

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**SZERVETLEN SZELÉNMÓDOSULATOK BIOLÓGIAI HATÁSÁNAK ÉS A
FORTIFIKÁCIÓ LEHETŐSÉGEINEK TANULMÁNYOZÁSA NÖVÉNYI
RENDSZEREK BEN**

Jelölt: Domokosné Szabolcsy Éva

Témavezető: Prof. Fári Miklós



**DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola**

Debrecen, 2011

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései

Természetes környezetünkben a szelén kőzetekben, talajokban, vizekben egyaránt előforduló mikroelem. Ugyanakkor napjaink felgyorsult iparosodásának következményeként is jelentős mennyiségű szelén kerül a környezetbe ipari melléktermékként. Így összességében viszonylag nagy szelén készletek vannak Földünkön, eloszlásuk azonban nagyon egyenlőtlen. Miért lényeges ez? A szelén kétélű kardként viselkedik biológiai rendszerekben, nagyon szűk az a koncentrációtartomány, ami szükséges és hasznos az emberi és állati szervezeteknek, e szint alatt a hiánytünetek hamar jelentkeznek, ugyanakkor a toxikus tartományt is könnyen el lehet érni.

A szelén a legintenzívebben kutatott mikroelemek egyike, több tudományterületen végzett vizsgálatok eredményeiből mára már sok információ halmozódott fel. Analitikai kémiai kutatások segítségével világossá vált, hogy a szelén az élettelen környezetben különböző koncentrációban és módosulatként lehet jelen, a külső fizikai és kémiai tényezőktől függően. Megjelenési formája nagymértékben befolyásolja felvételét Prokaryotákban és Eukaryotákban egyaránt. Az is nyilvánvalóvá vált, hogy bizonyos élőlény csoportok (baktériumok, magasabb rendű állatok, ember) normális anyagcsere működéséhez elengedhetetlen a szelén. Más szervezetek létezéséhez azonban nem feltétlenül szükséges (gombák és magasabb rendű növények), de akkumuláló képességük előnyt jelenthet.

Ahogy minden kutatási terület közvetve vagy közvetetten az ember irányába központosított, nem kivétel ez alól a szelén sem. Miután bebizonyosodott a szelénről, hogy létfontosságú az emberi szervezet számára (*Schwartz és Foltz 1957*), az orvostudományi területeken élénk érdeklődés vette körül. A szakirodalomban egymás után írták le a szeléntartalmú enzimeket, illetve egyéb proteineket. Kimutatták, hogy a szelén nélkülözhetetlen az immunrendszer normális működéséhez, a spermiumok mozgékonyaságához, valamint úgy tűnik szerepet játszik a HIV fertőzés AIDS-é alakulásának gátlásában (*Rayman, 2000*). Az is bizonyossá vált, hogy vannak kifejezetten szelénhiányhoz köthető betegségek is, mint a Keshan illetve Beck-Kashin betegségek.

Az orvostudományban elért felismeréseknek köszönhetően az utóbbi években felértékelődött a megfelelő szelénbevitel jelentősége. A múltban a legfontosabb szelén forrást a gabonafélék, zöldségek, húsok, állati termékek jelentették. Napjainkban azonban számos országban küzdenek az alacsony szelénbevitellel a változó táplálkozási szokások, illetve a természetes növényi és állati élelmiszerek csökkenő szelén tartalma miatt. Emiatt a megfelelő szelénpótlás nagy kihívást jelent. A vegy- és gyógyszeripar hamar reagált az igényre, és ma már számos

szeléntartalmú készítményt találunk a boltok és gyógyszertárak polcain. Ugyanakkor kézenfekvő lehetőség a táplálékok szeléntartalmának közvetlen vagy közvetett növelése. A zöldségnövények különösen nagy jelentőségűek e tekintetben, hiszen sok közülük képes a felvett szervesetlen szelénformákat olyan szelenoaminosav származékokká alakítani, amelyek humán-egészségügyi szempontból nagyon kedvező hatásúak.

A zöldségekkel, és egyéb növényekkel végzett kutatások homlokterében elsősorban a szelenát és a szelenit forma áll, mivel ezek a leggyakoribb és legkönnyebben felvehető formák. A természetes környezetben ritkábban előforduló szelenidről és elemi szelénről ismert, hogy szinte felvehetetlen a növények számára. Van azonban egy érdekes, kevésbé kutatott szelénforma is, a vörös elemi nanoszelén, mely állatkísérletekben meglepő eredményeket mutatott, de növényekben eddig még senki nem vizsgálta. Nincsenek információk sem felvehetőségéről, sem pedig biológiai hatásáról.

Összekapcsolva a növények és szelén kapcsolatán alapuló megválaszolatlan kérdéseket a lehetőségekkel, melyek tanszékünk munkaterületéből adódott, fokozatosan alakult ki a doktori munkám hipotézise, célja. Alapvetően a zöldségnövényekre fókuszáltam, mint humán egészségügyi szempontból kiemelkedő jelentőségű, szelénfelvételre alkalmas forrásra. Ugyanakkor növényi szempontból is nagyon érdekesnek tűnt a különböző szelénformák biológiai, kémiai hatásvizsgálata, hiszen (különösen) *in vitro* vonatkozásban kevésbé kutatott terület.

Mindezek alapján munkám három alapvető pillérre épült fel, melyek egymástól függetlenek, mégis szorosan összekapcsolódnak:

- Céлом volt egy eddig növényekben sohasem vizsgált szelénforma, a vörös elemi nanoszelén alapvető morfogenetikai, élettani, biokémiai hatásának összehasonlító vizsgálata nátrium-szelenáttal dohánymodellen, *in vitro* szövettenyészetben.
- Továbbá a szelenát, mint könnyen hozzáférhető, s egyben leggyakrabban használt szervesetlen szelénmódosulat biológiai hatását és a fortifikáció lehetőségét vizsgáltam meg két eltérő szelénakkumuláló képességű zöldségfaj esetében *in vitro* csíranövényeken.
- Harmadrészt üvegházi körülmények között vizsgáltam a szelenát biológiai hatását fajta összehasonlító kísérletben. A kísérletet zárt fortifikációs rendszerben végeztem, mely egyúttal lehetővé tette szerves szelénben gazdag funkcionális zöldhagyma hajtását. Az így módon előállított zöldhagymából feldolgozott, késztermék megvalósításáig is eljutottunk.

2. A kutatás módszerei

2.1. Szervetlen szelénformák növénybiológiai hatásának *in vitro* modellezése

2.1.1. Dohány szövettenyésztése

Inidrekt organogenezist indukáltam szilárd, MS táptalajon dohány (*Nicotiana tabacum* cv. Ottawa Petit Havanna) modellszervezeten az alábbi hormon kombinációval: 2 mg/l zeatin és 0,01 mg/l naftilecetsav. A kalluszon át képződő mikrohajtásokat szilárd, hormonmentes MS táptalajon regeneráltam.

Az alkalmazott szelénformák és koncentrációk: 0; 0,1; 1; 10; 50; 100 mg/l koncentrációjú nátrium-szelenát oldat, illetve vörös elemi nanoszelen (nanoSe) szuszpenzió.

A növénynevelést 10/14 órás fotoperiódusú, állandó hőmérsékleten, 23 °C-on tenyésztőszobában végeztem 41 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foton flux megvilágítás mellett.

2.1.2. Dohány szövettenyésztéből elvégzett mérések

Morfogenetikai és tömegmérések: friss és száraztömeg mérés, szárazanyagtartalom meghatározás; gyökeresedési erély meghatározás mikrohajtásokat tartalmazó kalluszból (MTK), regenerálódó növény hajtás részéből (RH) valamint regenerálódó növény gyökér részéből (RGY).

Biokémiai és analitikai mérések:

- Összes szelén tartalom meghatározása AFS módszerrel (Cabanero *et al.*, 2004)
- Nikotinsav, nikotinamid, trigonellin tartalom meghatározása HPLC módszerrel
- Klorofill A és B tartalom meghatározása spektrofotometriás módszerrel (Hendry és Price, 1993)

2.2. Zöldségcsírák *in vitro* fortifikálása nátrium-szelenáttal

2.2.1. Kísérleti tenyészet beállítása

Retek (*Raphanus sativus* L. cv. Tavaszi piros) és paprika (*Capsicum annuum* L. cv. Láva) steril magvetését víztiszta polisztrén tenyészedényekben végeztem, edényenként 100-100 szem maggal.

Az alkalmazott szelénforma és koncentrációk: Nátrium-szelenát 0, 2, 10, 50, 100, 200 mg/l.

A csíráztatás kontrollált körülmények között történt 41 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foton flux megvilágítás, 8/16 órás fotoperiódus mellett, 23 °C állandó hőmérsékleten.

2.2.2. A csíranövényekből elvégzett mérések

Morfogenetikai és tömegmérések: Csírázási erély vizsgálat; friss és száraztömeg mérés, szárazanyagtartalom meghatározás.

Biokémiai és analitikai mérések: Összes szeléntartalom meghatározása ICP-MS módszerrel.

2.3. Zöldhagyma fortifikálása szelenáttal

2.3.1. Kísérleti tenyészet beállítása

Makói lila és Makói bronz vöröshagyma fajtákat választottam a kísérletekhez (*Allium cepa* cv. 'Makói bronz', 'Makói lila'). Feketefóliával bélelt szaporító tálcákban, perlitágyba ültettem a kereskedelmi méretű hagymákat. Az egészet faforgáccsal betakartam.

Az alkalmazott szelénforma és koncentrációk: Nátrium-szelenát 0, 2, 5, 10, mg/l .

A hajtás üvegházban történt természetes fotoperiódus mellett. A fényerősség csökkentése érdekében a szaporító tálcák felett, az ablakokra Raschel-háló lett kifeszítve. Három hét elteltével kifejlődött zöldhagymákat az anyahagymáktól elválasztottam.

2.3.2. A zöldhagymákból elvégzett mérések

Hosszúság mérés COLIM színes képosztályozó és mérő számítógépes program segítségével; friss és száraztömeg mérés, szárazanyag tartalom meghatározás.

Biokémiai és analitikai mérések:

- Összes szeléntartalom meghatározása AFS módszerrel.
- Szelénmódosulatok meghatározása HPLC-ICP módszerrel.
- Vízoldékony antioxidáns sűrűség (ACW) mérése kemiluminometriás módszerrel (Popov és Lewin, 1999);
- Zsíroldékony antioxidáns sűrűség (ACL) mérése kemiluminometriás módszerrel (Popov és Lewin, 1999);
- Klorofill A és B tartalom meghatározása spektrofotometriás módszerrel (Hendry és Price, 1993);
- Glutation-peroxidáz aktivitás mérése (Chiu et al., 1976) leírása alapján.

3. Az értekezés új tudományos eredményei

3.1. Szervetlen szelénformák növénybiológiai hatásának *in vitro* értékelése

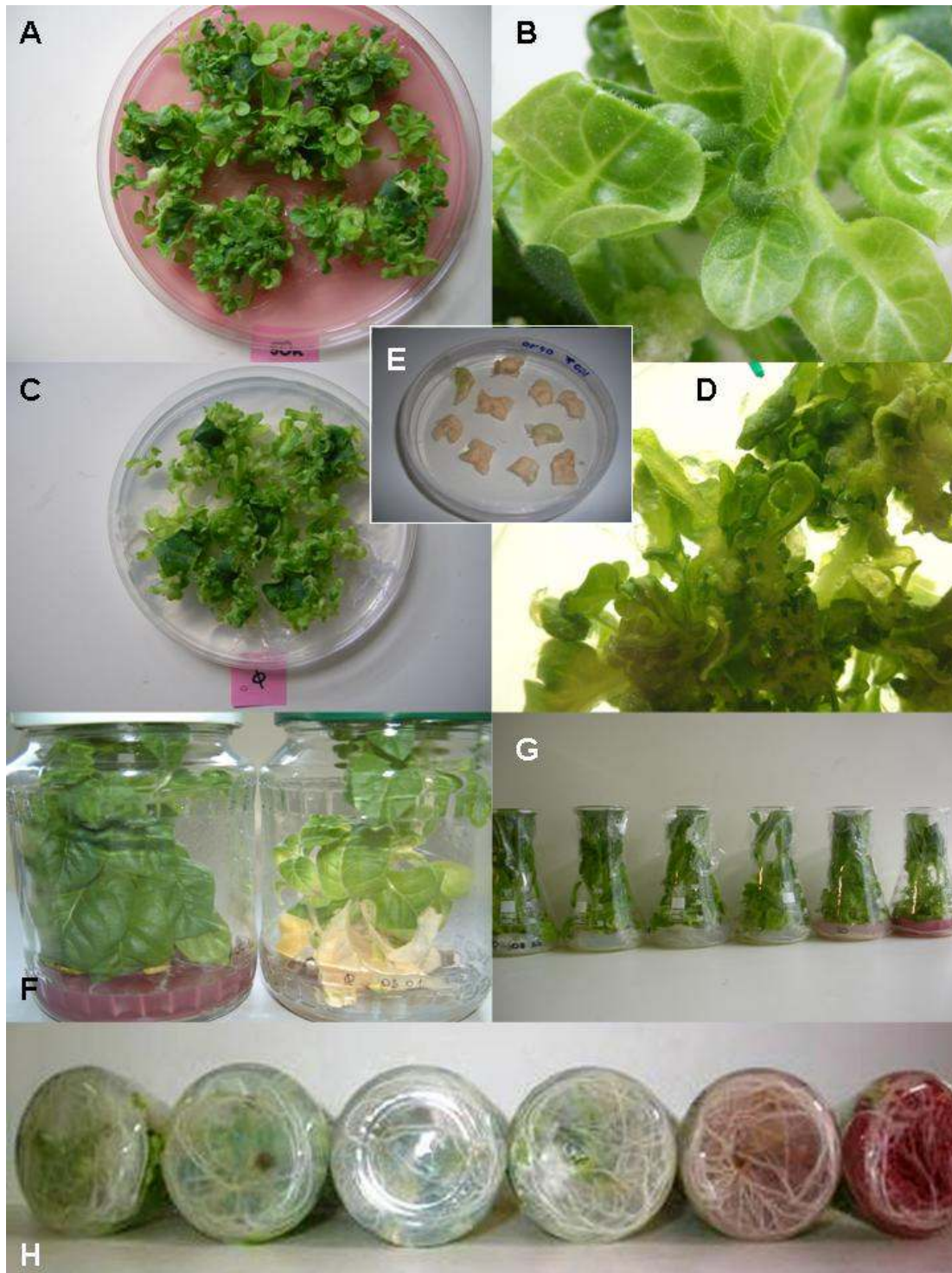
Vizsgálataim során az egyik legjelentősebb morfológiai különbséget az organogenezis indukcióban tapasztaltam a két szelénformát összehasonlítva. A nanoSe kezelés magasabb koncentráció esetén (50-100 mg/l) sem okozott toxikus tüneteket a kalluszon át képződő mikrohajtások (MTK) képzésében (1/A. ábra). Sőt a kalluszok organogénebbnek bizonyultak, mint a kontroll tenyészetekben, felszínükön rövid időn belül nagy tömegben képződtek a jól-differenciált, szabályos alakú mikrohajtások. Vitrifikálódás, a szövetek vizenyősödése egyáltalán nem volt tapasztalható (1/B ábra). Ezzel szemben a kontroll táptalajon képződött kalluszok felszínén fejlődő mikrohajtások jelentős része vitrifikálódott, leveleik gyakran

abnormális formájúak voltak, áttetszőek, vizenyős, szivacsos szerkezetűek (1/C-D. ábra). A morfológiai változásokhoz hasonlóan a MTK tömegváltozását vizsgálva sem tapasztaltam a nanoSe toxikus hatását az alkalmazott kezelés tartományban, sőt 10 mg/l még szignifikánsan meg is növelte a friss tömeget.

A szelenát forma 50 – 100 mg/l koncentrációtartományban gátolta az organogenezist. Az 50 mg/l-nél a vizsgált időintervallumban minimális mértékben kezdtek el kalluszosodni a letett levélszegmensek, az eredmények kiértékelhetetlenek voltak. A 100 mg/l szelenát teljesen meggátolta a kalluszképződést, a lerakott levélszegmensek teljesen kifehéredtek (1/E. ábra). Alacsony koncentrációban (1 mg/l) azonban szignifikáns növekedést tapasztaltam a MTK tömeggyarapodásban szelenát kezelés hatására.

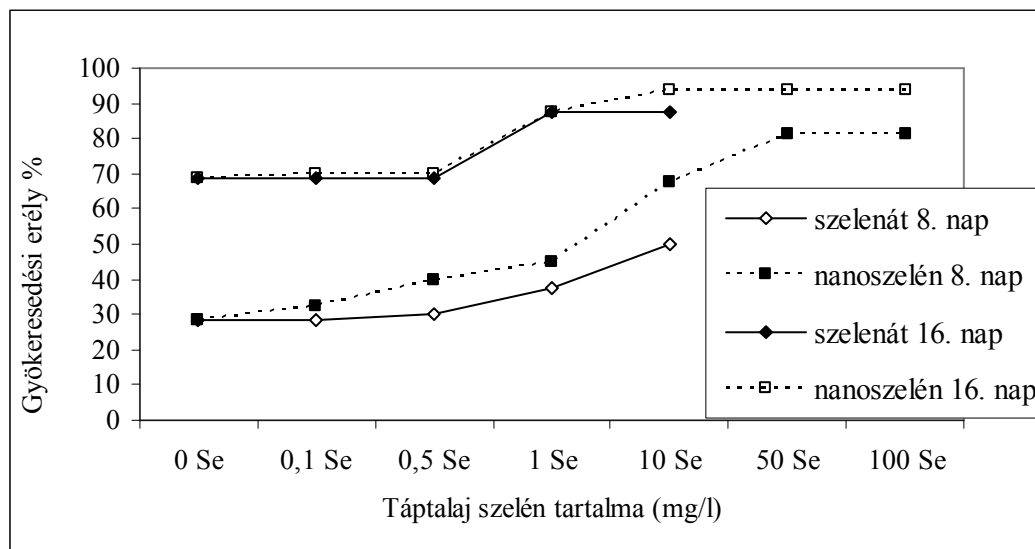
Regenerálódott növény hajtásrészében (RH) nem tapasztaltam szignifikáns eltérést a kontrolhoz képest az alkalmazott nanoszelén kezelések mellett figyelembe véve a szórásokat (1/F-G. ábra). Szelenát esetében azonban ≥ 50 mg/l teljesen meggátolta a RH fejlődését.

A regenerálódott növény gyökérrészét (RGY) vizsgálva, a hajtástól eltérően, szignifikáns növekedés volt látható nanoSe kezelés hatására ≥ 10 mg/l a friss tömeget illetően. Az eredmények alátámasztották a vizuális megfigyeléseimet, miszerint 50 – 100 mg/l nanoSe kezelés mellett a növények gyökérhálózata kiterjedtebb, sűrűbb volt a kontrolhoz viszonyítva (1/H. ábra). A nanoSe-nel szemben 10 mg/l szelenát kezelés mellett szignifikánsan lecsökkent a friss gyökértömeg.



1. ábra: Dohány kalluszképződés és regeneráció különböző szelén kezelések mellett. A -B: kalluszon át képződő mikrohajtások (MTK) 100 mg/l nanoSe táptalajon. C - D: kalluszon át képződő mikrohajtások kontrol táptalajon. E: kalluszképződés hiánya 100 mg/l szelenát táptalajon. F: gyökérképződés (RGY) 0-100 mg/l nanoszelénes táptalaj sorozaton. G: hajtás regeneráció (RH) 100 mg/l nanoSe és kontrol táptalajon; H: hajtásregeneráció 0-100 mg/l nanoszelénes táptalaj sorozaton.

A nanoSe stimuláló hatása a gyökérképződésre már a gyökeresedési folyamat kezdetekor látható volt. A 8. napon a kontrol hajtásoknak mindössze 28%-nál indult meg a gyökéresedés, míg 10-100 mg/l nanoSe kezelés mellett a 40-73%-nál megjelentek apró gyökerek (2. ábra). A 16. napon történő felvételezés során a növények több mint 90% -a kigyökeresedett ≥ 10 mg/l nanoSe kezelés mellett, míg a kontrol növények esetében csak $\sim 70\%$. A szelenát ≥ 50 mg/l teljesen meggátolta a gyökeresedést (2. ábra).



2. ábra: A regenerálódó növények gyökeresedése két időpontban felvételezve

A szakirodalom szerint az elemi szelén nem felvehető forma intakt növények számára (*White et al., 2004*). A táptalajban lévő nanoSe hatására azonban szignifikánsan megnőtt a teljes szelén tartalom MTK, RH és RGY esetében egyaránt (1. táblázat). Az eredmények azzal magyarázhatóak, hogy elemi nanoszelén gömbök (Se^0) bediffundáltak a növényi szövetekbe (apoplaszt) a vágott felületek mentén és/vagy a nyitott gázcserenyílásokon át. A növényi szövetekben, mint vizes közegben a megnövekedett felületű nanogömbök felszínéről lassan, de folyamatosan szabadulhatott fel a szelén ionos formában. Az organogenezisben tapasztalt pozitív hatásokat ez a folyamatos, alacsony szelénion koncentráció okozhatta. Ezzel szemben a szelenát, mint ionos szelénforma (Se^{6+}) a növények számára könnyen felvehető, nagyobb mennyiségben azonban toxikus hatású, visszafogja a fejlődést (*Van Hoewyk et al., 2008*), s ennek volt köszönhető a kalluszképződés ill. növényregenerálódás gátlása 10 mg/l koncentráció felett. Az 1. táblázat alapján látható, hogy szelenát alkalmazásával 2-3-szor nagyobbak voltak a teljes szeléntartalom értékek, mint nanoSe esetében ugyanazon koncentrációnál az MTK-t és RH-t tekintve.

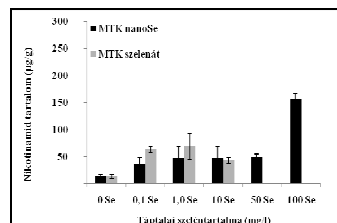
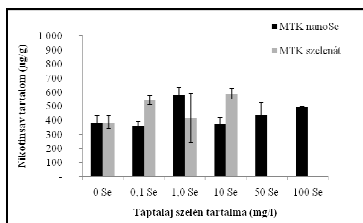
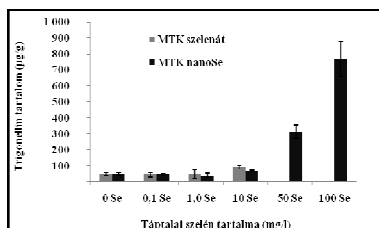
1. táblázat: Dohány kallusz (MTK) illetve regenerált növény hajtás és gyökér részének (RH, RGY) teljes szeléntartalma

Kezelés	MTK (mg/kg)		RH (mg/kg)		RGY (mg/kg)	
	selenate	nanoSe	selenate	nanoSe	selenate	nanoSe
0 mg/l	0.23 ± 0.1	0.23 ± 0.1	0.07 ± 0.02	0.07 ± 0.02	0.02 ± 0.002	0.02 ± 0.002
0,1 mg/l	3.8 ± 0.32	0.71 ± 0.4	4.19 ± 0.4	1.05 ± 0.2	1.60 ± 0.07	4.83 ± 0.58
1,0 mg/l	16.0 ± 0.4	3.05 ± 0.3	53.2 ± 3.0	2.7 ± 0.3	15.3 ± 0.13	24.4 ± 4.0
10mg/l	300 ± 11	40.9 ± 1.9	318 ± 13	20.3 ± 2.2	74.8 ± 14.6	269 ± 11
50 mg/l		164 ± 16		35.2 ± 3.8		1237 ± 42
100mg/l		391 ± 31		84,9 ± 9,8		2947 ± 99

A regenerálódó növény gyökérrészában eltérő volt a helyzet. Szignifikánsan nagyobb szelén értékeket kaptam nanoszelénnel kiegészített táptalajon nevelt növények gyökereiben, mint a szelenáttal kezelt egyedek esetében. Az 50 - 100 mg/l nanoSe alkalmazása mellett extrém magas 1237-2947 mg/kg összes szelén értékeket mértem száraz tömegre vonatkoztatva. A kapott eredmények még érdekesebbek, ha összevetjük azzal, hogy itt volt leggyorsabb és legintenzívebb a gyökérképződés (1. táblázat; 1. és 2. ábra). Ezek az eredmények tovább erősítik azt a feltételezést, miszerint a felvett elemi nanoSe önmagában indifferens a növény számára, magát a serkentő hatást az elemi szeléngömbök felszínéről folyamatosan felszabaduló szelénionok állandó, alacsony koncentrációja okozta közvetlen és/vagy közvetett módon.

A nikotinamid és metabolitjai, úgymint nikotinsav, trigonellin jelátvivőként részt vehetnek az oxidatív stressz folyamatokban, és szerepet játszhatnak a növényi védekezésben (*Berglund et al., 1996*). Kémiai szerkezetükből adódóan sikerült e vegyületeket egy kromatográfiás rendszerben elválasztanom. A mikrohajtásokat tartalmazó kalluszokban ≥ 50 mg/l nanoSe felett mind a nikotinsav, nikotinamid és trigonellin koncentrációja megemelkedett (trigonellin esetében kiemelkedően magas: 314 – 767 $\mu\text{g/g}$ koncentrációkat mértem), ami arra utal, hogy a nanoSe is hasonlóan a többi szelén formához stresszt indukál növényekben nagyobb koncentrációban (3. ábra). Szelenát kezelés hatására szignifikánsan megemelkedett a

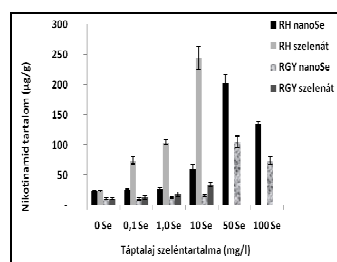
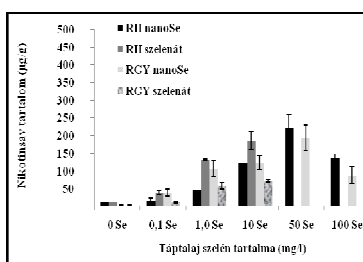
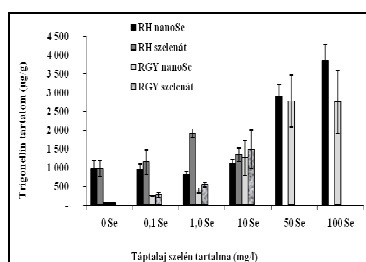
nikotinsav és a nikotinamid koncentráció, de a trigonellin tartalom nem MTK-ban (3/A-B-C. ábra).



3/A. ábra: Trigonellin tartalom kalluszsban (MTK)

3/B. ábra: Nikotinsav tartalom kalluszsban (MTK)

3/C. ábra: Nikotinamid tartalom kalluszsban (MTK)



4/A. ábra: Trigonellin tartalom regenerált növény hajtás és gyökér részében (RH ill. RGY)

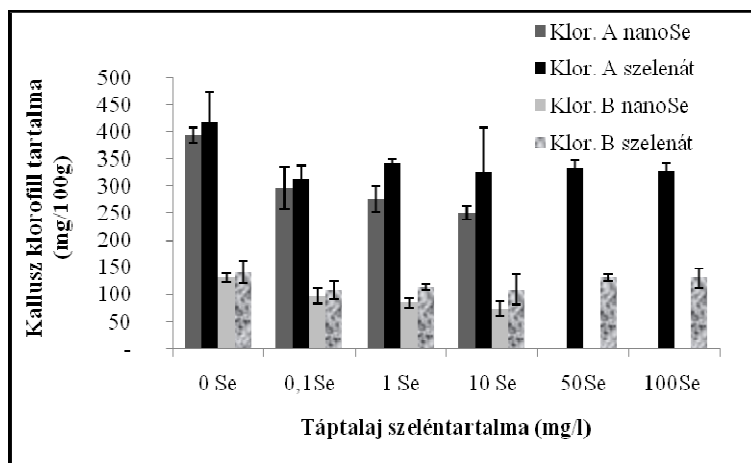
4/B. ábra: Nikotinsav tartalom regenerált növény hajtás és gyökér részében (RH ill. RGY)

4/C. ábra: Nikotinamid tartalom regenerált növény hajtás és gyökér részében (RH ill. RGY)

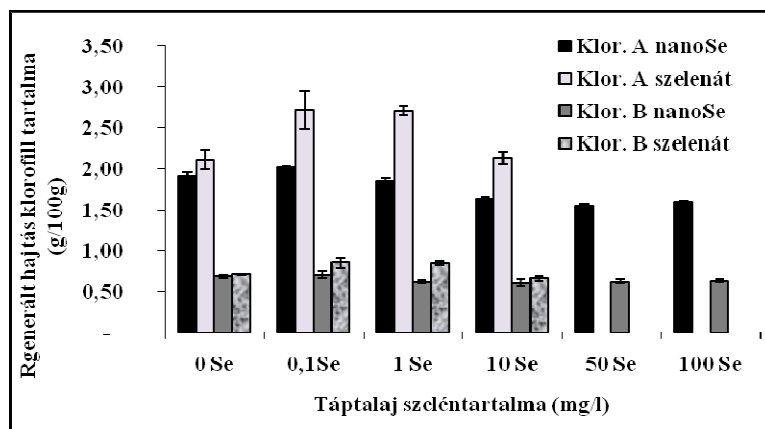
Regenerálódó növényekben is látható volt, hogy a mindkét alkalmazott szelénforma megnövelte a trigonellin, nikotinsav és nikotinamid metabolitok koncentrációját (4/A-B-C. ábra). Jellemző volt azonban, hogy a szelenát már alacsonyabb koncentrációban növekedést idézett elő a nikotinsav illetve a nikotinamid tartalomban, mint a nanoSe (4/B-C. ábra).

A MTK-ban, RH valamint RGY-ben mért nikotinsav, nikotinamid illetve trigonellin eredményeket összevetve a morfológiai és tömegadatokkal arra következtettem, hogy bár mindkét szelénforma stresszindukáló, hatásuk lényeges eltéréseket mutat. A nanoSe nagy koncentrációkban (50 - 100 mg/l) ún. eustresszt, vagyis stimuláló hatását okoz, ami megnyilvánult a kalluszképzés serkentésében, a vitrifikáció gátlásában és a gyökérregenerálódásban. Ellenben a szelenát ún. distresszt, azaz gátló hatású stresszt indukált már ≥ 10 mg/l koncentrációtól, ami nyomon követhető volt a kallusz-, ill. gyökérképzés gátlásában valamint a hajtásnövekedés visszamaradásában egyaránt.

Klorofill A és B tartalom mérésekor csak szelenát alkalmazása mellett tapasztaltam szignifikáns csökkenést MTK-ban (5/A. ábra).



5/A. ábra: Klorofill A és B tartalom dohány kalluszban nátrium-szelenát, ill. nanoszelen tartalmú táptalajon ($p < 0,05$) (+/-SE)



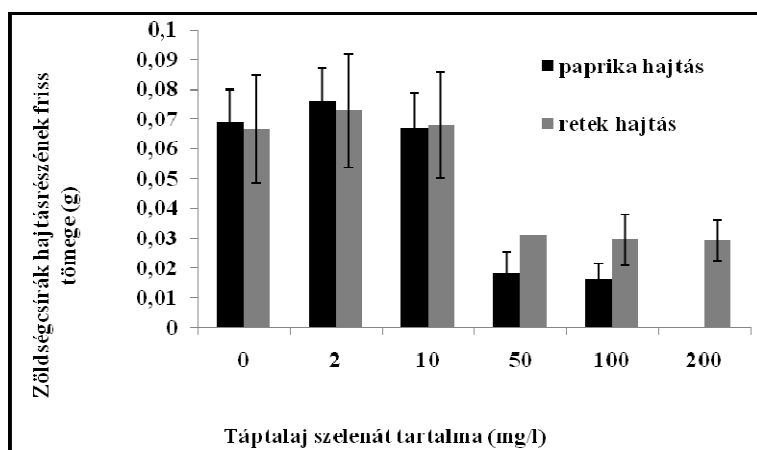
5/B. ábra: Klorofill A és B tartalom regenerált dohány hajtás részében nátrium-szelenát, ill. nanoszelen tartalmú táptalajokon ($p < 0,05$) (+/-SE)

RH-ban a nanoSe alacsony koncentrációban nem befolyásolta a klorofill A szintézist, ≥ 10 mg/l-től azonban gátló hatású volt. Klorofill B értékekben nem volt szignifikáns különbség az alkalmazott koncentráció tartományban (5/B. ábra). A szelenát (0,1 – 1,0 mg/l) megemelte hajtások klorofill A értékeit, a klorofill B-t nem befolyásolta.

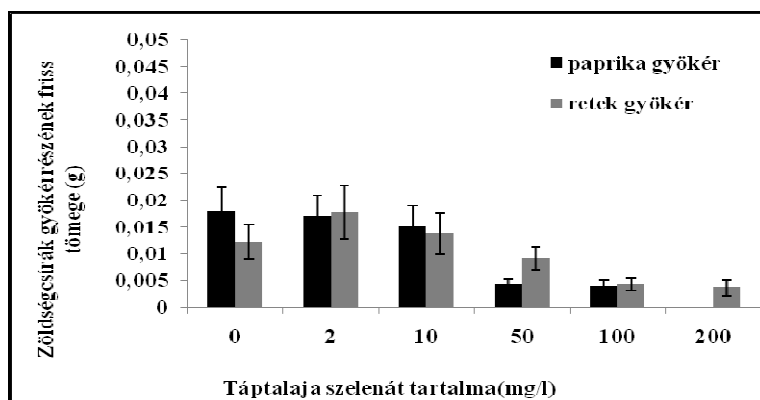
3.2. Nátrium-szelenát összehasonlító biológiai vizsgálata szelénakkumuláló és nem-akkumuláló zöldségcsírákban

A két zöldségfaj szelénakkumuláló képességében rejlő különbség láthatóvá vált már a csírázás során: Alacsony koncentrációban (2 mg/l) a szelenát mindkét faj csírázását kis mértékben serkentette. Ezzel szemben 200 mg/l koncentráció teljesen gátolta a paprika magvak csírázását, míg a retek esetében nem volt érzékelhető a gátló hatás.

A retek és paprika szelenát toleranciája nyomon követhető volt a csíranövények biomasszaprodukciójában is. A 2 mg/l nem befolyásolta szignifikánsan a retek (~7%-os átlag tömegnövekedés egyedenként) friss tömeget hajtás részben (6/A. ábra). 50-200 mg/l koncentráció tartományban a szemmel jól látható toxikus hatás statisztikailag is alátámasztható volt a lecsökkent hajtás tömegértékek alapján (6/A. ábra). Paprika esetében a szelenát toxikus hatása alacsonyabb koncentrációnál jelentkezett, mint reteknel, ami szelén toleranciájukkal hozható összefüggésbe (Dhillon és Dhillon, 2009).



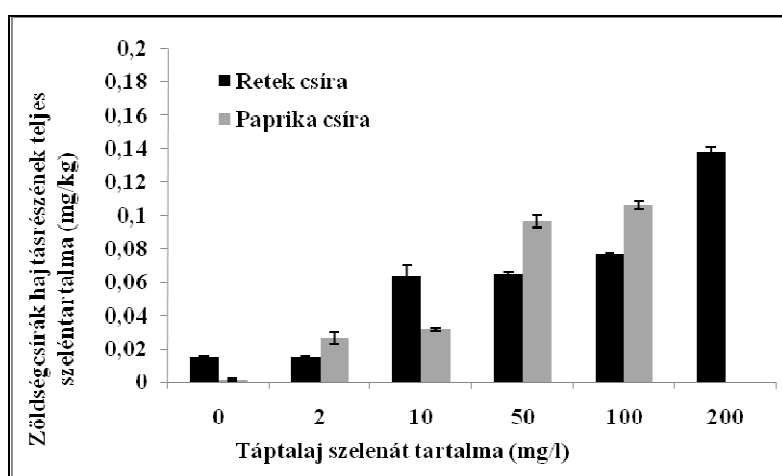
6/A. ábra: Paprika és retek csíranövények hajtásrészének egyedi átlagtömege a táptalaj szelenát tartalmának függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)



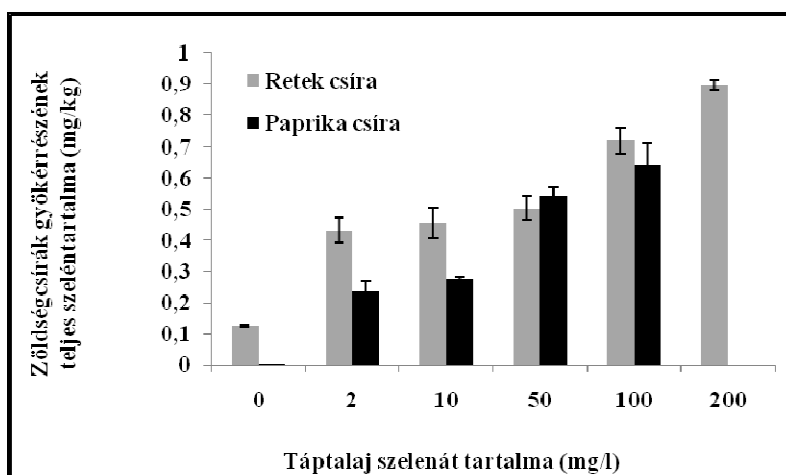
6/B. ábra: Paprika és retek csíranövények gyökér részének egyedi átlagtömege a táptalaj szelenát tartalmának függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)

A gyökerek tömegbeli változása némi eltérést mutatott a hajtásrészekhez képest. Retek esetében 2 mg/l szelenát kiegészítés szignifikánsan megemelte a gyökér tömeget, ellentétben a paprikával, ahol ugyanezen koncentráció kis mértékben csökkentette (6/B. ábra). Az 50-200 mg/l koncentráció tartomány szignifikánsan csökkentette a gyökérfejlődést retek és paprika esetében egyaránt.

A szelenát jól felvehető szelénforma a növények számára, amit a teljes szeléntartalom során mért eredmények is igazoltak. Ugyanakkor a két faj eltérő szelénakkumuláló képessége már a magvak szeléntartalmának mérésével igazolható volt. A szelénakkumuláló retek magban (0,498 mg/kg) egy nagyságrenddel nagyobb értéket kaptam, mint paprika (0,015 mg/kg) esetében. A kontrol táptalajon nevelt csíranövények teljes szeléntartalom eredményei tovább erősítették a különbséget a két zöldségféle eltérő szelénakkumuláló képességéről, hiszen az itt mért értékek arra mutattak, hogy mennyi szelén szabadult fel a magvakból. Retekben egy nagyságrenddel magasabb volt a teljes szelén tartalom, mint paprikában, akár a hajtást (reték hajtás: 0,0152 g/kg ↔ paprika hajtás: 0,0011g/kg) akár a gyökeret (reték gyökér: 0,123g/kg ↔ paprika gyökér: 0,0034 g/kg) vizsgálva (7/A-B. ábra).



7/A. ábra: Zöldségcsírák hajtásrészének teljes szelén tartalma a táptalaj szelenát tartalmának függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)



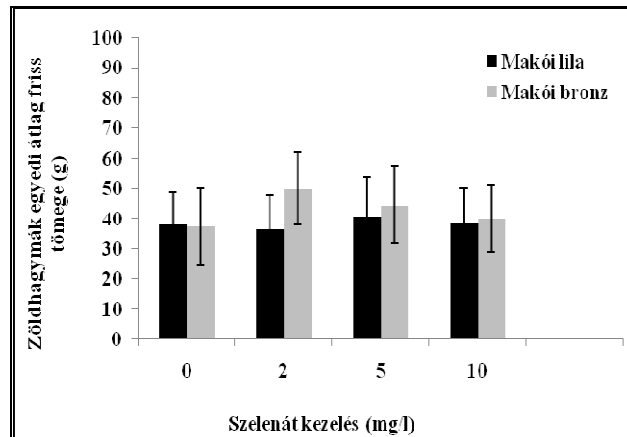
7/B. ábra: Zöldségcsírák gyökérrészének teljes szelén tartalma a táptalaj szelenát tartalmának függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)

A *Brassicaceae* családba tartozó növények, köztük a retek, képes a felvett szerves szelénformákat részben átalakítani szelenoaminosav származékokká, melyek nem befolyásolják anyagcsere folyamatait, emiatt nagyobb koncentrációban ez okozza a nagyobb toleranciát (Mounicou *et al.*, 2006). Ellenben a nem-szelénakkumuláló növényekben, a felvett szelén jó része szelenometioninba épül be elrontva ezzel több funkcionális fehérjét is, aminek következtében már alacsonyabb szelénát koncentráció mellett jelentkeznek a toxikus tünetek: ezt alátámasztotta kísérletem, miszerint paprika esetében 200mg/l szelénát teljesen megakadályozta a magvak csírázását, míg a retkecsíra bár visszafogottan, de fejlődött.

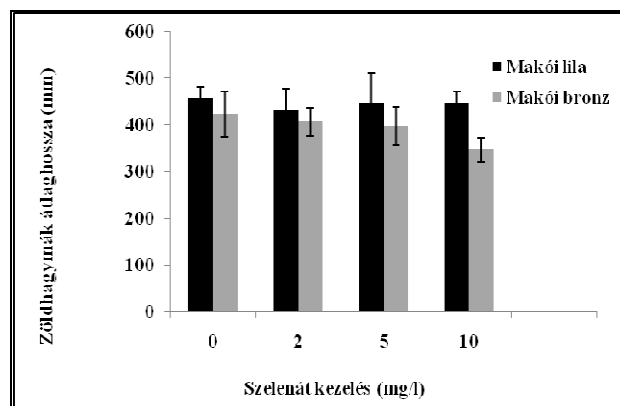
A növényi részek teljes szelén tartalom megoszlásában látható volt, hogy a gyökérben szignifikánsan magasabb értékeket kaptam, mint a hajtásrészben (7/A-B. ábra), ellentmondva a szakirodalomban leírtakkal (Li *et al.*, 2008). Ezek az eredményeim látszólag ellentmondásban vannak a dohány szövettenyészetben kapottakkal is, ahol a hajtásrészben magasabb volt a teljes szeléntartalom a gyökérhez viszonyítva. A két kísérlet között azonban lényeges különbség volt: dohány esetében ugyanis a levágott mikrohajtásokat oltottam át regeneráló táptalajra. A vágási felszínen lévő sérült sejteken át passzív diffúzióval hirtelen nagy mennyiségű szelénát képes volt bejutni, s mire a gyökérképződés beindult (több mint egy hét) addigra a hajtásban már felhalmozódott szelén. Ezzel szemben a magról vetett csíranövényekbe csak a fejlődő gyökéren át juthatott be szelénát ion.

3.3. Nátrium-szelenát összehasonlító biológiai vizsgálata Makói bronz és Makói lila zöldhagyma fajtákban

A kísérlet során azt tapasztaltam, hogy hidrokultúrás körülmények között hajtatott Makói lila fajta zöldhagymák fejlődését az alkalmazott nátrium-szelenát koncentrációk (0 – 10 mg/l) szignifikáns mértékben nem befolyásolták (8/A-B. ábra). Makói bronz fajtánál 10 mg/l szignifikáns mértékű csökkenést idézett elő a hossznövekedésben. A kapott eredmények tükrözték a vizuális tapasztalataimat is, mivel a kezelt zöldhagymák alacsonyabbak, de vastkosabbak voltak a kontrolhoz viszonyítva (8/B. ábra).

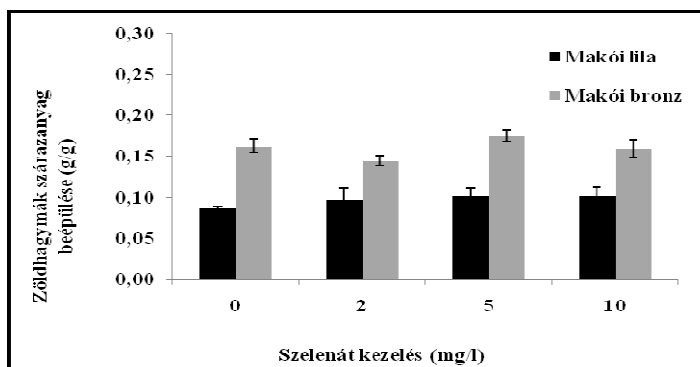


8/A. ábra: Zöldhagymák egyedi átlag tömege szelenát kezelés függvényében ($p < 0,05$)
($\pm$ SE)



8/B. ábra: Zöldhagymák egyedi átlag hossza szelenát kezelés függvényében ($p < 0,05$)
($\pm$ SE)

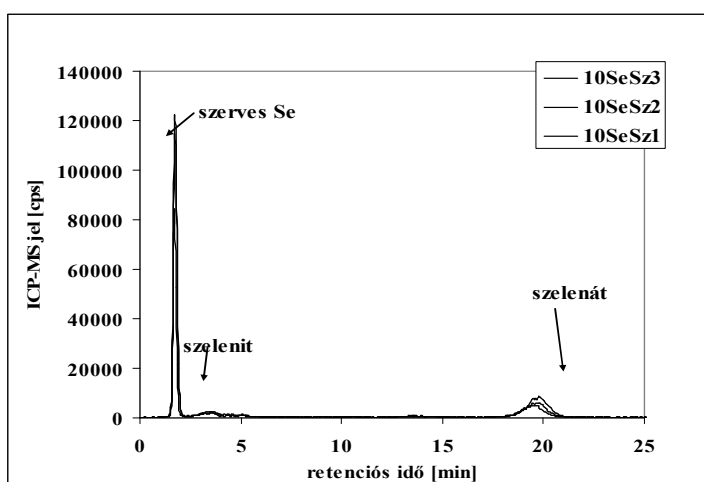
A nátrium-szelenát, nem befolyásolta szignifikánsan a szárazanyag beépülést, sokkal inkább a fajtahatás érvényesült (9. ábra). Makói bronz fajta esetében szignifikánsan magasabb a szárazanyag értékeket mértem (0,145 - 0,175 g/g), mint a Makói lila fajtánál (0,087 – 0,101 g/g).



9. ábra: Zöldhagyma szárazanyagtartalom szelenát kezelés függvényében ($p < 0,05$)
($\pm$ SE)

A zöldhagymák összes szeléntartalma az alkalmazott szelenát koncentrációk növekedésével arányosan szignifikáns mértékben emelkedett. A két hagyma fajtát egymással összehasonlítva nem találtam jelentős eltéréseket szelénfelhalmozó képességük között.

Módosulatanalitikai vizsgálatok során anioncserélő oszlopon a szerves szelénformákat lehetett elválasztani egymástól nagy biztonsággal: a szelenit (SeIV) 5 perc, míg a szelenát (SeVI) 20 perc retenciós időnél volt detektálható (10. ábra). A hozzáférhető standardok alapján szerves szelénformák közül a szeleno-metionin és szeleno-cisztin jelenléte volt azonosítható. Az alkalmazott oszlopon e két vegyület teljesen megegyező retenciós idővel (3 perc) volt detektálható (10. ábra). Így a továbbiakban csak szerves formaként látható.

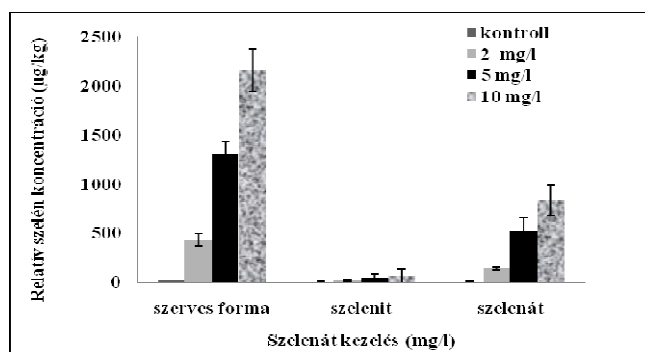


10. ábra: Szelénformák elválasztásának kromatogramja Makói lila hagyma mintából 3 ismétlésben

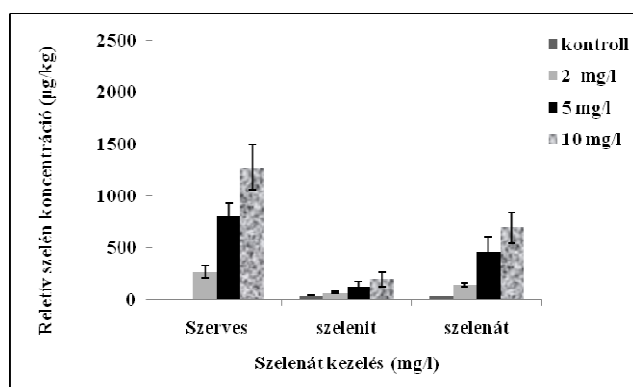
A zöldhagymák összes szeléntartalmát és az egyes módosulatok koncentrációját összevetve sokkal nagyobb értékeket kaptam az összes tartalomra vonatkozóan, mint az egyes módosulatok értékeit összeadva. A hiányzó mennyiség részben azzal magyarázható, hogy csak három módosulat volt elválasztható egymástól a standardok miatt. A magyarázat másik, lényegesebb része abból származhatott, hogy a szelénmódosulatok meghatározásához a zöldhagymák feltárása nem volt teljes. Minta előkészítéshez a friss növények kiperéselt levét használtam, az összes szeléntartalom azonban a teljes zöldhagymák liofilizált, porított mintáiból lett meghatározva.

Az elválasztott szelén formák relatív koncentrációit összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy Makói bronz fajta a felvett szelenátot nagyobb mértékben építette be szerves formákba, mint a Makói lila zöldhagymák a vízzeloldható frakciót figyelembe véve. A kezelések dózisainak emelkedésével arányosan mindkét fajtában a szerves szelénformák mennyisége nőtt meg nagyobb mértékben (11/A-B. ábra). A fajtákat egymással összehasonlítva azt találtam, hogy a

Makói bronz zöldhagymában a szerves szelén beépülése kb. 1,5-szerese Makói lila zöldhagymákéénak (11/A-B ábra).



11/A. ábra: Szelén formák és relatív koncentrációjuk nátrium-szelenát kezelés hatására Makói bronz fajtába ($p < 0,05$) (+/-SE)

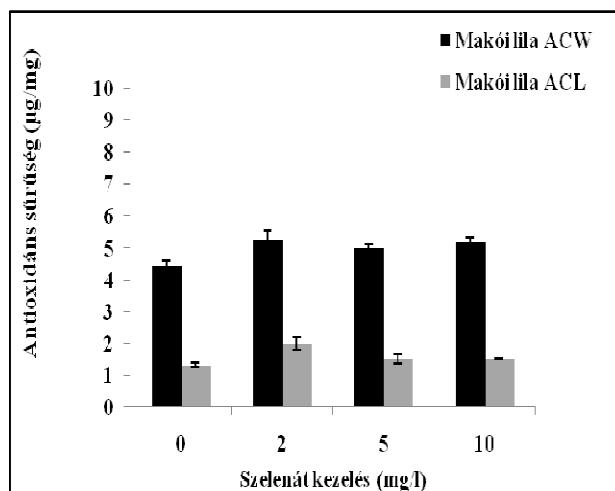


11/B. ábra: Szelén formák és relatív koncentrációjuk nátrium-szelenát kezelés hatására Makói lila fajtában ($p < 0,05$) (+/-SE)

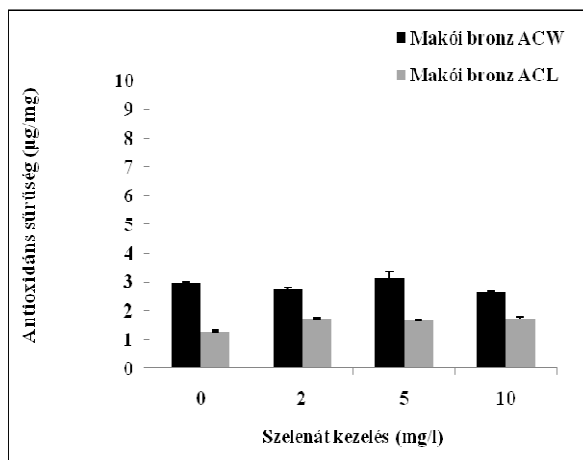
A felvett szervetlen szelenát szerves formába épülése emberi fogyasztás szempontjából előnyös. A szelenoaminosav származékokat ugyanis szervezetünk könnyebben hasznosítja és a daganatos elváltozások megakadályozásában is ezek bizonyultak hatékonyabbnak a szervetlen formákhoz képest (*Spallholz et al., 2001*). Saját kísérleteimben a vizsgált módosulatok közül szelenit fordult elő legkisebb mennyiségben mindkét zöldhagyma esetében. Különösen Makói bronz fajtában voltak alacsony értékek, s a kezelés dózisainak emelésével sem tapasztaltam szignifikáns növekedést a mintákban. A szelenit köztes intermedier a szelenát $\rightarrow$ szelenoaminosav átalakulásban. Az eredmények arra utalnak, hogy gyorsan végbemegy ez a beépülési folyamat, mivel a szerves formák koncentrációja szignifikánsan nőtt, a szelenité azonban nem.

Teljes antioxidáns sűrűség vizsgálata során Photochem mérőműszer segítségével lehetővé vált a zsírolékony ill. a vízóldékony antioxidáns tulajdonsággal bíró vegyületek aktivitásának különmérése.

A növények antioxidáns sűrűsége fajfüggő paraméter. Nagy eltérések lehetnek azonban az egyes növényfajokon belül a fajták között is, ahogy kísérleteimben tapasztaltam. A Makói lila fajta vízdoldható antioxidáns sűrűsége lényegesen magasabb volt, mint a Makói bronz fajtáé. Makói lila ACW értékei 4,4 – 5,2 $\mu\text{g}/\text{mg}$ között mozogtak, míg a Makói bronz fajta esetében 2,66 – 3,15 $\mu\text{g}/\text{mg}$ volt realizálható (12/A- B ábra).



12/A. ábra: Makói lila zöldhagyma antioxidáns sűrűsége szelenát kezelések függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)

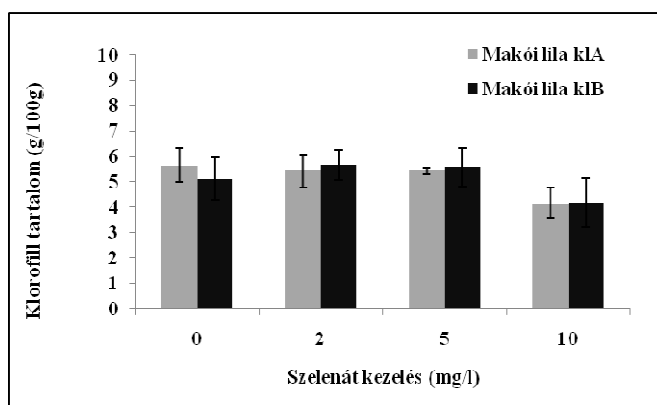


12/B. ábra: Makói bronz zöldhagyma antioxidáns sűrűsége szelenát kezelések függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)

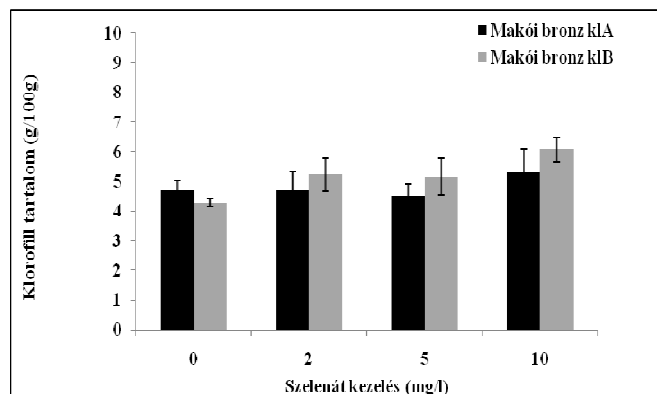
Ennek oka valószínűleg a Makói lila színét biztosító, magas antocianin tartalomban kereshető, ugyanis e vegyületcsoport egyúttal magas antioxidáns aktivitással is bír, s a Makói bronz fajtából hiányzik. Emellett a lilahagymákban szintén anitoxidáns tulajdonságokkal bíró flavonoidok mennyisége is lényegesen magasabb, mint a vöröshagymában (Lugasi *et al.*, 2003).

A zsírban oldódó antioxidánsok mennyiségében nem volt szignifikáns eltérés a két fajtát összehasonlítva. Makói lila ACW ill. ACL tartalmát az alkalmazott szelenát kezelések statisztikailag igazolható módon nem befolyásolták (12/A-B. ábra). Ezzel szemben Makói bronz zöldhagymában 10 mg/l szelenát koncentrációnál szignifikánsan kisebb ACW érték volt mérhető a kontrollhoz viszonyítva. Ugyanakkor az ACL értékek szignifikánsan megemelkedtek 5-10 mg/l koncentrációknál Makói bronz fajtánál.

Szelenát kezelés hatására a klorofill A és B tartalom változásában jelentős eltérések voltak a két hagymafajta között (13/A- B. ábra).



13/A. ábra: Makói lila klorofill A és B tartalma szelenát kezelések függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)



13/B. ábra: Makói bronz klorofill A és B tartalma szelenát kezelések függvényében ($p < 0,05$) (+/-SE)

Makói lila fajta klorofill A szintézisét az alacsonyabb (2 - 5 mg/l) szelenát koncentráció nem befolyásolta, ám a 10 mg/l-nél szignifikáns csökkenést realizáltam (13/A. ábra). Hasonló tendenciát követett a klorofill B tartalom is, de ott szignifikáns eltérés nem volt kimutatható (13/A. ábra). Makói bronz esetében a klorofill A és B tartalom a szelenát kezelések hatására emelkedett, bár statisztikailag igazolható különbséget csak 10 mg/l koncentrációnál kaptam klorofill B estében (13/B. ábra).

Glutation- peroxidáz, mint antioxidáns enzim nagy jelentőségű, ha a növényt stressz éri, ezért az aktivitás változásából következtetni lehet a megváltozott állapotra. A glutation-peroxidáz aktivitás mérése során Makói lila fajtában nem volt szignifikáns eltérés sem a kontrollhoz viszonyítva, sem az egyes kezelések között. Ezzel szemben Makói bronz fajta GSH-px aktivitását az alkalmazott szelenát koncentrációk szignifikánsan csökkentették.

A glutation-peroxidáz eredményeket összevetve az összes antioxidáns sűrűséggel és a tömegeeredményekkel látható, hogy a Makói lila hagyma fajta jobban tolerálja a szelenátot, mint a Makói bronz. Makói lila fajtában az alkalmazott koncentrációk nem okoztak szignifikáns eltéréseket a tömeg ill. hosszúság tekintetében, ezzel együtt biokémiai szinten sem volt stressz hatás kimutatható. Csak a klorofill A esetében tapasztaltam csökkenést 10 mg/l-nél. Ellenben Makói bronz hossz növekedésében tapasztalt csökkenés stressz hatásra utaló jel volt, amit igazoltak a glutation-peroxidáz, ACW és ACL sűrűségben mutatott változások is.

4. Új és újszerű eredmények

4.1. A vörös elemi nanoszelén biológiai hatását elsőként vizsgáltam magasabbrendű növényekben.

- A kísérlet során megállapítottam, hogy a nátrium-szelenáttól eltérően a vörös elemi nanoszelén partikulumok nagyobb koncentrációban (50 - 100 mg/l) *in vitro* szövettényészetbe bejutva organogenezist serkentő hatásúak és gátolják a vitrifikáció kialakulását, dohány modellen.
- Biokémiai vizsgálatokkal (klorofill A és B tartalom, nikotinsav, nikotinamid, trigonellin koncentrációváltozás) igazoltam, hogy a nanoSe is stresszindukáló hatású, hasonlóan a szelenáthoz, de enyhébb védekező reakciókat vált ki, ami morfológiai szinten organogenezis (kalluszon át történő hajtásképződés és gyökeresedés) stimuláló hatásban manifesztálódik.

4.2. *In vitro* nevelt zöldségcsírák vizsgálata megerősítette a szakirodalmi leírásokat, miszerint a szelénakkumuláló növények mellett a nem-szelénakkumuláló fajok (úgy mint paprika) is alkalmasak szelénfelvételre, csak a toxikus tünetek alacsonyabb szelenát koncentrációnál jelentkeznek, mint a szelénakkumuláló fajoknál.

4.3. Zöldhagyma fajtákkal végzett összehasonlító kísérlet során szeléndúsításra alkalmas zárt, fortifikációs rendszert dolgoztam ki üvegházi körülmények között.

- Makói bronz és Makói lila fajtákat összehasonlítva kiderült, hogy szeléntoleranciát tekintve nemcsak az egyes fajok között, de azon belül, a fajták között is lényeges

eltérések lehetnek. Makói bronz érzékenyebbnek bizonyult a szelenáttal szemben, mint a Makói lila. Ez nyomon követhető volt morfológiai szinten a növekedés gátlásában (10 mg/l-nél), míg biokémiai szinten a klorofill tartalom, glutation-peroxidáz aktivitás, és teljes antioxidáns sűrűség változásában egyaránt.

- Módosulat analitikai vizsgálatokban is eltérés mutatkozott a két fajta között. Makói bronz esetében nagyobb arányban alakult át a szelenát szerves formákba, mint Makói lila esetében. Ráadásul Makói bronz zöldhagymában megjelent két ismeretlen szelénforma, amely a Makói lilában egyáltalán nem, így azok fajta jelleget képviseltek.

5. Eredmények gyakorlati hasznosíthatósága

5.1. A nanoSe organogenezist serkentő ill. vitrifikálódás gátló hatásait figyelembe véve előnyös lehet szövettenyésztők számára, hiszen a növényi szövettenyészetek vitrifikálódása, vizenyősödése sok esetben visszafordíthatatlan folyamat és komoly veszteséget jelent. Ugyanakkor gyökérképződés stimuláló hatása révén, a táptalaj nanoSe-nel történő kiegészítése előnyös lehet a szövettenyészetben nehezen gyökeresedő növényfajok gyökeresedésének serkentésére is.

5.2. Biokémiai vizsgálatok eredményeit figyelembe véve látható, hogy nanoSe és szelenát hatására is megemelkedett a nikotinsav illetve nikotinamid mennyisége dohány kalluszosokban és regenerált növényekben egyaránt. E vegyületek mellett, hogy intermedierek a NAD salvage ciklusban, B3 vitaminként (niacin) is ismertek a szakirodalomban. Így felvetődik a lehetőség, hogy a nanoSe vagy szelenát alkalmazása zöldségtermesztésben egyben B3 vitamin tartalom megnövekedését is jelentené.

5.3. Zöldségcsírákkal végzett vizsgálatok alapján úgy tűnik 2 mg/l optimális koncentráció szelenát formából funkcionális zöldségcsíra előállításra szelénakkumuláló és nem-akkumuláló fajok esetében egyaránt, mivel elegendő szelén épül be a növényekbe anélkül, hogy azok fejlődését negatívan befolyásolná.

5.4. A zárt, fortifikációs rendszerben előállított szelénnel dúsított zöldhagyma alkalmas lehet friss fogyasztásra, különösen kora tavaszi időszakban, amikor a hajtattott zöldhagymának egyébként is szezonja van.

5.5. Emellett a szerves szelénben gazdag zöldhagymából feldolgozott funkcionális termék is előállítható szezontól függetlenül. Kísérletes munkám eredményeit hasznosítva 10 mg/l szelenáttal kezelt zöldhagymákat összegyűjtöttem, liofilizáltam porítottam. A porított mintákat Dr. Aliment Kft kapszulázta. Az eljárásból készült SelenAl nevű terméket, mint

„Szerves szelént tartalmazó, hagymából készített étrendkiegészítő kapszulát” az OÉTI engedélyezett. Notifikációs száma: 1859/2007.

6. Publikációk az értekezés témakörében

1. Berglund, T., Kalbin, G., Strid, A., Rydtröm, J., Ohlsson, A.B.: 1996. UV-B and oxidative stress-induced increase in nicotinamide and trigonelline and inhibition of defensive metabolism induction by poly(ADP-ribose)polymerase inhibitor in plant tissue. *FEBS Letters* 380: 188-193
2. Cabanero, A.I., Madrid, Y., Camara, C.: 2004. Selenium and mercury bioaccessibility in fish samples: an in vitro digestion method *Analytica Chimica Acta* 526: 51-61
3. Chiu, D.T.Y., Stults, F.H., Tappel, A.L.: 1976. Purification and properties of rat lung soluble glutathione peroxidase. *Biochem. Biophys. Acta* 445: 558-566
4. Dhillon, K.S. - Dhillon, S.K.: 2009. Accumulation and distribution of selenium in some vegetable crops grown in selenate-Se treated clay loam soil. *Front. Agric. China*. 3: 366 - 373
5. Hendry, G.A.F. - Price, A.H.: 1993. Stress Indicators: Chlorophylls and carotenoids. In: *Methods in Comparative Plant Ecology*, Hendry, G.A.F. and Grime, J.P. (Eds.). Chapman and Hall, UK., 148-152
6. Li, H.F., McGrath, S.P., Zhao, F.J.: 2008. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite *New Phytol.* 178: 92-102
7. Lugasi, A., Hóvári, J., Sági, K.V., Bíró, L.: 2003. The role of antioxidant phytonutrients of diseases *Acta Biol. Szegediens.* 47: 119-125
8. Mounicou, S., Vonderheide, A.P., Shann, J.R., Caruso, J.A.: 2006. Comparing a selenium accumulator plant (*Brassica juncea*) to a nonaccumulator plant (*Helianthus annuus*) to investigate selenium-containing proteins *Anal. Bioanal. Chem.* 386: 1367-1378
9. Popov, I., - Lewin, G.: 1999. Characterisation by means of chemiluminescent technique. In: *Methods in enzymology* vol. 300, Oxidants and antioxidants Part B ed. Lester Packer, Academic press 437-456

10. Spallholz, J.E., Shirver, B.J., Reid, T.W.: 2001. Dimethyldiselenide and methylseleninic acid generate superoxide in an in vitro chemiluminescence assay in the presence of glutathione: implications for the anticarcinogenic activity of L-selenomethionine and L-Se-methylselenocysteine. *Nutr. Cancer* 40: 34-41
11. Van Hoewyk, D., Takahashi, H., Inoue, E., Hess, A., Tamaoki, M., Pilon-Smits, E.A.H.: 2008. Transcriptome analyses give insights into selenium-stress responses and selenium tolerance mechanisms in *Arabidopsis* *Physiologia Plantarum* 132: 236-253
12. White, P.J., Bowen, H.C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W.P., Spiby, R.E., Meacham, M.C., Mead, A., Harriman, M., Trueman, L.J., Smith, B.M., Thomas, B., Broadley, M.R.: 2004. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana* *J.Exp.Bot.* 55: 1927-1937

7. Publikációk az értekezés témakörében

Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált nemzetközi folyóiratban:

- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Veres Zsuzsanna - Kovács Béla - Prokisch József - Holb Imre - Fári Miklós (2006): Impact of sodium-selenate on the growth of radish seedlings *in vitro*. *Acta Horticulturae*. ISSN: 0567-7572 725. 181-185.
- Mészáros Annamária - Kálai Krisztián - Halász Katalin - **Domokos-Szabolcsy Éva** - Fári Miklós (2006): An efficient micropropagation system: 3R Bioreactor. *Acta Horticulturae*. ISSN: 0567-7572 725. 621-624.

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Holb Imre - Prokisch József - Kovács Béla - Veres Zsuzsanna - Fári Miklós (2005): Impact of sodium-selenate on the growth of radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings *in vitro*. *International Journal of Horticultural Science* ISSN: 1585-0404. 11.2. 113-117.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** – Prokisch József – Sztrik Attila – Barnócki Attila – Fári Miklós (2011): Variation in selenium tolerance among two cultivars in closed fortification system. *International Journal of Horticultural Science* in press

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:

- **Domokos-Szabolcsy Éva** (2005): Zöldségcsírák jelentősége, biológiai értéke Hajtatás, korai termesztés 36.3. 13-15.

- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Veres Zsuzsanna - Holb Imre - Kovács Béla - Fári Miklós (2005): Nátrium-szelenát hatása retek és paprika *in vitro* fejlődésére szövettenyészetekben Acta Agraria Debreceniensis Agrártudományi Közlemények ISSN: 1587-1282. 16. 149-155.

Tudományos közlemény magyar nyelvű nem lektorált folyóiratban:

- **Domokos-Szabolcsy Éva** (2005): Csírázó csírákészítés Mezőgazdasági Tanácsok. ISSN: 1216-1314. 14. 20.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** (2007): Megnövelt makro- és mikroelem-tartalmú zöldségnövények jelentősége. Agroinform. ISSN: 1786 6219 16. 8. 18-19.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** (2008): A funkcionális élelmiszer fogalma és előállításának gyakorlata Agrofórum. ISSN: 1788-5884 19. 8. 72-73.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** (2011): A zöldségnövények fortifikálásának (elemdúsításának) lehetőségei Agrofórum 22. 6. 66-68.

Idegennyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Prokisch József - Kovács Béla - Marosi Sándor - Holb Imre - Fári Miklós (2006): Enhancing the selenium content of green onion made from bulb hydroponic culture International Symposium on Trace Elements in the Food Chain Budapest, ISBN: 963 7067 132. 51-56.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Miskei Márton - Remenyik Judit - Prokisch József - Fári Miklós (2009): Effect of nanoselenium in *in vitro* plant tissue culture 3. Trace elements in the food chain Congress Budapest, ISBN: 978 963 7067-198. 447-451.

Idegennyelvű nem lektorált konferencia kiadvány:

- Prokisch József - Széles Éva - Kovács Béla - Hovánszki Dóra - **Domokos-Szabolcsy Éva** - Fári Miklós (2005): Selenium speciation and its application in the production of functional foods International Scientific Conference of the Innovation and Utility in the Visegrád fours, Nyíregyháza, ISBN: 963 86918 24. 473-476.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Veres Zsuzsanna - Kovács Béla - Prokisch József - Holb Imre - Fári Miklós (2005): Effect of selenium on the *in vitro* growth and development of vegetables. Sustainable Agriculture Across Borders in Europe. Debrecen, ISBN: 963 9274 85 2. 136.

- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Kovács Béla - Holb Imre - Fári Miklós (2005): Effect of sodium-selenate on the *in vitro* growth and development of selenium accumulator and non accumulator species Recent Advances in Plant Biotechnology from Laboratory to Business. Ceske Budejovice, 36.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Kovács Béla - Prokisch József - Remenyik Judit - Holb Imre - Fári Miklós (2006): Effect of Selenium Supplementation on the *in vitro* Seedling Germination. 11th IAPTC&B Congress. Beijing, China, 58.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Remenyik Judit - Prokisch József - Hüse Csaba - Sztrik Attila - Babka Beáta - Miskei Márton - Fári Miklós (2010): Impact of red elemental nano-selenium on biosynthesis of nicotinic acid of tobacco *in vitro* tissue cultures 28th IHC Congress. Lisboa, Portugal, 280.

Magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány:

- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Holb Imre - Prokisch József - Kovács Béla - Veres Zsuzsanna - Marosi Sándor - Fári Miklós (2005): Szerves szelénszint növelésének lehetőségei kertészeti növényekben: nátrium-szelenát hatása retekcsírák *in vitro* fejlődésére IV. Kárpát-medencei Biológiai Szimpózium ISBN: 963 219 3334. 255-257.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Kovács Béla - Veres Zsuzsanna - Dudás László - Koroknai Judit - Zsila-André Anikó - Holb Imre - Fári Miklós (2004): Kísérletek zöldségnövények szelenizálására VI. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged, 275-276.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Kovács Béla - Veres Zsuzsanna - Dudás László - Szarvas Pál - Koroknai Judit - Zsiláné André Anikó - Holb Imre - Fári Miklós Gábor (2004): Nátrium-szelenát hatása zöldségnövények *in vitro* csírázására foto-autotróf tenyészetekben „Szelén az élettelen és élő természetben” Kerekasztal konferencia Gödöllő, 10.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Kovács Béla - Fári Miklós (2005): Szelénnel kiegészített zöldségcsírák növekedésének és fejlődésének vizsgálata foto-autotróf tenyészetekben Tavasz szél konferencia, Debrecen, ISBN: 963 218 368 1. 441.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Kovács Béla - Veres Zsuzsanna - Holb Imre - Fári Miklós (2005): Zöldségcsírák dúsítása szelénnel *in vitro* körülmények között Botanikai közlemények 92(1-2). 211-212.

- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Prokisch József - Kovács Béla - Veres Zsuzsanna - Marosi Sándor - Holb Imre - Fári Miklós (2005): Szelén hatása a növények *in vitro* tenyészteteire Termékpálya, Élelmiszer- és Környezetbiztonság az Agráriumban Gödöllő, 29.
- **Domokos-Szabolcsy Éva** - Miskei Márton - Fári Miklós - Sztrik Attila - Babka Beáta - Prokisch József (2010): Vörös nanoszelén és nátrium-szelenát összehasonlító vizsgálata dohány *in vitro* szövettenyészetben XVI. Növénynevelési Tudományos napok, 66

INNOVÁCIÓS EREDMÉNYEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Termék fejlesztés:

- Szerves szelénben gazdag hajtatott zöldhagyma
- SelenAl, „Szerves szelént tartalmazó, hagymából készített étrendkiegészítő kapszula” OÉTI által engedélyezett. Notifikációs száma: 1859/2007

Szabadalom:

- Dr. Prokisch József, Dr. Fári Miklós, Dr. Győri Zoltán, **Domokos-Szabolcsy Éva**, Veres Zsuzsanna, Dr. Kovács Béla: Magas biológiai értékű gyümölcsök és eljárás előállításukra P0501073 Magyar Szabadalmi Hivatal, 2005 Szabadalom