2015; Voogt, W. et al. 2014). Egyes növények képesek ezeket az elemeket bizonyos részeikben akkumulálni oly mértékben, hogy fogyasztásukkal orvosolhatóak a különböző nyomelem hiány következtében fellépő betegségek.

Tudományos diákköri dolgozatomat egy NVKP 16-1-2016-0044 pályázat keretei között készítettem el az MTA Ökológiai Kutatóközpont Duna-kutató Intézetében (MTA ÖK DKI). Munkám során tenyészedényekben (rhizoboxokban) nevelt sárgahüvelyű bokorbab (*Phaseolus vulgaris L. convar. nanus.*) különböző részeinek (gyökér, szár, levél, virág, termés) jódfelvételét vizsgáltam kálium-joddal adaléklolt öntözővíz alkalmazásával.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1. Növények kémiai felépítése

Az élő anyagokat több mint 90%-ban víz és szerves vegyületek építik fel (Kabata-Pendias, A. 2001), mely utóbbiak legnagyobb részét szén, oxigén, hidrogén és nitrogén alkotja. A növények két fő összetevője a víz- és a szárazanyag-tartalom. A víztartalom erősen függ a különböző környezeti tényezőktől (pl. hőmérséklet, napsugárzás, csapadék, páratartalom, stb.), a talaj minőségétől, a vízellátottságtól, valamint a növény korától. Fiatal, élettanilag aktív szervezetekben például jelentős mennyiségű víz található, a növényi magvakban viszont igen csekély (Loch J. – Nosticzius Á. 2004).

A növények szárazanyag-tartalmának több mint 90%-át szerves vegyületek (pl. szénhidrátok, lipidek), kisebb részét pedig különféle mennyiségben előforduló oxidok és sók alkotják, mely szervesetlen komponenseket összefoglalóan hamuösszetevőknek nevezzük (Loch J. – Nosticzius Á. 2004). A növények megfelelő növekedéséhez és fejlődéséhez nélkülözhetetlenek a makroelemek (kálium, kalcium, magnézium, nitrogén, foszfor, kén), míg mikroelemekre (vas, mangán, klór vagy a nikkel) jelentősen kisebb koncentrációban van szükségük (Láng F. 1998). A zöld növények a makro- és mikroelemeket különböző koncentrációkban és eltérő kémiai formákban veszik fel, a jellemző koncentráció értékeket az 1. táblázatban tüntettem fel.

Elem	Abszorbeált forma	Koncentráció a növényekben ( $\mu\text{mol/g}$ szárított tömeg)
<b>MAKROELEMEEK</b>		
Nitrogén	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$	1071
Kálium	$\text{K}^+$	256
Kalcium	$\text{Ca}^{2+}$	125
Foszfor	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	65
Magnézium	$\text{Mg}^{2+}$	82
Kén	$\text{SO}_4^{2-}$	31
<b>MIKROELEMEEK</b>		
Molibdén	$\text{MoO}_4^{2-}$	0,001
Réz	$\text{Cu}^+$ , $\text{Cu}^{2+}$	0,09
Cink	$\text{Zn}^{2+}$	0,3
Mangán	$\text{Mn}^{2+}$	0,9
Vas	$\text{Fe}^{3+}$	1,8
Bór	$\text{BO}_3^{3-}$ , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	1,8
Klór	$\text{Cl}^-$	2,8

1. táblázat Autotróf növények esszenciális elemstüksége (Láng F. 1998)

A növények az esszenciális elemek abszorpciója mellett, nem képesek elkerülni a nélkülözhető vagy éppen toxikus elemek passzív felvételét sem (Loch J. – Nosticzius Á. 2004). Ilyen toxikus elemek lehetnek például a nehézfémek (pl. kadmium, ólom, nikkel), melyek befolyásolhatják más elemek gyökér általi felvételét, valamint gátolhatják számos enzim működését (Fodor F. 2013). Ezen növények elfogyasztása veszélyt jelenthet az emberek, valamint a vadon élő állatok egészsége szempontjából egyaránt (Nazir, R. et al. 2015), azonban érdemes megjegyezni, hogy koncentrációjuktól függően a nyomelemek is hatásúak toxikus lehetnek bizonyos növényekre nézve.

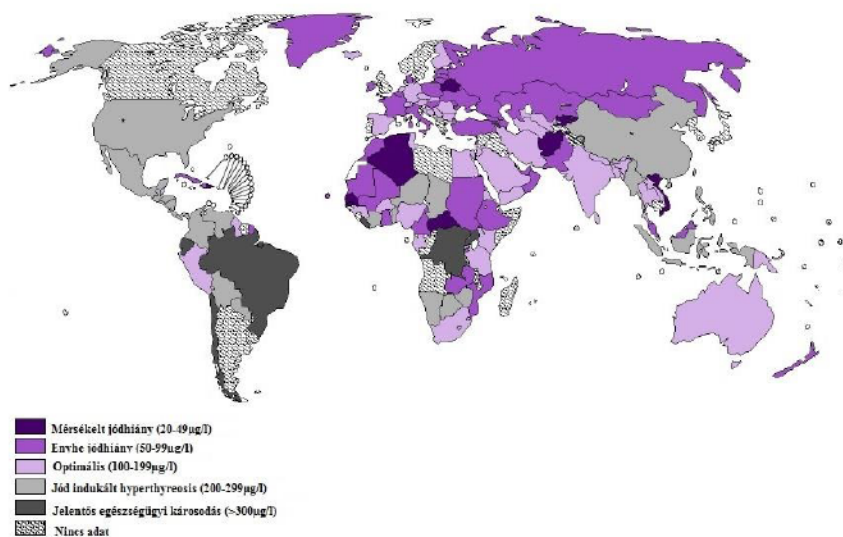
## ***2.2. Jód előfordulása a környezetben és emberéletteni jelentősége***

A jód az elemgyakorisági sorrendben a 60. helyet foglalja el. A különböző kőzetek a földrajzi elhelyezkedéstől függően eltérő koncentrációkban tartalmaznak jódot, így például szerves anyagban gazdag palákra 0,41-6,15 mg/kg, mészkövekre 0,26-3,87 mg/kg, homokkövekre 0,05-0,33 mg/kg a jellemző koncentráció tartomány. Az óceánokban és a tengerekben az átlagos jód koncentráció 50-60 µg/L, forrásokban 30 µg/L, esővízben 8,5 µg/L, talajban 30 µg/kg, levegőben pedig 0,7 µg/m<sup>3</sup> (Kabata-Pendias, A. 2001; Puskás Á., 2007).

A jód lényeges eleme az emberi szervezetnek, részt vesz a pajzsmirigy által termelt tiroxin és trijód-tironin hormonok szintézisében, melyek az anyagcsere folyamatokat biztosítják, valamint a test növekedésének szabályozásában is fontos szerepet tölt be. Felnőtt ember esetén az ajánlott napi jódbevitel 180-200 µg, terhességnél 230 µg, gyermekek esetén pedig <100 µg (Salau, B. A. et al. 2010). Ezen beviteli értékeket a Föld lakosságának jelentős része még jódozott só alkalmazása ellenére sem éri el. A nem megfelelő jódbevitel elégtelen tiroxin termelést eredményez, mely jódhiányos rendellenesség (IDD – Iodine Deficiency Disorders) kialakulásához vezet. Ezen betegség klinikai tünetei a golyva, a hypothyreosis (pajzsmirigy alulműködés) vagy a mentális retardáció (Weng, H. et al. 2008).

Benoist és munkatársai (2008) a Föld országait különböző közegészségügyi osztályokba sorolták. Vizsgálataik során kiderült, hogy a jódbevitel elégtelen 47, megfelelő 49, jobb mint megfelelő 27 és túlzott mértékű 7 országban. A 47 országból, ahol a jód fogyasztás elégtelen, 10 országban mérsékelt, 37 országban pedig enyhe jódhiányt tapasztaltak (*1. ábra*).





1. ábra Jód okozta megbetegedések mértéke a Földön (Benoist, B. et al. 2008)

### 2.3. Jód növényélettani vonatkozásai

A magasabb rendű növények számára a jód nem létfontosságú elem, pozitív hatását csak néhány barna alga fajnál írták le (Láng F. 1998), míg nagyobb koncentrációk esetén fitotoxikus hatása ismert, mely következtében levélveszteség, növekedésgátlás, illetve a növény pusztulása is előfordulhat. A jód növényre gyakorolt hatása nem csak koncentrációjától, hanem kémiai formájától, valamint a növény érzékenységétől egyaránt függ (Landini, M. et al. 2011). A jód kémiai formáit tekintve a jodát kevésbé toxikus, mint a jodid, ugyanakkor a jodidiont a növények kétszer gyorsabban képesek felvenni, mint a jodátot (Láng F. 1998).

A szakirodalomban több tanulmány foglalkozik a jód (elsősorban jodid és jodát) bioakkumulációjával különböző növényfajok esetében. Hidropónikus (vízkultúras) kísérletek során Zhu és munkatársai (2003) spenót (*Spinacia oleracea L.*) növények tápoldatához adagolt jodid- és jodátionok akkumulációját vizsgálták 1, 10, 50 és 100 µM jód koncentrációk alkalmazása mellett. Ráműtattak, hogy növekvő jód koncentrációval a növény jód koncentrációja is emelkedett, 100 µM jodid koncentráció alkalmazásával a növény leveleiben ötször nagyobb jód koncentrációt tapasztaltak, mint a jodát kezelés esetében (Zhu, Y. G. et al. 2003).

Voogt és munkatársai (2010) vízkultúras kísérletek során vizsgálták jodid- és jodátionok hatását salátanövények (*Lactuca sativa L.*) növekedésére és fejlődésére, 13, 39, 65, 90 és 129 µg/L jód koncentrációk mellett. Az alkalmazott tápoldat jód koncentrációjának növelésével a növények jód koncentrációja emelkedett, a növényi részek jód koncentrációja jodid alkalmazása esetén ötször nagyobbak bizonyult, mint

jodát esetén. Megállapították továbbá, hogy 50 g saláta elfogyasztása biztosíthatja egy átlagos felnőtt napi jód bevitelének 25%-át (Voogt, W. et al. 2010).

Kínai kutatók üvegházás körülmények között végeztek vízkultúrák kísérleteket epergyümölcsök jodid- és jodáion felvételére vonatkozóan. A vizsgálatokhoz kálium-jodiddal és kálium-jodáttal adalékolt tápoldatot használtak 0,25, 0,50, 1,0, 2,5 és 5,0 mg/L jód koncentrációk mellett. Ugyanazon növényi szervek jód koncentrációja a jodid kezelés során nagyobbak bizonyult, mint a jodát kezelés esetén, valamint a gyökerek jód koncentrációja a levél, szár és gyümölcs részekhez képest 6x, 9x és 44x bizonyult nagyobbak (Li, R. et al. 2015).

Weng és munkatársai (2008) jód adagolás hatását vizsgálták különböző zöldségekben, mely során igazolták, hogy a talaj jód (kálium-jodid) koncentrációjának 55 mg/kg fölé emelésével a növények jódfelvétele csökken. Uborkánál 70 mg/kg, padlizsánál 60 mg/kg, retek esetén 110 mg/kg jód koncentrációt meghaladva pedig a levelek sárgulását és hervadását figyelték meg. Vizsgálataik során továbbá megállapították, hogy a jód legnagyobb mértékben a levelekben dúsult fel (Weng, H. et al. 2008).

Hong és munkatársai (2008) kínai káposzta (*Brassica chinensis L.*), saláta (*Lactuca sativa L.*), paradicsom (*Solanum lycopersicum L.*) és sárgarépa (*Daucus carota L.*) jódfelvételét vizsgálták, mely során a jód koncentráció (kálium-jodid) emelésével az egyes növények jódfelvétele is emelkedett. A talajban jódozott műtrágya használatával 10, 25, 50, 100 és 150 mg/kg koncentráció értékeket állítottak be és megállapították, hogy az ehető részekben felhalmozódó jód mennyisége a kínai káposztában bizonyult a legnagyobbak, majd a salátában, sárgarépában és végül a paradicsomban. 10 mg/kg jód koncentráció alkalmazása minden növény esetén optimális volt az egészséges fejlődéshez, azonban 50 mg/kg feletti értékeknél a növények pusztulását tapasztalták (Hong, C. et al. 2008).

Weng és munkatársai (2013) szántóföldi kísérletek során 10 növény jódfelvételét vizsgálták 12-150 mg/m<sup>2</sup> jód koncentráció alkalmazásával. A növények közül 5 fajtának a levele (spenót, káposzta, koriander, mustár, kínai káposzta), míg másik 5 fajtának (paradicsom, uborka, padlizsán, paprika, spárga) pedig a termése volt fogyasztható. A vizsgálatok során megállapították, hogy a spenót, káposzta, koriander, mustár és kínai káposzta ehető részeiben a jód koncentráció 0,45, 2,28, 4,83, 1,45 és az 1,05 mg/kg voltak. A padlizsán, a paprika, az uborka, a paradicsom és a spárga esetén ezek a

koncentrációk 1,23, 0,88, 0,91, 1,12 és 0,92 mg/kg értékeknek adódtak (Weng, H. et al. 2013).

Smolén és munkatársai (2016) szántóföldi kísérletek során répa jód akkumulációját vizsgálták kálium-jodid és kálium-jodát tartalmú (5 kg I/ha) műtrágyák alkalmazásával. Munkájuk során megállapították, hogy a jodid minden esetben nagyobb mértékben akkumulálódott, mint a jodát, valamint, hogy a gyökerek jód koncentrációja kétszer nagyobbak bizonyult, mint a leveleké. (Smolén, S. et al., 2016)

Voogt és munkatársai (2014) különböző koncentrációjú jodáttal adalékolt öntözővizek hatását vizsgálták üvegházban nevelt uborka, édes paprika, kerek paradicsom és koktélpaprika esetében. Az öntözővizek jód koncentrációjának növelésével minden növényben a jód akkumuláció mértéke emelkedett. A jodát kezelés során 12,5 mg/L koncentrációnál az uborka termésében az abszorbeált jód mennyiségének 40%-a, koktélpaprikánál 22%-a, kerek paradicsom esetén 7%-a, édes paprikánál pedig 2%-a volt megtalálható. A növények jód eloszlásbeli különbsége a termések eltérő transzspirációs tulajdonságaival, valamint a termések közötti anatómiai különbségekkel magyarázható (Voogt, W. et al. 2014).

Lawson és munkatársai (2015) szabadföldi kísérletben fejes saláta jódal történő akkumulációját vizsgálták kálium-jodid és kálium-jodát felhasználásával. A kísérlet során műtrágyázás és levélpermetezés használata mellett 1,0, 2,5, 7,5 és 15 kg/ha jód koncentrációkat alkalmaztak. A jód koncentráció növelésével a növények jód akkumulációja minden esetben emelkedett. Műtrágyázás esetén a saláta 0,5 kg/ha jód koncentrációnál érte el a célkoncentrációt (50-100 µg/100 g), 7,5 kg/ha jód koncentráció nem befolyásolta a növekedést, 15 kg/ha-nál pedig a saláta levelek klorózisát tapasztalták. Permetezés során a saláta 7,5 kg/ha jód alkalmazása mellett érte el a célkoncentrációt (Lawson, P.G. et al. 2015).

Cakmak és munkatársai (2017) üvegházi körülmények között vizsgálták búza (*Triticum aestivum*), rizs (*Oryza sativa*) és kukorica (*Zea mays*) jódfelvételét a talaj kálium-jodid és kálium-jodát adalékolása mellett. Mindkét kémiai forma esetén 0,10, 0,25, 1,0, 2,5, 5,0, 10 és 20 mg/kg koncentrációkat alkalmaztak és megállapították, hogy 20 mg/kg jodid kezelés alkalmazásával fitotoxikus hatások léptek fel minden gabonanövényenél (Cakmak, I. et al. 2017).

Egy 2017-es vizsgálatban lengyel kutatók sárgarépa (*Daucus carota L.*) jód tartalmát vizsgálták a feldolgozás és főzés után. A növény hámozása és a termikus folyamatok a jód koncentrációjának csökkenését okozták. A nyers sárgarépaiban 3,2-12,9



mg/kg jód koncentrációt mértek, míg a főzés után ezek az értékek 0,4-6,7 mg/kg-ra csökkentek le (Kapusta-Duch, J. 2017).

A fenti irodalmi adatok alapján megállapítható, hogy valamennyi növény esetében a jódnak jodidként történő felvétele nagyobb mértékű a jodáthoz viszonyítva. Ezért a kísérleteink során a jobb hatásfokú jódbevitel érdekében csak kálium-jodiddal adalékolt öntözővizet használtunk.

### 3. Anyagok és módszerek

#### 3.1. Alkalmazott vegyszerek és műszerek

A sárgahüvelyű bokorbab (*Phaseolus vulgaris* L. convar. nanus.; Golden Goal, Rédei Kertimag Zrt.) minták feltárásához NORMATOM, nyomelem-analitikai vizsgálatokhoz alkalmas 67%-os salétromsavoldatot (VWR International Kft., Magyarország), valamint EMSURE, 30%-os hidrogén-peroxid oldatot használtam (Merck Kft., Budapest, Magyarország). A nagy tisztaságú ionmentes vizet (18 M $\Omega$ -cm) a kísérletekhez Purelab Ultra USF ELGA Maxima típusú készülékkel állítottam elő. Az öntözővíz jóddal történő adagolásához kálium-jodidot (Merck Kft., Magyarország), míg a kalibrációs oldatok elkészítéséhez kálium-jodátot (Merck Kft., Magyarország) alkalmaztam, amelyekből jódra vonatkoztatva 1 g/L koncentrációjú törzsoldatokat készítettem. A növényminták roncsolását TOPwave (Analytik Jena AG, Jena, Németország) típusú, mikrohullámú feltáró készülékkel, a minták jód koncentrációjának meghatározását pedig Plasma Quant Elite (Analytik Jena AG, Jena, Németország) típusú induktív csatolású plazma tömegspektrométer (ICP-MS) analitikai mérőrendszerrel végeztem el. A készülékek mérési paramétereit a 3.3. és 3.4. fejezetekben mutatom be.

#### 3.2. Növénynevelés

A babminták nevelését a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutató Központ, Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet (MTA ATK TAKI) munkatársai végezték. A növénynevelés klímakamrában, kontrollált fény- és hőmérséklet (16 óra nappal; 25-27 °C, fényintenzitás ~500  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ; 8 óra éjszaka; 17°C) viszonyok mellett történt.

A tenyészedényekbe előcsíráztatott magokat vetettek, melyeket petricsészékben, nedves vattapapíron 2 napig, 27°C-on, sötétben csíráztattak. A növénynevelés örbottyáni humuszos homoktalajban (MTA ATK TAKI örbottyáni kísérleti telep; 0-30 cm feltalaj) történt, a gyökérmövekedés detektálása érdekében áttetsző edényekben (0,87 l/1000 g talaj tenyészedény). A kísérlet beállításakor a talajokat a teljes vízkapacitás 60%-ára nedvesítették. Az állandó és azonos talajnedvességet heti 3-4 locsolás mellett gravimetriás módszerrel biztosították. A növények optimális tápanyagellátását Hoagland-oldattal (1. melléklet) történő locsolással (vetést követő 3. héttől heti 1 alkalom) biztosították. Az öntözés során alkalmazott összes víz, Hoagland-oldat, valamint jóddal adalékolt öntözővíz térfogatokat az 2. táblázatban mutatom be.

Fenofázis	Vizsgált növényi részek	Víz (mL)	Hoagland-oldat (mL)	Jóddal adalékolt víz (mL)
I.	gyökér, szár, levél	960	80	380
II.	gyökér, szár, levél, virág	680	180	180
III.	gyökér, szár, levél, termés	970	370	370

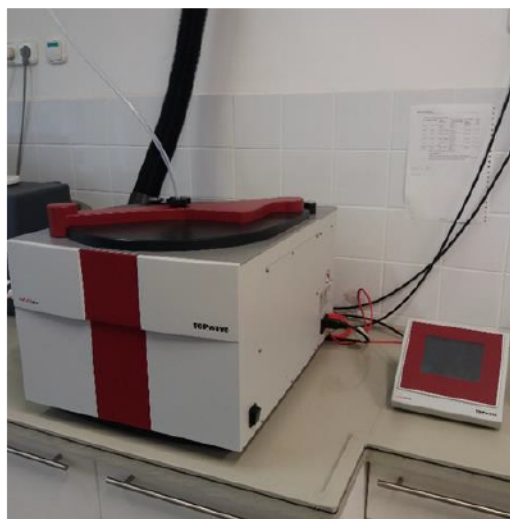
2. táblázat Babnövények locsolása során alkalmazott öntözővíz térfogatok

A növények fejlődését három fenofázisban (1. fenofázis: 4-5 leveles, 2. fenofázis: virágzás, 3. fenofázis: termésérés) 5-5 ismétlésben vizsgáltam. A fenofázisok végén a növények beszállításra kerültek az MTA Ökológiai Kutatóközpont Duna-kutató Intézetébe, ahol a fenofázisok függvényében az egyes növényi részek (gyökér, szár, levél, virág, termés) szétválogatásra kerültek.

### 3.3. Minta-előkészítés

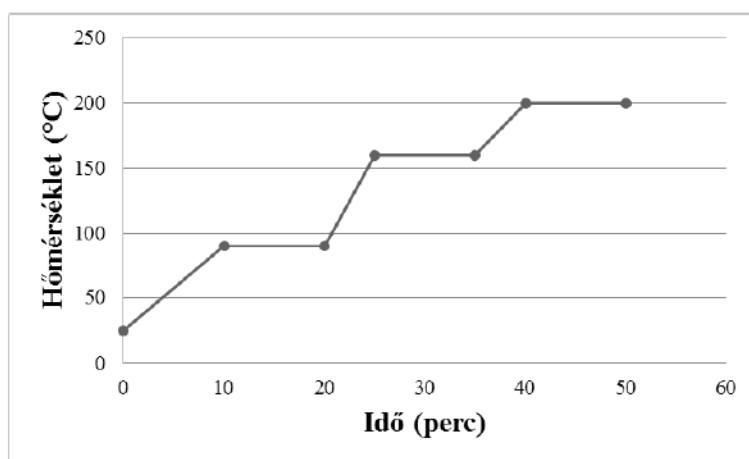
A rhizoboxban nevelt babnövényeket az MTA TAKI munkatársai szállították be az MTA ÖK Duna-kutató Intézetébe. A növényeket olló segítségével az adott fenofázistól függően gyökér, szár, levél, virág és termés részekre vágtam szét. Ezután a különböző növényi részek nedves tömegét, ezt követően pedig 48 órán keresztül légszáraz, majd 24 órán át 50°C-os szárítószekrényben, tömegállandóságig történő szárítás után a növényminták száraz tömegét analitikai mérleg segítségével határoztam meg.

A növényminták mikrohullámmal elősegített savas roncsolását a 2. ábrán látható Analytik Jena berendezéssel végeztem, amely lehetővé teszi a feltárás hőmérséklet, illetve nyomás viszonyainak program szerinti szabályozását.



2. ábra Mikrohullámmal elősegített feltáró berendezés

A készülékbe 12 teflonbomba helyezhető el, melyekből egyet minden esetben műveleti vakminta céljára használtam. Minden mintához  $7 \text{ cm}^3$  67%-os salétromsavat és  $3 \text{ cm}^3$  30%-os hidrogén-peroxidot adagoltam, majd enyhe pezsgést követően az edényeket lezártam, és a feltárási berendezésbe helyeztem. A minták feltárása során a 3. ábrán bemutatott hőmérsékletprogramot használtam.



3. ábra Feltárási berendezés hőmérsékletprogramja

A feltárási program befejeztével 20 percig ventiláció következett, mely a feltárási edények lehűlését biztosította. Kinyitásokat a túlnyomás és a nitrogén gázok keletkezése miatt, elszívó fülke alatt végeztem. A feltárt mintákat az elemzési vizsgálatokhoz szükséges, fémszennyező-mentes polipropilén centrifugacsövekbe öntöttem, a feltárási edények nagytisztaságú ioncserélt vízzel történő többszöri átöblítésével. Minden feltárási után szükség volt a teflonedények tisztítására, ebben az esetben  $10 \text{ cm}^3$  67% salétromsavat használtam, majd az edényeket ismét a feltárási készülékbe helyeztem. A tisztítóprogram során a berendezés 10 perc alatt  $180^\circ\text{C}$ -ra melegedett fel, melyet 30 percig tartott, végül ventilációval ismét az edények lehűtése következett.

### 3.4. Növényminták jódkoncentrációjának meghatározása

A gyökér-, szár-, levél-, virág- és termés minták jódkoncentrációját induktív csatolású plazma tömeg-spektrométerrel határoztam meg. Az ICP-MS egy gyors, alacsony kimutatási határokkal rendelkező, 8-10 koncentráció nagyságrendet átfogó nagyműszeres analitikai mérés technika, melynél az elemzéshez néhány mL oldat szükséges. Vizsgálataimat a 4. ábrán látható Analytik Jena Plasma Quant Elite típusú műszerrel végeztem, a készülék működési paramétereit a 3. táblázatban tüntettem fel.





4. ábra Induktív csatolású plazma tömegspektrométer

<b>Plazmateljesítmény</b>	1290 W
<b>Külső gáz (Ar) áramlási sebessége</b>	7,50 L/perc
<b>Közbenső gáz (Ar) áramlási sebessége</b>	1,50 L/perc
<b>Aeroszol vivőgáz (Ar) sebessége</b>	1,00 L/perc
<b>Mintabeadagolás sebessége</b>	0,30 mL/perc
<b>Porlasztó típusa</b>	Meinhard mikrokoncentrikus
<b>Ködkamra típusa</b>	double-pass
<b>Mintavevő (sampler) kónusz</b>	anyaga: Ni
	fúrat átmérője: 1,1 mm
<b>Merítő (skimmer) kónusz</b>	anyaga: Ni
	fúrat átmérője: 0,5 mm
<b>Analitikai izotóp</b>	$^{127}\text{I}$
<b>Belső vonatkoztató</b>	$^{115}\text{In}$
<b>Adatgyűjtési mód</b>	peak jumping
<b>Integrálások száma mintánként</b>	5 x 20
<b>Integrálási idő</b>	50 ms

3. táblázat Induktív csatolású plazma tömeg-spektrométer működési paraméterei

A babminták jód koncentrációinak meghatározását kálium-jodát törzsoldatból készített, 6 pontos standard oldatsorozat (1, 2, 5, 10, 25 és 50  $\mu\text{g/L}$ ) alkalmazásával végeztem el. Minden kalibráló oldatsorozathoz és a feltárt mintákhoz 60  $\mu\text{L}$  5 mg/L koncentrációjú indium belső standardoldatot adagoltam.

## 4. Kísérleti eredmények

### 4.1. Sárgahüvelyű bokorbab szétválogatott részeinek nedves és száraz tömege

Munkám első lépéseként az eltérő jód koncentrációjú öntözővizekkel kezelt babnövények különböző részeinek (gyökér, levél, szár, virág, termés) nedves- és száraz tömegeit határoztam meg a 3 fenofázis során, mely méréseket a 3.3 fejezetben leírtak szerint végeztem. Az egyes növényi részek nedves- és száraz tömegeinek átlag és szórás értékeit az öntözővízhez adagolt jód koncentrációk függvényében a 4-9. táblázatban mutatom be, a párhuzamos mérések eredményeit pedig a 2. melléklet tartalmazza.

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	1. fenofázis		
	Növényi részek nedves tömegének átlaga és szórása (g)		
	<i>Gyökér</i>	<i>Levél</i>	<i>Szár</i>
Kontroll	3,5135 ± 0,8518	3,1040 ± 0,8470	0,6678 ± 0,1956
0,10	3,2914 ± 0,5093	3,3067 ± 0,6195	0,7381 ± 0,1359
0,25	3,7676 ± 0,8024	3,4581 ± 0,3881	0,7318 ± 0,1482
0,50	3,5881 ± 1,0071	3,0396 ± 0,8275	0,6687 ± 0,1627

4. táblázat Növényi részek nedves tömege különböző jód koncentrációjú öntözővizek alkalmazásánál az 1. fenofázis során

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	1. fenofázis		
	Növényi részek száraz tömegének átlaga és szórása (g)		
	<i>Gyökér</i>	<i>Levél</i>	<i>Szár</i>
Kontroll	0,3084 ± 0,0715	0,4371 ± 0,1518	0,1024 ± 0,0277
0,10	0,3088 ± 0,0664	0,4283 ± 0,0874	0,1104 ± 0,0209
0,25	0,3935 ± 0,1102	0,4241 ± 0,0874	0,1039 ± 0,0210
0,50	0,3265 ± 0,0973	0,4065 ± 0,1007	0,0989 ± 0,0277

5. táblázat Növényi részek száraz tömege különböző jód koncentrációjú öntözővizek alkalmazásánál az 1. fenofázis során

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	2. fenofázis			
	Növényi részek nedves tömegének átlaga és szórása (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Levél</i>	<i>Szár</i>	<i>Virág</i>
Kontroll	8,2732 ± 2,3649	10,3249 ± 1,9099	2,3697 ± 0,6052	0,3750 ± 0,1599
0,10	11,9954 ± 2,7664	13,4470 ± 2,0647	2,4379 ± 0,4145	0,4041 ± 0,0584
0,25	10,7888 ± 1,3551	13,7601 ± 1,3430	2,7504 ± 0,2912	0,4357 ± 0,1812
0,50	11,0214 ± 1,5405	11,8988 ± 0,5800	2,3776 ± 0,3460	0,3684 ± 0,2092

6. táblázat Növényi részek nedves tömege különböző jód koncentrációjú öntözővizek alkalmazásánál a 2. fenofázis során

Öntözővíz jódszint koncentrációja (mg/L)	2. fenofázis			
	Növényi részek száraz tömegének átlaga és szórása (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Levél</i>	<i>Szár</i>	<i>Virág</i>
Kontroll	0,8122 ± 0,2436	1,5259 ± 0,3184	0,3989 ± 0,1195	0,0550 ± 0,0249
0,10	1,0180 ± 0,2178	1,5607 ± 0,2196	0,4136 ± 0,0624	0,0630 ± 0,0120
0,25	0,9707 ± 0,1233	1,5797 ± 0,1073	0,4181 ± 0,0490	0,0608 ± 0,0178
0,50	0,8928 ± 0,0876	1,5480 ± 0,1324	0,3939 ± 0,0852	0,0513 ± 0,0226

7. táblázat Növényi részek száraz tömege különböző jódszintű öntözővizek alkalmazásánál a 2. fenofázis során

Öntözővíz jódszint koncentrációja (mg/L)	3. fenofázis			
	Növényi részek nedves tömegének átlaga és szórása (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Levél</i>	<i>Szár</i>	<i>Termés</i>
Kontroll	16,3335 ± 3,3514	14,1799 ± 2,8504	4,8271 ± 0,9565	23,8867 ± 7,2127
0,10	17,7930 ± 5,6690	12,4801 ± 1,8815	4,9184 ± 0,9736	27,3688 ± 3,8049
0,25	18,1127 ± 4,5041	12,3953 ± 0,9520	4,7144 ± 0,6864	24,2352 ± 4,3681
0,50	12,9688 ± 1,7929	7,9810 ± 3,8883	4,5371 ± 0,4370	15,7059 ± 5,5342

8. táblázat Növényi részek nedves tömege különböző jódszintű öntözővizek alkalmazásánál a 3. fenofázis során

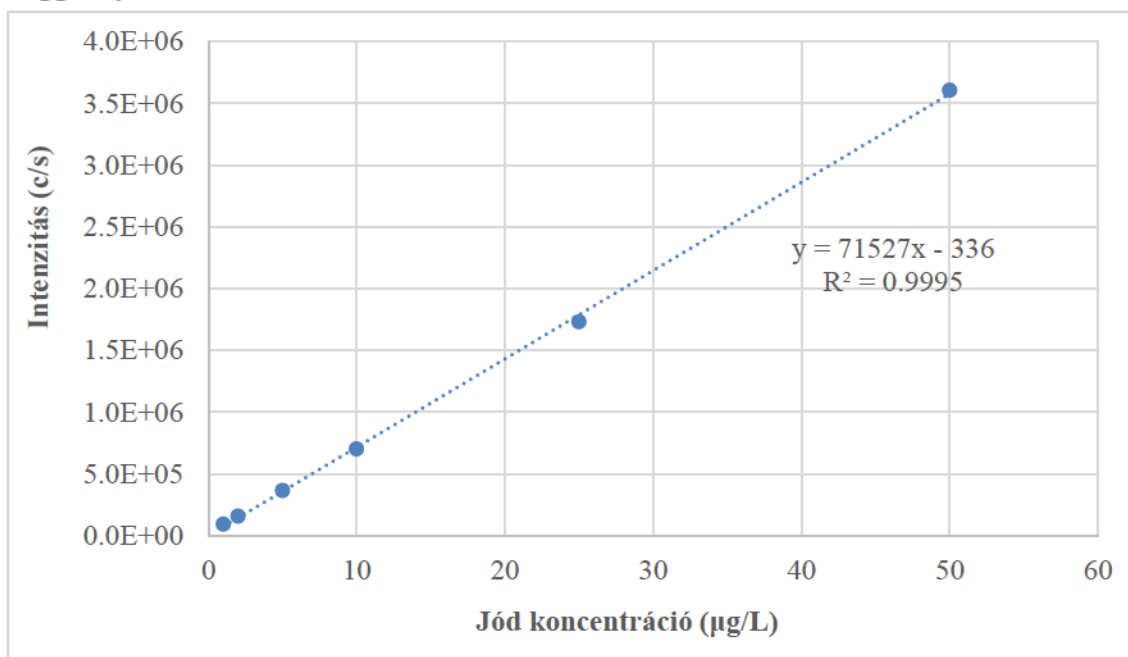
Öntözővíz jódszint koncentrációja (mg/L)	3. fenofázis			
	Növényi részek száraz tömegének átlaga és szórása (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Levél</i>	<i>Szár</i>	<i>Termés</i>
Kontroll	2,2116 ± 0,9140	3,3448 ± 0,9767	1,4498 ± 0,2998	2,2844 ± 0,4355
0,10	2,9995 ± 1,3523	2,5512 ± 0,5356	1,2819 ± 0,1869	2,7902 ± 0,6175
0,25	3,0528 ± 2,1292	2,7430 ± 0,4971	1,2714 ± 0,1038	2,5532 ± 0,3941
0,50	2,3297 ± 1,2298	1,4787 ± 0,6087	1,0359 ± 0,1958	1,3918 ± 0,6064

9. táblázat Növényi részek száraz tömege különböző jódszintű öntözővizek alkalmazásánál a 3. fenofázis során

A 4-9. táblázatban látható, hogy a szárítást követően a növényi részek tömege 70-90%-kal csökkent a nedves tömeghez képest, ami a növény nagy víztartalmával magyarázható. Az adatok mutatják, hogy az öntözővíz jódszintjének változtatása során az egyes növényi részek száraz tömege az 1. és 2. fenofázisban csekély mértékben változott (max. 25%). A 3. fenofázisban 0,50 mg/L jódszint már jelentős hatást gyakorolt egyes növényi részek tömegeire. A száraz tömeg értékek szárnál 29%-kal, levélnél 57%-kal, termésnél pedig 39%-kal bizonyultak kisebbnek a kontroll növényhez képest.

#### 4.2. Jód kalibrációja ICP-MS rendszerrel

A minták jód koncentrációjának meghatározásához a 3.4. fejezetben leírtak szerint kálium-jodát törzsoldatból 6 pontos kalibrációs oldatsorozatot (1, 2, 5, 10, 25, 50 µg/L) készítettem. Az ICP-MS mérés során nyert intenzitás értékeket a jód koncentráció függvényében az 5. ábrán mutatom be.



5. ábra 1-50 µg/L jód koncentrációjú standard oldatok ICP-MS rendszerrel meghatározott kalibráló egyenese

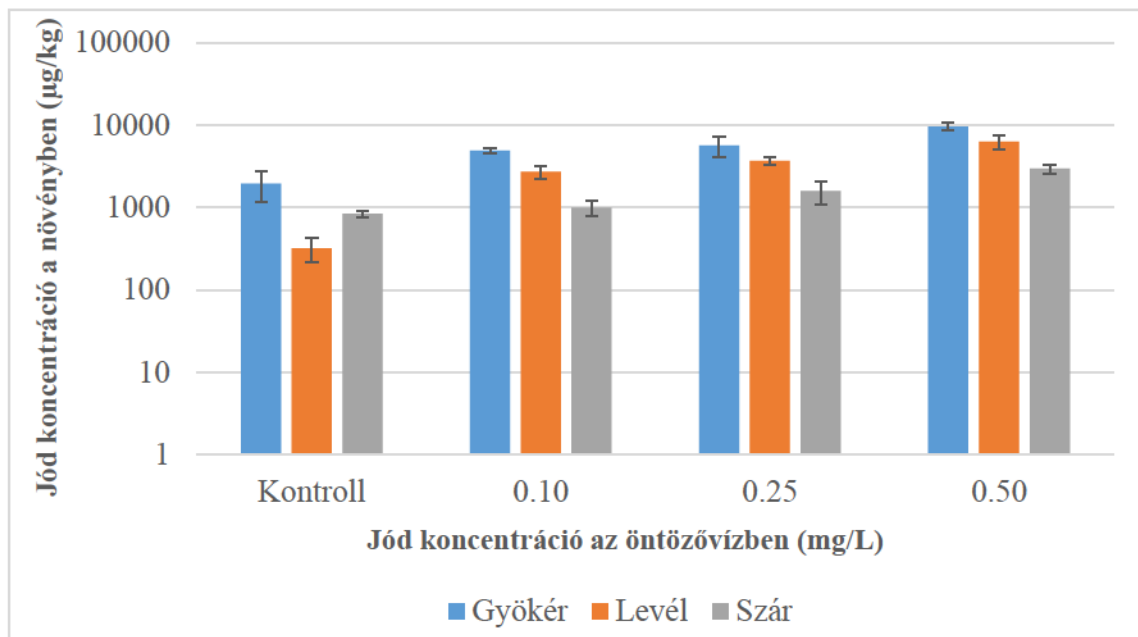
#### 4.3. Jód koncentráció meghatározása a sárgahüvelyű bokorbab növényi részeiben

Munkám során tenyészedényekben nevelt babnövények különböző részeinek (gyökér, szár, levél, virág, termés) jódfelvételét vizsgáltam 3 fenofázisban, 0,10, 0,25 és 0,50 mg/L jód koncentrációjú (kálium-jodid) öntözővíz adagolását követően. Az egyes növényi részek mikrohullámmal elősegített savas feltárását a 3.3 fejezetben leírtak szerint végeztem, a bemért növényi részek tömegeit a három fenofázis során pedig a 3. mellékletben tüntettem fel. A minták jód koncentrációjának meghatározását a 3.4. fejezetben bemutatott ICP-MS berendezés segítségével végeztem. A gyökér minták esetében 50x, míg a többi növényi résznél 10x hígításban vizsgáltam a mintákat, az átlag jód koncentrációkat pedig minden esetben a vizsgált növényi rész szárazanyagára vonatkoztatva, µg/kg egységben adtam meg.

Az 1. fenofázisban gyökér-, szár- és levélmintákat vizsgáltam. A kontroll és a 3 különböző jód koncentrációjú öntözővizek alkalmazását követően az egyes növényi



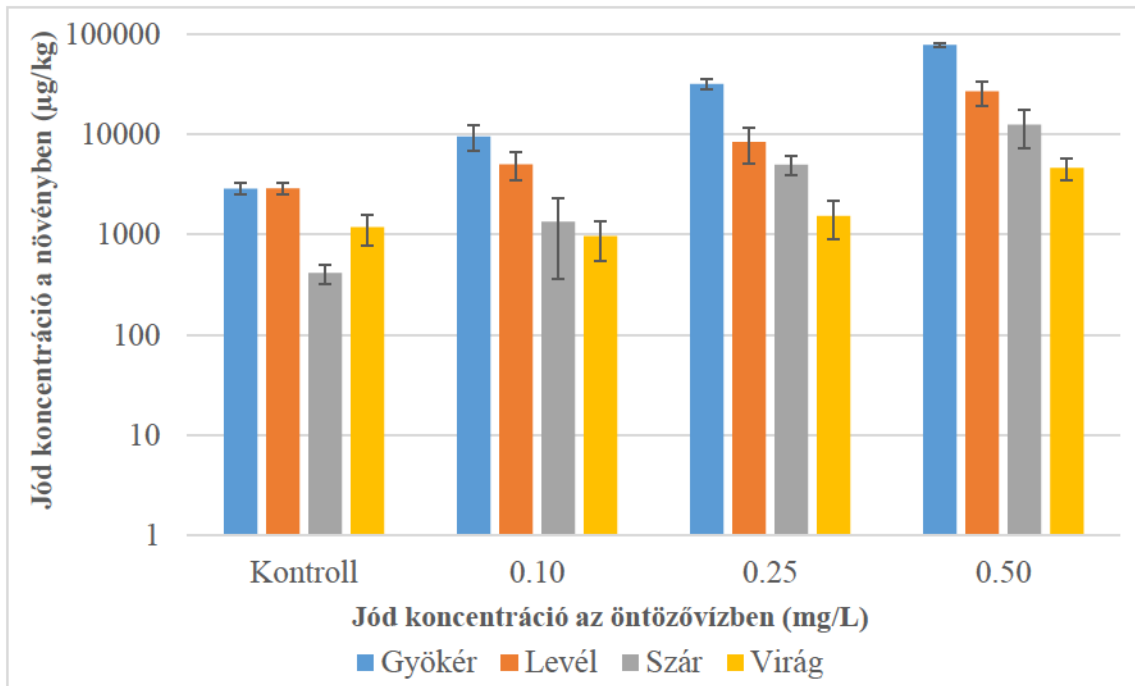
részek jód koncentrációinak átlag (n=5) és szórás értékeit az 6. ábrán, a párhuzamos mérések eredményeit pedig a 4. mellékletben tüntettem fel.



6. ábra Növényi részek átlagos jód koncentrációja az 1. fenofázisban.

A kontroll növényi részek jód koncentrációja 318-1938 µg/kg között változott. Megállapítható, hogy az öntözővíz jód koncentrációjának emelésével az egyes növényi részek jód koncentrációja minden esetben növekedett. A kontroll mintához képest a jód koncentráció gyökér mintákban 2-5x, levélnél 8-19x, szár esetében pedig 2-3x növekedett. A legnagyobb jód koncentráció értékeket mindhárom jóddal dúsított öntözővíz kezelést követően a gyökér mintáknál (4876-9566 µg/kg), legcsekélyebbet pedig a szárban (993-2959 µg/kg) tapasztaltam, azonban a kontroll növényhez képest a legnagyobb mértékű jód dúsulás a levélmintáknál mutatkozott.

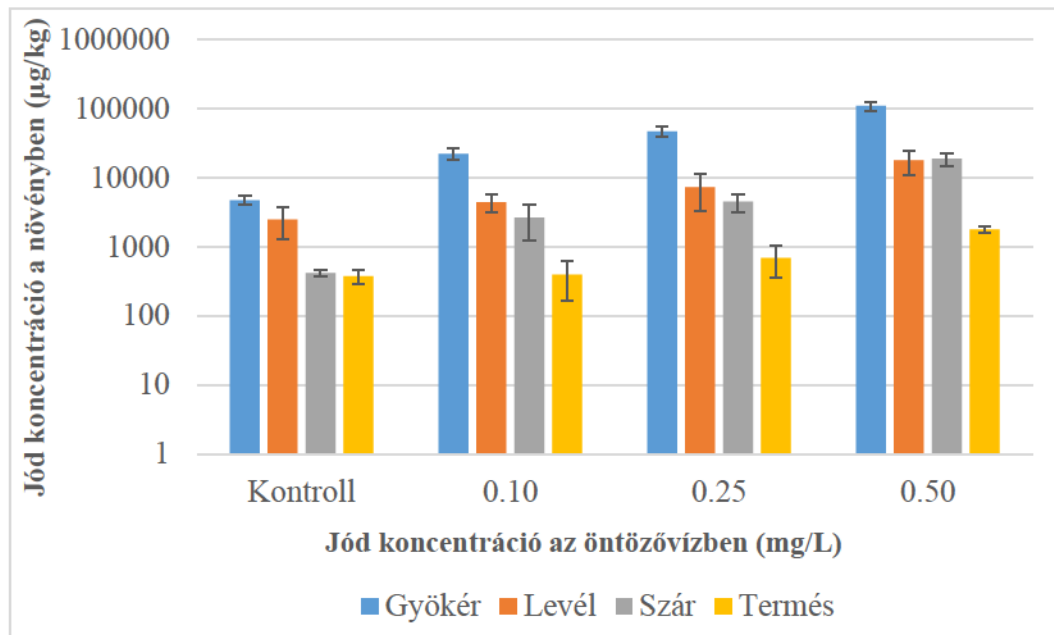
A 2. fenofázisban gyökér-, levél-, szár- és virág mintákat vizsgáltam. A kontroll és 3 különböző jód koncentrációjú öntözővíz alkalmazását követően az egyes növényi részek jód koncentrációinak átlag (n=5) és szórás értékeit a 7. ábrán, a párhuzamos mérés eredményeit az 5. mellékletben mutatom be.



7. ábra Növényi részek átlagos jód koncentrációja a 2. fenofázisban

A 7. ábrán látható, hogy az 1. fenofázishoz hasonlóan az öntözővíz jód koncentrációjának növelésével minden növényi rész jód koncentrációja emelkedett. A legnagyobb jód koncentrációkat (9535-78023 µg/kg) ebben az esetben is a gyökérnél, legkisebbet pedig a virágnál tapasztaltam. Gyökér minták esetében a kontroll mintákhoz képest 3-27x, levélnél 2-9x, szárnál 3-30x, virágnál pedig 1-4x jód koncentráció növekedés volt jellemző.

A 3. fenofázis során gyökér, levél, szár, és termés jód koncentrációinak változását vizsgáltam. A kontroll minta és a 3 különböző jód koncentrációjú öntözővíz alkalmazását követő növényi részek átlagos jód koncentrációt (n=5) a 8. ábrán, a párhuzamos mérések eredményeit pedig a 6. mellékletben mutatom be.



8. ábra Növényi részek átlagos jód koncentrációja a 3. fenofázisban

A 8. ábrán látható, hogy az első két fenofázishoz hasonlóan a növekvő jód koncentrációjú öntözővíz alkalmazásával a növényi részek jód koncentrációja növekedett. A növényi részek közül a 3. fenofázisban a legnagyobb jód koncentráció minden esetben a gyökér mintáknál (21974-107966 µg/kg), legkisebb pedig a termésben (391-1769 µg/kg) fordult elő. A kontroll mintákkal összehasonlítva az egyes növényi részek jód koncentrációja gyökér minták esetében 5-23x, leveleknél 2-7x, szárnál 6-46x, termésben pedig 1-4x növekedett.

Összességében elmondható, hogy a 3 fenofázis során minden növényi rész jód koncentrációja a növekvő jód koncentrációjú öntözővízzel történő locsolás során emelkedett. Minden fenofázisban a gyökér jód koncentrációja bizonyult a legnagyobbknak, ugyanakkor a legjelentősebb akkumulációt az 1. fenofázisban a levél, a 2.- és 3. fenofázisban pedig a szár mintáknál tapasztaltam. Habár a kontroll mintákhoz képest a legcsekélyebb mértékű jód akkumuláció a termésben fordult elő megállapítható, hogy 0,25 mg/L öntözővízbeli jód koncentráció alkalmazásával 30 dkg, 0,50 mg/L koncentrációnál pedig 10 dkg bab termésének elfogyasztása fedezi egy átlagos felnőtt ember napi jód bevitelét (180-200 µg). A jóddal adalékolt öntözővizek közül 0,25 mg/L jód koncentráció használata javasolt, mivel 0,50 mg/L alkalmazása esetében a termésben jelentős mértékű növekedésgátlás figyelhető meg (lásd 4.1 fejezet). Összességében elmondható, hogy a sárgahüvelyű bokorbab megfelelő célnövénynek bizonyult a jód bevitel növelésére.

## 5. Összefoglalás

Tudományos diákköri dolgozatomat egy NVKP 16-1-2016-0044 pályázat keretei között készítettem el az MTA Ökológiai Kutatóközpont Duna-kutató Intézetében.

Dolgozatom szakirodalmi áttekintésében bemutattam a növények kémiai felépítésére, a jód élettani és környezetbeli előfordulására vonatkozó tanulmányokat. Átfogó képet adtam a különböző növények jódfelvételének hatékonyságáról vízkultúrás, tenyészedényes és szántóföldi kísérletek során, valamint a jód egyes növényi szervekben történő felhalmozódásának mértékéről.

Munkám során tenyészedényekben (rhizoboxokban) nevelt sárgahüvelyű bokorbab (*Phaseolus vulgaris L. convar. nanus.*) különböző részeinek (gyökér, szár, levél, virág, termés) jódfelvételét vizsgáltam kálium-jodiddal (0,10, 0,25 és 0,50 mg/L) adalékolt öntözővíz alkalmazásával. A kísérlet során a növények friss és száraz tömegét analitikai mérleg segítségével, a minták jód koncentrációját pedig mikrohullámmal elősegített savas feltárást követően induktív csatolású plazma tömegspektrométer rendszerrel határoztam meg.

Méréseim során megállapítottam, hogy az öntözővíz jód koncentrációjának növelésével a növényi részek jód felvétele minden esetben emelkedett, valamint hogy a legnagyobb jód koncentráció a gyökérben, legkisebb pedig a termésben fordult elő. Az 1. és 2. fenofázis során a növényi részek száraz tömege csak csekély mértékben változott, azonban 0,50 mg/L öntözővízbeli jód koncentráció alkalmazásával a 3. fenofázisban a szár tömege 29%-kal, a levélé 57%-kal, a termésé pedig 39%-kal bizonyult kisebbnek. Kísérleteim során rámutattam arra, hogy bár a jód koncentráció a termésben bizonyult a legalacsonyabbnak, 0,25 mg/L öntözővízbeli jód koncentráció alkalmazásával 30 dkg bab elfogyasztása fedezi egy átlagos felnőtt ember napi jódbevitelét (180-200 µg), tehát a sárgahüvelyű bokorbab megfelelő célnövénynek bizonyult a jód bevitel növelésére.



## 6. Summary

In my experimental work focused on the iodine uptake of bean plants were carried out in the Danube Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences (project number: NVKP 16-1-2016-0044)

In the first part of the paper I prepared a literature overview summarizing the knowledge on the uptake and translocation of iodine in different plants adding iodide or iodate into the irrigation water.

In the second part the experimental conditions and analytical equipments were introduced. Iodine as potassium iodide was added to the irrigation water in concentration of 0.10, 0.25, 0.50 mg/L. After separating the different plant organs wet and dry mass of them were determined, and after that the dried plant parts were mineralized applying microwave-assisted acidic digestion. The iodine concentration of these solutions was measured by inductively coupled plasma mass spectrometer.

Results showed that iodine concentration of bean plant parts increased by increasing iodine content of the irrigation water in all cases. It was established, that iodine achieved its highest concentration in the roots and lowest in the fruits. Dry mass of the plant parts were not changed significantly in the 1. and 2. phenophase, however applying 0,50 mg/L iodine concentration in the 3. phenophase the dry mass of the stem, leaf and fruit samples decreased by 29%, 57%, 39%, respectively. It was also concluded, that in spite of the limited translocation of iodine from the roots to the fruits, 300 g bean fruit is enough (by applying 0.25 mg/L iodine concentration in the irrigation water) to achieve the daily iodine uptake (180-200  $\mu\text{g}$ ) of a normal adult person.

## 7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, *Dobosy Péternek* a tudományos diákköri dolgozatom készítése során nyújtott lelkiismeretes munkáját, a rengeteg segítségét, türelmét és biztatását, amivel segítette munkámat.

Köszönettel tartozom belső konzulensemnek, *Prof. Dr. Záray Gyula* professzor emeritusnak és *Dr. Engloner Attila* igazgató Úrnak, amiért lehetővé tették, hogy dolgozatomat az MTA Ökológiai Kutatóközpont Duna-kutató Intézetében készítem el.

Szeretnék köszönetet mondani *Dr. Óvári Mihálynak* és *Kröpfl Krisztinának* a minta-előkészítés és az ICP-MS mérés során nyújtott elméleti segítségért.

Végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani a szüleimnek és a családom többi tagjának a türelmükért, biztatásukért és a rengeteg segítségükért. Szeretném megköszönni továbbá páromnak, *Holló Márknak* a rengeteg biztatást és hogy mindig mellettem állt.

## 8. Irodalomjegyzék

BENOIST B. D. – MCLEAN E. – ANDERSSON M. – ROGERS L. 2008: Iodine deficiency in 2007: Global progress since 2003. - *Food and Nutrition Bulletin*. 29. pp. 195-202.

CAKMAK I. - PROM-U-THAI C. – GUILHERME L. R. G. – RASHID A. – HORA K. H. - YAZICI A. – SAVASLI E. – KALAYCI M. – TUTUS Y. – PHUPHONG P. – RIZWAN M. - MARTINS F. A. D. – DINALI G. S. – OZTURK L. 2017: Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. – *Springer, Plant and Soil*. 418 pp. 319-335.

FODOR F. (SZERK.). 2013: A növényi anyagcsere élettana. - *Eötvös Loránd Tudományegyetem*. pp. 57.

HONG C. - WENG H. – QIN Y. – YAN A. – XIE L. 2008: Transfer of iodine from soil to vegetables by applying exogenous iodine. - *Agronomy for Sustainable Development*. 28. pp. 575-583.

KABATA-PENDIAS A. 2001: Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition. - *CRC Press, Poland*. pp. 17-18.

KAPUSTA-DUCH J. – BIEŻANOWSKA-KOPEĆ R. – SMOLEŃ S. – PYSZ M. – KOPEĆ A. – PIĄTKOWSKA E. – RAKOCZY R. – KORONOWICZ A. – SKOCZYLAŚ Ł. – LESZCZYŃSKA T. 2017: The effect of preliminary processing and different methods of cooking on the iodine content and selected antioxidative properties of carrot (*Daucus carota* L.) biofortified with (potassium) iodine. - *Folia Horticulturae*. 29/1. pp. 11-24.

LANDINI M. – GONZALI S. – PERATA P. 2011: Iodine biofortification in tomato. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 174. pp. 480–486.

LÁNG F. 1998: Növényélettan, A növényi anyagcsere. - *ELTE Eötvös Kiadó, Budapest*. pp. 138-139, 175.

LAWSON P. G. – DAUM D. – CZAUDERNA R. – MEUSER H. – HÄRTLING J. W. 2015: Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. – *Frontiers in Plant Science*. 6. pp. 1-11.

LI R. – LIU H. – HONG C. – DAI Z. – LIU J. – ZHOU J. – HUA C. – WENG H. 2015: Iodide and iodate effects on the growth and fruit quality of strawberry. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97. pp. 230–235.

LOCH J. - NOSTICZIUS Á. 2004: Agrokémia és növényvédelmi kémia. - pp. 10-22.

- NAZIR R. – KHAN M. – MASAB M. – REHMAN H. U. – RAUF N. U. – SHAHAB S. – AMEER N. – SAJED M. – ULLAH M. – RAFEEQ M. – SHAHEEN Z. 2015: Accumulation of Heavy Metals (Ni, Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe) in the soil, water and plants and analysis of physico-chemical parameters of soil and water Collected from Tanda Dam kohat. - *Journal of Pharmaceutical Sciences and Reshearch*. 7. pp. 89-97.
- PUSKÁS Á. 2007: A jódeállottság növelésének lehetőségei Magyarországon. - *Budapesti Corvinus Egyetem, Doktori értekezés*. pp. 4.
- SALAU B. A. – AJANI E. O. – ODUFUWA K. T. – ADEGBESAN B. O. – SOLADOYE M. O. 2010: Effect of processing on iodine content of some selected plants food. - *African Journal of Biotechnology*. 9. pp. 1200-1204.
- SMOLÉN S. – SKOCZYLAS Ł. – LEDWOZYW-SMOLÉN I. – RAKOCZY R. – KOPE A. – PIATKOWSKA E. – BIEZANOWSKA-KOPE R. – KORONOWICZ A. – KAPUSTA-DUCH J. 2016. Biofortification of Carrot (*Daucus carota* L.) with Iodine and Selenium in a Field Experiment - *Frontiers in Plant Science* 7. pp. 1-17.
- VOOGT W. – HOLWERDAB H. T. – KHODABAKS R. 2010: Biofortification of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine: the effect of iodine form and concentration in the nutrient solution on growth, development and iodine uptake of lettuce grown in water culture. - *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90. pp. 906-913.
- VOOGT W. – STEENHUIZEN J. – EVELEENS B. 2014: Uptake and distribution of iodine in cucumber, sweet pepper, round, and cherry tomato. - *Wageningen UR Glastuinbouw*. pp. 7-13.
- WENG H. X. – HONG C. L. – XIA T. H. – BAO L. T. – LIU H. P. – WANG L. D. 2013: Iodine biofortification of vegetable plants - An innovative method for iodine supplementation. - *Chinese Science Bulletin*. 17. pp. 2066-2072.
- WENG H. – WENG J. – YAN A. – HONG C. – YONG W. – QIN Y. 2008: Increment of Iodine Content in Vegetable Plants by Applying Iodized Fertilizer and the Residual Characteristics of Iodine in Soil. - *Biological Trace Element Reserch*. 123. pp. 218–228.
- ZHU YG. - HUANG YZ. - HU Y. - LIU YX. 2003: Iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants grown in solution culture: effects of iodine species and solution concentrations. - *Environmental International*. 29. pp. 33-7.

## 9. Mellékletek

### 1. melléklet. Hoagland-tápanyag kémiai összetétele

MAKROELEMÉK		MIKROELEMÉK	
Komponens	Koncentráció (mmol/L)	Komponens	Koncentráció (μmol/L)
KNO <sub>3</sub>	1,25	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	11,6
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1,25	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	4,60
MgSO <sub>4</sub>	0,50	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0,19
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,25	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,12
		CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0,08
		Fe-citrát	100

### 2. melléklet. Babnövény részeinek (gyökér, szár, levél, virág, termés) nedves- és száraz tömegei különböző jód koncentrációjú öntözővizek alkalmazásával

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Nedves tömegek az 1. fenofázisban (g)		
	Gyökér	Szár	Levél
Kontroll	4,3730	0,6803	3,7532
	3,2620	0,5303	2,5380
	3,9704	0,9482	4,0514
	3,7950	0,7373	3,1802
	2,1672	0,4430	1,9974
0,10	3,1452	0,5912	2,7988
	3,4815	0,7610	3,0976
	3,2296	0,7965	3,5078
	2,6018	0,6189	2,8365
	3,9990	0,9228	4,2926
0,25	3,8890	0,5644	3,6580
	4,4320	0,6974	3,7105
	4,6287	0,8720	3,6224
	2,8395	0,6262	2,7745
	3,0488	0,8988	3,5250
0,50	3,0230	0,5864	2,5780
	4,0232	0,8582	3,2050
	3,5502	0,5606	3,3084
	5,0010	0,8296	4,1548
	2,3430	0,5086	1,9520



Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Száras tömegek az 1. fenofázisban (g)		
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>
Kontroll	0,3690	0,1095	0,6250
	0,3502	0,0880	0,4530
	0,3286	0,1342	0,4795
	0,3065	0,1174	0,4249
	0,1875	0,0628	0,2032
0,10	0,2794	0,0935	0,3905
	0,3472	0,1229	0,5422
	0,3185	0,1109	0,3894
	0,2127	0,0868	0,3262
	0,3860	0,1377	0,4932
0,25	0,3804	0,0838	0,4780
	0,5192	0,1108	0,5485
	0,4061	0,1240	0,5025
	0,2200	0,0793	0,2528
	0,4418	0,1215	0,3387
0,50	0,2608	0,0887	0,3832
	0,3382	0,1388	0,4982
	0,4008	0,0807	0,4284
	0,4340	0,1153	0,4778
	0,1986	0,0712	0,2450

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Nedves tömegek a 2. fenofázisban (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>	<i>Virág</i>
Kontroll	6,1230	1,5802	8,0120	0,1377
	11,3810	2,1976	13,1338	0,4845
	8,4479	2,4880	11,0189	0,3048
	5,7812	2,3210	9,7558	0,4052
	9,6330	3,2618	12,5130	0,5428
0,10	11,7692	2,2982	11,9670	0,4367
	10,3604	1,8360	10,8726	0,3114
	16,2918	2,4658	13,4440	0,4578
	8,9802	2,9527	15,4363	0,4308
	12,5752	2,6366	15,5150	0,3840
0,25	12,5170	2,4428	12,4322	0,2085
	9,8308	3,1418	14,1888	0,4614
	9,0676	2,5058	14,5796	0,2998
	11,1506	2,7343	15,3155	0,6474
	11,3780	2,9273	12,2846	0,5615
0,50	10,6578	2,6320	11,4790	0,2056
	12,6772	2,6198	11,6525	0,7008
	10,3252	2,5950	12,8945	0,2235
	8,9978	1,8575	11,5566	0,2644
	12,4492	2,1836	11,9112	0,4478

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Száras tömegek a 2. fenofázisban (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>	<i>Virág</i>
Kontroll	0,7570	0,2327	1,2566	0,0230
	0,9962	0,3820	2,0459	0,0505
	0,8014	0,4420	1,5461	0,0542
	0,4422	0,3754	1,2778	0,0546
	1,0642	0,5625	1,5029	0,0928
0,10	1,1027	0,3981	1,6162	0,0602
	0,9336	0,3170	1,3098	0,0434
	1,0822	0,4162	1,3992	0,0669
	0,6947	0,4670	1,6026	0,0733
	1,2766	0,4696	1,8755	0,0710
0,25	1,1564	0,3698	1,7083	0,0370
	0,8843	0,4842	1,4903	0,0683
	0,8893	0,3970	1,6280	0,0475
	1,0394	0,3848	1,6236	0,0790
	0,8841	0,4549	1,4482	0,0724
0,50	0,9855	0,4836	1,5638	0,0351
	0,9835	0,4235	1,5025	0,0877
	0,8673	0,4534	1,7386	0,0365
	0,7943	0,2875	1,3713	0,0380
	0,8336	0,3216	1,5637	0,0592

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Nedves tömegek a 3. fenofázisban (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>	<i>Termés</i>
Kontroll	13,0260	6,4312	11,7800	22,0500
	15,8430	4,2746	17,5008	13,6686
	18,6002	4,5858	13,7384	30,6260
	20,8030	3,9776	16,7152	31,0590
	13,3955	4,8665	11,1652	22,0300
0,10	27,5360	4,3728	14,6630	21,1590
	14,1680	3,7212	12,3392	27,4346
	17,8326	5,8446	9,9450	29,4256
	15,5880	5,9860	11,5376	31,2510
	13,8406	4,6676	13,9155	27,5738
0,25	15,3050	4,9076	11,4586	29,7437
	19,9282	5,4520	11,8038	18,5285
	12,9630	4,6814	11,8714	22,9308
	17,6775	3,5950	13,3289	22,6863
	24,6898	4,9362	13,5140	27,2866
0,50	15,5568	4,4912	5,6920	17,8550
	11,1938	5,2565	9,3628	21,4248
	11,8814	4,5540	2,6646	7,0125
	14,0518	4,2448	12,7802	13,9656
	12,1602	4,1391	9,4054	18,2714

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Szárak tömegek a 3. fenofázisban (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>	<i>Termés</i>
Kontroll	1,1244	1,6983	2,7024	2,1486
	2,0664	1,8223	4,8182	1,5793
	2,7492	1,1980	2,6700	2,5053
	3,4558	1,1480	3,8850	2,5630
	1,6624	1,3822	2,6486	2,6258
0,10	5,4038	1,2289	3,2674	1,7332
	2,4707	1,0836	2,9202	2,8007
	2,1840	1,4257	1,9618	3,2645
	2,5881	1,5242	2,1849	2,9782
	2,3510	1,1470	2,4218	3,1745
0,25	1,7598	1,3344	2,4863	2,4104
	6,6780	1,4022	2,5448	2,3645
	1,2877	1,1630	2,5648	2,0955
	2,9164	1,1712	3,6302	2,7988
	2,6222	1,2862	2,4890	3,0968
0,50	3,1304	1,0895	1,1281	1,6624
	1,5780	1,2311	1,8170	2,0364
	1,2247	0,7153	0,5777	0,4505
	4,0957	1,1308	2,0248	1,1857
	1,6198	1,0128	1,8459	1,6238

3. melléklet. Növényi részek mikrohullámmal elősegített savas feltárása során bemért tömegek

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Bemérés 1. fenofázis (g)		
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>
Kontroll	0,2056	0,1126	0,4982
	0,2004	0,0889	0,4635
	0,2000	0,1378	0,4832
	0,2003	0,1215	0,4308
	0,1895	0,0658	0,2051
0,10	0,1949	0,0952	0,3930
	0,2052	0,1266	0,4926
	0,2046	0,1150	0,3806
	0,1739	0,0901	0,3272
	0,1811	0,1436	0,4968
0,25	0,1924	0,0866	0,4874
	0,2024	0,1145	0,4898
	0,2023	0,1268	0,4872
	0,2015	0,0816	0,2570
	0,2017	0,1228	0,3409
0,50	0,2050	0,0904	0,3886
	0,2012	0,1428	0,4998
	0,2018	0,0842	0,4394
	0,2014	0,1186	0,4869
	0,2033	0,0735	0,2514

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Bemérés 2. fenofázis (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>	<i>Virág</i>
Kontroll	0,4966	0,2422	0,5000	0,0229
	0,4995	0,3736	0,5000	0,0484
	0,4994	0,4406	0,4999	0,0539
	0,4505	0,3767	0,5000	0,0545
	0,4996	0,4990	0,5000	0,0927
0,10	0,4998	0,3951	0,5002	0,0586
	0,4998	0,3144	0,5000	0,0424
	0,5000	0,4148	0,4999	0,067
	0,4996	0,4615	0,4998	0,0739
	0,5002	0,4648	0,4958	0,0736
0,25	0,5000	0,3675	0,4992	0,0375
	0,4998	0,4814	0,4983	0,0698
	0,4998	0,3933	0,4989	0,0481
	0,5000	0,3813	0,4990	0,0808
	0,4999	0,4385	0,4983	0,0738
0,50	0,5000	0,4789	0,4989	0,0339
	0,5002	0,4215	0,4998	0,0821
	0,5001	0,4464	0,4996	0,0369
	0,5000	0,2864	0,4952	0,0385
	0,5001	0,3197	0,3654	0,0608

Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)	Bemérés 3. fenofázis (g)			
	<i>Gyökér</i>	<i>Szár</i>	<i>Levél</i>	<i>Termés</i>
Kontroll	0,4978	0,4980	0,4996	0,4997
	0,4972	0,4976	0,4998	0,4993
	0,4975	0,5000	0,4998	0,4994
	0,4990	0,4958	0,4982	0,4990
	0,4978	0,4988	0,4996	0,5000
0,10	0,4996	0,4987	0,4985	0,4985
	0,4993	0,4980	0,5000	0,4961
	0,4911	0,4999	0,4995	0,4990
	0,4737	0,4989	0,4998	0,5000
	0,4625	0,4975	0,4996	0,4985
0,25	0,4305	0,4994	0,4980	0,4977
	0,5623	0,4986	0,5000	0,4975
	0,4310	0,5000	0,4990	0,5000
	0,4236	0,4998	0,5000	0,4997
	0,4855	0,4982	0,4995	0,4964
0,50	0,4978	0,4976	0,4986	0,4958
	0,4998	0,4964	0,4978	0,5000
	0,4992	0,4991	0,4985	0,4036
	0,4976	0,5000	0,4989	0,4970
	0,5000	0,4994	0,4987	0,4980

4. melléklet. Növényi részek jód koncentrációjának meghatározása során mért intenzitás és koncentráció értékek (n=5) az 1. fenofázis során

<b>Gyökér</b>		
<i>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</i>	<i>Intenzitás (c/s)</i>	<i>Jód koncentráció (µg/kg)</i>
Kontroll	101526	3272
	70008	1527
	67577	1857
	62740	1464
	59797	1571
0,10	109709	5093
	111320	4927
	107031	4703
	90715	4469
	105049	5189
0,25	140284	6964
	161591	7815
	109313	4885
	103391	4571
	93715	4022
0,50	208303	10303
	212953	10760
	193527	9635
	170302	8345
	179684	8791

<b>Levél</b>		
<i>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</i>	<i>Intenzitás (c/s)</i>	<i>Jód koncentráció (µg/kg)</i>
Kontroll	178679	867
	153296	804
	160752	811
	168342	949
	155083	753
0,10	271711	2402
	293788	2086
	361332	3371
	253835	2678
	419718	3028
0,25	534512	3977
	450981	3312
	441084	3253
	278550	3774
	381511	3988
0,50	545785	5098
	764968	5623
	961408	8088
	848909	6425
	426435	6084



<b>Szár</b>		
<b>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</b>	<b>Intenzitás (c/s)</b>	<b>Jód koncentráció (µg/kg)</b>
Kontroll	49524	486
	46361	283
	41287	253
	39962	338
	38526	229
0,10	77672	1321
	74042	929
	73000	1002
	58001	901
	73760	814
0,25	84758	1638
	88968	1323
	75178	947
	81608	1651
	147366	2313
0,50	146015	3108
	201483	2850
	152013	3499
	153051	2504
	114056	2836

5. melléklet. Növényi részek jód koncentrációjának meghatározása során mért intenzitás és koncentráció értékek (n=5) a 2. fenofázis során

<b>Gyökér</b>		
<b>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</b>	<b>Intenzitás (c/s)</b>	<b>Jód koncentráció (µg/kg)</b>
Kontroll	97320	3190
	99410	3390
	82711	2686
	76995	2546
	84832	2579
0,10	171565	7067
	208177	9201
	315881	14202
	212721	8988
	196249	8220
0,25	607648	28734
	593523	28325
	679050	30257
	799354	37311
	754041	34439
0,50	1576891	78939
	1532756	78692
	1459808	73460
	1615719	79299
	1498804	79726

<b>Levél</b>		
<b>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</b>	<b>Intenzitás (c/s)</b>	<b>Jód koncentráció (µg/kg)</b>
Kontroll	295525	2582
	302729	2540
	382458	3238
	320796	2707
	382035	3352
0,10	381293	3522
	432463	3937
	775407	7376
	637873	5791
	474633	4458
0,25	493588	4782
	854161	8399
	965431	9497
	1173305	5997
	1318807	13181
0,50	2118941	21589
	2355294	25504
	2248756	23851
	2204955	23329
	2806212	39516

<b>Szár</b>		
<b>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</b>	<b>Intenzitás (c/s)</b>	<b>Jód koncentráció (µg/kg)</b>
Kontroll	60388	414
	72617	544
	69974	429
	54811	289
	73129	402
0,10	94053	863
	92558	1065
	284581	3103
	114534	1007
	88871	712
0,25	392558	4458
	468629	4407
	383607	4251
	445402	4958
	705631	6867
0,50	931365	9376
	978797	11767
	988958	10978
	878599	8754
	1429590	21576

<b>Virág</b>		
<b><i>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</i></b>	<b><i>Intenzitás (c/s)</i></b>	<b><i>Jód koncentráció (µg/kg)</i></b>
Kontroll	53210	1610
	49349	1253
	41957	906
	45669	625
	41165	1523
0,10	53980	1312
	36909	780
	62188	1492
	43878	683
	40540	553
0,25	57943	2568
	53781	1220
	47694	1238
	52677	995
	72301	1825
0,50	88833	4503
	132051	3801
	89814	5313
	67446	3334
	162268	6137

6. melléklet. Növényi részek jód koncentrációjának meghatározása során mért intenzitás és koncentráció értékek (n=5) a 3. fenofázis során

<b>Gyökér</b>		
<b><i>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</i></b>	<b><i>Intenzitás (c/s)</i></b>	<b><i>Jód koncentráció (µg/kg)</i></b>
Kontroll	177252	5398
	138264	3567
	167458	4750
	181931	5000
	161145	4668
0,10	533430	18909
	497057	18290
	646053	25655
	499522	19461
	673812	27560
0,25	1193000	56168
	988840	43305
	1080678	50806
	961126	45874
	814293	35671
0,50	2399202	107640
	2404245	111054
	2880814	127421
	2472490	109680
	1817038	84038

<b>Levél</b>		
<b>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</b>	<b>Intenzitás (c/s)</b>	<b>Jód koncentráció (µg/kg)</b>
Kontroll	269353	1704
	180409	1079
	369501	2459
	622525	4217
	429130	2841
0,10	786323	5742
	524858	3959
	433147	3235
	452127	3297
	747172	5700
0,25	673886	5763
	1670334	14306
	730997	6442
	498056	4074
	669179	5663
0,50	1287416	12587
	1481574	14123
	2421455	24616
	2545992	25759
	1259943	11849

<b>Szár</b>		
<b>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</b>	<b>Intenzitás (c/s)</b>	<b>Jód koncentráció (µg/kg)</b>
Kontroll	88489	454
	76159	336
	87631	428
	89486	452
	83107	399
0,10	721070	4991
	352997	2314
	288474	1798
	217812	1447
	385880	2577
0,25	533903	3942
	822876	6500
	639876	5001
	482197	3614
	425305	3212
0,50	1729165	15754
	1810549	16599
	1374196	11916
	4371072	24346
	1875849	17586

<b>Termés</b>		
<b><i>Öntözővíz jód koncentrációja (mg/L)</i></b>	<b><i>Intenzitás (c/s)</i></b>	<b><i>Jód koncentráció (µg/kg)</i></b>
Kontroll	81966	407
	80394	397
	71999	334
	61222	251
	90394	473
0,10	138661	752
	93221	474
	62978	281
	53681	204
	58052	244
0,25	107636	677
	166395	1155
	139526	845
	75751	381
	71913	367
0,50	213278	1658
	208395	1613
	219075	1771
	217542	1725
	258382	2082