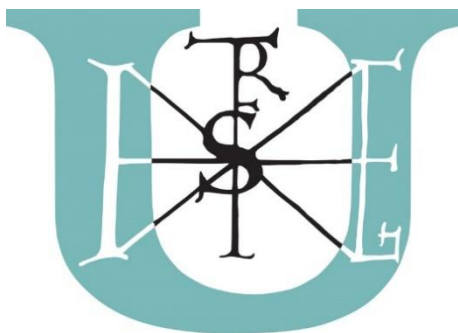


Doktori értekezés tézisei

Both Eszter Borbála

Budapest

2020



Szent István Egyetem

***CARDAMINE VIOLIFOLIA* SZELÉNAKKUMULÁLÓ NÖVÉNY
SZÉLESKÖRŰ SZELÉNSPECIÁCIÓS VIZSGÁLATA**

Doktori értekezés tézisei

BOTH ESZTER BORBÁLA

Budapest

2020

A doktori iskola

Megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: **Simonné Dr. Sarkadi Livia, DSc**

Egyetemi tanár

SZIE, Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszermínőségi, -biztonsági és Táplálkozástudományi Intézet

Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: **Dr. Dernovics Mihály, habil. PhD**

Tudományos főmunkatárs

Agrártudományi Kutatóközpont

Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

Növényélettani Osztály

Jókainé Dr. Szatura Zsuzsanna, PhD

Egyetemi docens

SZIE, Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszermínőségi, -biztonsági és Táplálkozástudományi Intézet

Alkalmazott Kémia Tanszék

.....

.....

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

A témavezetők jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

A nyomelemek fontos szerepet töltenek be a biológiai rendszerek működésében, többek között enzimek aktív centrumában vagy bioaktív vegyületek szerkezeti elemeként. Az esszenciális és hasznos elemeken túl ismertek akut (pl. Hg) vagy krónikus (pl. Pb) mérgezést okozó fémek is. Számos elem azonban nem sorolható be egyértelműen – köszönhetően kettős viselkedésének –, mely alapján lehetnek esszenciálisak egy adott oxidációs állapotban, míg toxikusok egy másikban, vagy károsak a legtöbb formájukban, azonban esszenciálisak vagy ártalmatlanok egy bizonyos szerves formában. A minőségi jellemzőkön túl az adott elemek mennyisége is meghatározza a biológiai rendszerekre gyakorolt hatásukat.

Az esszenciális nyomelemek között a szelén rendelkezik az egyik legszűkebb optimális tartománnyal a napi beviteli értéket tekintve, ebből fakadóan mind a szelénhiány, mint a szelénmérgezés világszerte előforduló probléma. A szelenocisztein, a 21. természetes aminosav számos antioxidáns enzimbe épül be, így fontos szerepet játszik a sejtek oxidatív stresszel szembeni védelmében. A szelénhiány embereknél többek között izom és ízületi gyengeséget, gyulladást, pajzsmirigy alulműködést, szívizom rendellenességet, az immunrendszer gyengeségét, Keshan és Kashin-Beck betegséget okozhat, míg a szelénmérgezés tünetei a máj és vese károsodása, szív és máj nekrozis, a haj és köröm elvesztése. Az európai lakosság szelénellátottsága általában az optimális érték alatt van; az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) által 2014-ben meghatározott ajánlott napi beviteli érték 70 µg/nap felnőttek, 85 µg/nap csecsemőt szoptató anyák számára, mely szelénben gazdag/dúsított élelmiszerek vagy táplálékkiegészítők formájában biztosítható.

Egyre nagyobb figyelem irányul arra, hogy nemcsak az étrenddel bevitt összes szelénmennyiség fontos az egészség szempontjából, hanem az elfogyasztott szelén kémiai formája is lényeges lehet, köszönhetően annak a ténynek, hogy a különböző szelénformák biológiai hozzáférhetősége eltérhet, ami együtt járhat az egészségre gyakorolt előnyös vagy hátrányos hatásokkal. Ahhoz, hogy helyes következtetéseket lehessen levonni a különböző szelénformák szerepéről, az első lépés a megfelelő szelénspeciációs vizsgálatok végrehajtása a táplálékláncban, különös tekintettel a növényekre, mint az emberi étrend fő szelénforrásaira.

Ellentétben az állatokkal és az emberrel, jelenlegi ismereteink szerint a szelén nem esszenciális a magasabb rendű növények számára, sőt többségükre toxikus. Szelénben dús talajon élő növények egy speciális csoportjában különböző anyagcsere útvonalak fejlődtek ki, amelyek által megbirkóznak a szelén toxicitásával és nemcsak a szelén tolerálásához adaptálódtak, hanem nagy koncentrációban képesek felhalmozni a szelént szöveteikben.

Szelénhiány és -mérgezés problémája egymás mellett van jelen Kínában, „köszönhetően” a talajok jelentősen eltérő szeléntartalmának. Szelénben dúsított élelmiszerek szabályozott termesztése és előállítása a szelénben gazdag régiókban hozzájárulhat a szelénhiányos területeken élő emberek egészségügyi problémáinak megoldásához.

A *Cardamine violifolia* szelén-hiperakkumuláló növényfaj természetes élőhelye Kína szelénben gazdag Yutangba régiója ahol fitoremediációs célból is termesztik. Talajjavításra és táplálékkiegészítő gyártásra használják, ugyanakkor a szelénfelhalmozódásért felelős szelénvegyületek és metabolikus útvonalak még nem kerültek feltárára. PhD munkám során célul tűztem ki a növény szelénvegyületeinek minőségi azonosítását és mennyiségi meghatározását, valamint a szelénnel kapcsolatos fiziológiai tulajdonságainak vizsgálatát. A kísérletek két fő vonal mentén értékelhetők:

Cardamine violifolia szelénmetabolitjainak vizsgálata:

- Szeléntartalmú frakciók ICP-MS-sel követett ortogonális kromatográfias tisztítása;
- Szelénkomponensek detektálása HPLC-ESI-QTOF-MS műszeregyüttessel a frakciókban;
- Szelénvegyületek feltételes azonosítása pontos tömeg, kromatográfias viselkedés és MS/MS fragmentáció alapján;
- Fő szelénvegyület azonosítása kémiai szintézissel;
- Fő szelénvegyület mennyiségi meghatározása izotóphígításos LC-ICP-MS analízis révén.

A szelén fiziológiai hatásainak vizsgálata a C. pratensis nem Se-akkumuláló (kontroll) fajjal összehasonlítva:

- Szelén tolerancia és akkumuláció;
- Szelenát és szelenit felvétel;
- Szelenát / szulfát ill. szelenit / foszfát interakció hatása a szelén és kén felvételre;
- Szelén hatása klorofill fluoreszcencia paraméterekre és antioxidáns kapacitásra;
- Szelén térbeli eloszlása és speciációs vizsgálata intakt növényi szövetben röntgenfluoreszcencia és -abszorbancia módszerrel.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A *Cardamine violifolia* növényt a Wuhan Botanikus Kert (Kínai Tudományos Akadémia, Wuhan) azonosította és regisztrálta. A növényi szövetek és magok 2016 és 2017 tavaszán kerültek begyűjtésre a természetesen szelénben gazdag Yutangba régióban, Enshiben (Hubei tartomány) és az Enshi Tujia és Miao Autonóm Prefektúra Mezőgazdasági Akadémiája bocsátotta rendelkezésemre. A növényi szöveteket desztillált vízzel mosták, liofilizálták és őrölték. A *Cardamine pratensis* kontroll faj magjait kereskedelmi forgalomból szereztem be.

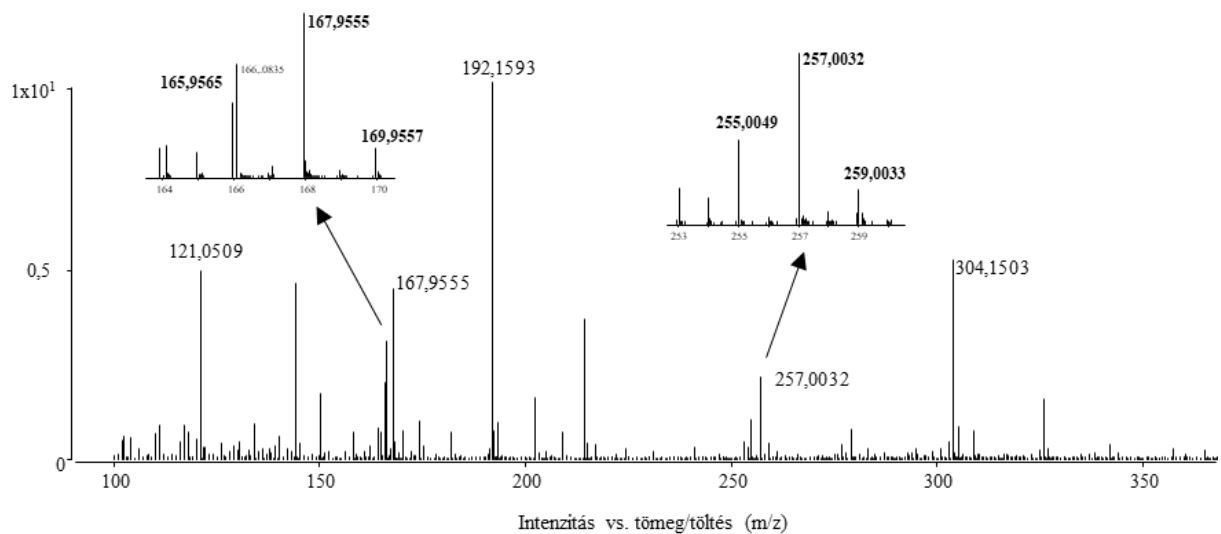
A *C. violifolia* mintából a szelénmegoszlás vizsgálatához különböző mintaelőkészítési módszereket alkalmaztam: savas roncsolás, enzimes extrakció, egymást követő extrakciók: vízzel, nátrium-szulfittal, valamint szén-diszulfiddal végzett extrakciók.

A szelénvegyületek jelenlétét első lépésként erős anion-, kationcserés, fordított fázisú ionpárképző kromatográfia ICP-MS-sel történő kapcsolásával vizsgáltam. Ortogonális kromatográfias tisztítás tette lehetővé a szelénvegyületek mátrixkomponensektől való megtisztítását és töményítését a nagyfelbontású ESI-MS vizsgálatához. A szelénvegyületet tartalmazó frakciók RP-HPLC kromatográfián keresztül kerültek Unispray/ESI-QTOF-MS vizsgálatra. A szelénkomponensek fellelése a nagyfelbontású tömegspektrumban a több módszer párhuzamos alkalmazásával volt lehetséges: (i) adatbázis alapú keresés, (ii) karakterisztikus ionforrás fragmensek extrahálása, (iii) manuális izotóp mintázat fellelés, (iv) tömegdefektus alapú szűrés. A fő szelénvegyület azonosításának alátámasztása kémiai szintézis végrehajtásával történt, mennyiségi meghatározását nem-módosulat specifikus izotóphígítási módszer tette lehetővé.

A *C. violifolia* szelénakkumuláló fajt és a kontroll faj *C. pratensis* különböző szelenát koncentrációjú agar tápközegen termesztettem steril körülmények között. A kavicsos talajon termesztett növényeket szelenát, szelenit, szelenát+szulfát, ill. szelenit+foszfát tartalmú Hoagland tápoldattal öntöztem. A szelén tolerancia összehasonlításához a gyökér hosszát és a hajtás száraz tömegét vizsgáltam, összes szelén és kén akkumulációt pedig ICP-OES-sel mértem. Röntgen fluoreszcencia (XRF) és abszorbancia (XANES) spektroszkópia tette lehetővé a szeléneloszlás és szelénspeciáció vizsgálatát intakt növényi szövetekben. A növények fiziológiai állapotának nyomon követése klorofill fluoreszcencia, antioxidáns kapacitás és összes polifenol tartalom mérésével történt.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

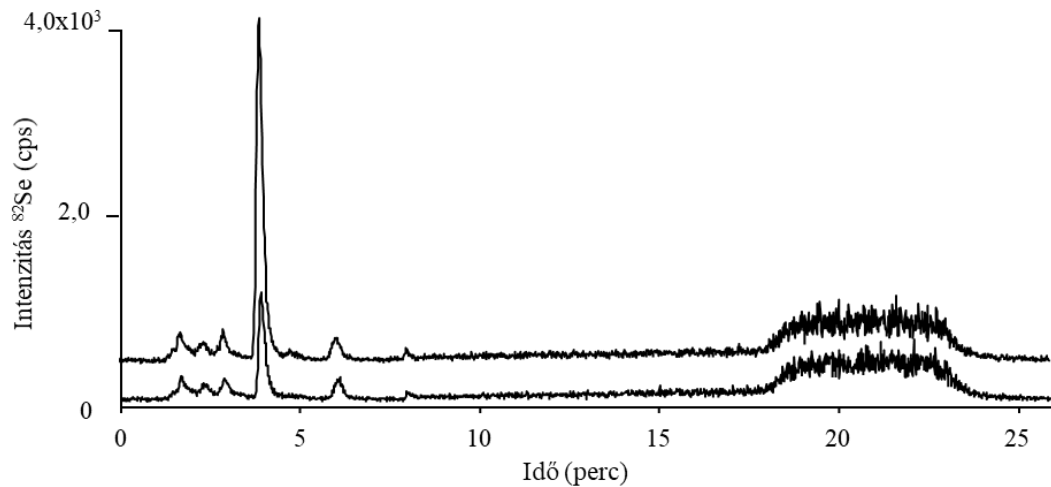
A természetes élőhelyéről származó *C. violifolia* szár- és levélminta összes szelén tartalma elérte a 3,7 g Se/kg szárazanyag értéket, ami alapján a növény egyértelműen a hiperakkumuláló fajok közé sorolható. A minta vizes kivonata az összes szelénnek ~60%-át tartalmazta, míg a szulfid extraktum (elemi szelén) és szén-diszulfid extraktum (szelenid) összesen ~18%-át tette ki. A vizes kivonatot anioncserés-ICP-MS-sel vizsgáltam, azonban szelenátot nem detektáltam kimutatási határ felett, szelenitet is csak elhanyagolható mennyiségben; a szelénkomponensek túlnyomó része a holttérfogatban eluálódott. A minta enzimes extraktuma elhanyagolható mennyiségű *Se*-(metil)szelenociszteint tartalmazott, valamint szelenometionint is csupán nyomnyi mennyiségben. A vizes kivonat legintenzívebb szelénvegyülete ortogonális kationcserés (SCX) és fordított fázisú ionpárképzős (IP-RP) kromatográfiával került tisztításra a nagyfelbontású RP-HPLC-ESI-QTOF-MS analízis előtt. A karakterisztikus szelén izotóp mintázat fellelését vizuális keresés tette lehetővé az m/z 257,0032 és a feltételezett ionforrás fragmensénél (m/z 167,9555) (1. ábra).



1. ábra: HPLC-ESI-QTOF-MS full scan spektrum (0,502 percnél rögzítve) a *C. violifolia* legintenzívebb szeléntartalmú frakciójában. A spektrum a szelenolantionin (m/z 257,00) és ionforrás fragmensének (m/z 167,95) izotopológ mintázatát mutatja. A félkövérrel jelölt tömegek a ^{78}Se , ^{80}Se és ^{82}Se izotopológokat jelölik. Az m/z 166,0835-tel érkező ion izobár zavarásból fakad a ^{78}Se izotopológ ionforrás fragmensénél.

A pontos tömeg és az egy szelén atom tartalom ismeretében a kalkulátor egy lehetséges elemi összetételt adott 5 ppm-es határon belül: $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{N}_2\text{O}_4\text{Se}^+$, elméleti m/z 257,0035 ($\Delta=1,16$ ppm), ami alapján a vegyület szelenolantioninként (SeLan) azonosítható (3.a ábra). Ez a nem fehérjeépítő aminosav korábban sosem került kétséget kizáróan azonosításra szeléntartalmú

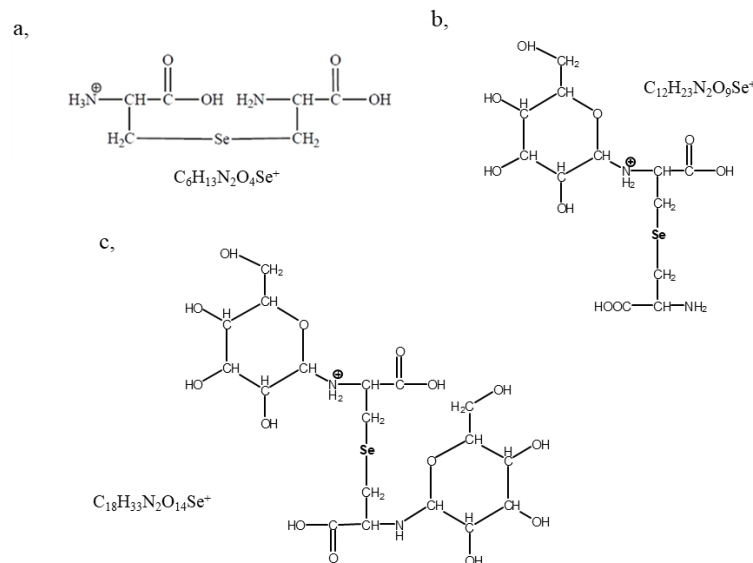
mintában. Az azonosítás a szelenolantionin kémiai szintézisével került alátámasztásra, addíciónálással pontosan egyező retenciós idő (2. ábra) és egyező nagyfelbontású ESI-MS ill. MS/MS spektrumok alapján.



2. ábra: *C. violifolia* vizes kivonatának SCX – ICP-MS kromatogramja (alsó kromatogram), valamint a vizes kivonat szintetizált szelenolantioninnal addíciónálva (felső kromatogram).

A szelenolantion mennyiségi meghatározása kereskedelmi standard hiányában nem-módsulat specifikus izotóphígítással volt meghatározható, amely alapján a SeLan az összes szeléntartalom ~30%-ért felel a vizsgált *C. violifolia* levélmintában (összes Se: 261 mg Se/kg szárazanyag).

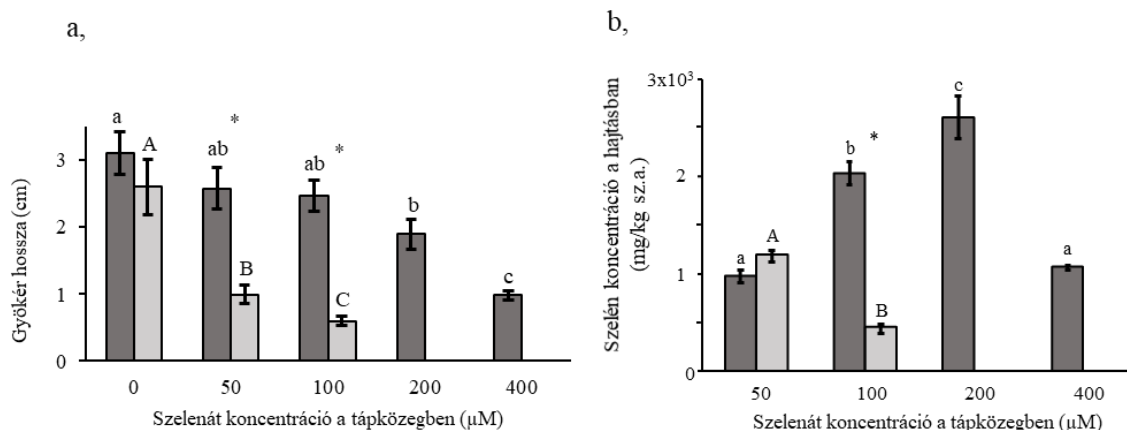
A kationcserés kromatográfia kevésbé intenzívebb szeléntartalmú frakciói is nagyfelbontású ESI-MS analízisre kerültek. A frakciókban négy, korábban már ismert, ill. 31 ismeretlen szelénkomponenst sikerült fellelni. Ezek közül 11 vegyület mutatta a karakterisztikus hexózvesztést (162 Da) MS/MS fragmentáció végrehajtása során, ami szeléntartalmú cukorvegyületekre utal. Az m/z 419,05681-nél és m/z 581,10958-nél detektált molekulák a pontos tömeg, az egy ill két hexózvesztés, a sorozatos 18 Da vízvesztések, valamint a közös m/z 257,00 és 167,95 fragmensek alapján a szelenolantionin mono- és diglikozilált származékai lehetnek (3.b, c ábra).



3. ábra: (a) szelenolantionin (b) mono-*N*-glikozilált szelenolantionin és (c) di-*N*-glikozilált szelenolantionin szerkezete.

A szeléntolerancia vizsgálata során a tápagar 50 μM szelénát tartalma szignifikánsan gátolta a kontroll faj gyökerének növekedését, 200 μM koncentráció pedig már a csírázását is megakadályozta. Ezzel szemben a *C. violifolia* gyökerének növekedésében csak a tápagar 200 μM szelénát koncentrációja eredményezett szignifikáns gátlást (4.a ábra). A legkisebb vizsgált szelénkoncentrációnál (50 μM) mindkét faj közel azonos mértékben tudta felvenni és akkumulálni a szelént a szöveiteiben, azonban a koncentráció növekedésével csak a *C. violifolia* tudta növekvő mértékben akkumulálni (4.b ábra). A szelénnek nem tapasztaltam növekedést stimuláló hatását a *C. violifolia* akkumuláló fajra, ellentétben más hiperakkumuláló fajokkal. A növekvő szelén felvétellel a *C. violifolia* növekvő kén felvételt is mutatott, míg a kontroll faj esetében ellentétes mintázat figyelhető meg, ami eltérő szelén-kén kölcsönhatásra utal a két fajnál. Összességében a *C. violifolia* faj toleránsabb és nagyobb szelénakkumulációra képes a kontroll fajhoz képest.

A különböző szervetlen szelénformák felvételének vizsgálatokor, mindkét faj nagyobb mértékben volt képes akkumulálni a szelént szelenát formából, mint szelenitből (~10-szeres mértékben), más növényekhez hasonlóan. A megnövelt szulfátion koncentráció mindkét faj esetében gátolta a szelenát felvételt, ami a szulfát transzporterek szerepére utal. A *C. violifolia* viselkedése ebben a tekintetben különbözik más hiperakkumuláló fajoktól, amelyek esetében azt tapasztalták, hogy a szelenát felvétel kevésbé gátolt a szulfátionok által. A várakozásokkal ellentétben a foszfátionok jelenléte nem gátolta a szelenit felvételt egyik esetben sem, ami arra utal, hogy ebben a folyamatban a foszfát transzporterek nem vesznek részt.



4. ábra: Különböző Na₂SeO₄ koncentrációjú agaron termesztett *C. violifolia* és *C. pratensis* (a) gyökér hossza és (b) szelén koncentrációja a hajtásokban. Az ábrázolt értékek átlag ± SEM. A különböző betűk szignifikáns különbséget jelölnek fajon belül a kezelések között ($p < 0,05$). A csillag szignifikáns különbséget jelöl a fajok között adott kezeléson belül ($p < 0,05$). Megjegyzés: a *C. pratensis* nem csírázott 200 és 400 µM szelénát koncentrációnál. A kontroll kezelés esetén a hajtás szelén koncentrációja mennyiségi meghatározási határ alatt volt.

A röntgen fluoreszcencia spektroszkópia alapú vizsgálat különbségeket mutatott a szeléneloszlásban a két faj esetében. A *C. violifolia* faj hajtásai a gyökér és csúcsmerisztában, míg a kontroll faj hajtása az érrendszerben dúsította fel a szelént. A szelénáttal kezelt érett *C. violifolia* levele a levél széleken mutatott szeléndúsítást. A szintetizált szelenolantionin röntgen abszorbancia spektruma rögzítésre került, amely nem mutatott különbséget más „C-Se-C” kötést tartalmazó standard vegyületek spektrumától. A röntgen abszorbancia alapú speciációs analízis alapján mindkét faj hajtásai, valamint a szelénáttal kezelt érett *C. violifolia* levele főleg (~85-90%) „C-Se-C” kötést tartalmazó szerves szelénvegyületeket tartalmazott, míg a szelénáttal kezelt *C. pratensis* érett levele jelentős mennyiségű szerves szelénvegyületet is (~44%). A röntgen alapú szeléneloszlás és speciáció eredményei hasonlóságot mutatnak más, korábban vizsgált szelén hiperakkumuláló és nem akkumuláló fajokkal.

Számos publikációban a *C. violifolia* fő szelénkomponensét szelenocisztinként azonosították (kizárólag SAX-ICP-MS alapon), emiatt a szelenocisztin jelenlétét vizsgáltam a mintákban SCX-ICP-MS analízissel. Standard szelenocisztinnel adalékolva a növények vizes kivonatát megállapítható, hogy a minták nem tartalmaznak számottevő mértékű szelenocisztint.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A *Cardamine violifolia* kínai gyógynövény a *Cardamine* nemzetségbe tartozik, amely egyike a legkevésbé tanulmányozott nemzetségeknek a káposztafélék családjában. A káposztafélék évtizedek óta a szelénspeciációs vizsgálatok központjában állnak, köszönhetően az intenzív kén és szelén anyagcseréjüknek, ill. élelmiszeripari jelentőségüknek. A legelterjedtebb analitikai megközelítés a Brassicaceae növények szelénspeciációs vizsgálata során az egydimenziós (leggyakrabban erős anioncserés) kromatográfiát követő ICP-MS alapú azonosítás. A publikációkban való gyakori megjelenése alapján arra a következtésre juthatunk, hogy nemcsak gyakori, hanem analitikailag jól megalapozott módszerről van szó.

A doktori munkám során bizonyítást nyert, hogy ilyen általános megközelítést nem szabad kritikai értékelés nélkül elfogadni, még ugyanabból a növény családból származó minták esetében sem. Egydimenziós anioncserés tisztítás nem tette lehetővé a közvetlen azonosítást még a kiemelkedő koncentrációjú szelénvegyület, a szelenolantionin esetében sem. Figyelembe véve, hogy röntgen abszorbancia spektroszkópia alapján nem lehet megkülönböztetni ezt a „C-Se-C” kötést tartalmazó vegyületet más jól ismert szelénvegyületektől, (pl. szelenometionin, Se-(metil)szelenocisztein), feltételezhető, hogy ennek a nem fehérjeépítő aminosavnak az azonosítása már számos növényi szelénakkumulációs kísérlet során elmaradt. Egyértelmű azonosítások hiányában nem lehet kétséget kizáró következtetéseket levonni növényi anyagcsereútvonalakkal kapcsolatban, emiatt az analitikusok felelőssége döntő fontosságú és határozottan befolyásolja az előttünk álló kutatási stratégiákat.

Következésképpen a szelénspeciációt célzó vizsgálatoknak megbízható azonosítási stratégiát kell követniük, LC-ICP-MS és LC-ESI-HR-MS műszerekhez való hozzáféréssel, szigorú – és néha alapvető – minőségbiztosítási kontrollal: a tény, hogy kromatográfiás holtterefogatban történő közvetlen azonosítás nem lehetséges semmilyen vegyület esetében sem, nem tekinthető újszerű kritériumnak. Az XRF és XANES vizsgálatok mindenképp kiegészítendőek átfogó ESI-MS alapú azonosításokkal az eredmények alátámasztása/cáfolása érdekében. Figyelemmel arra, hogy az izotóphígításos mérések kereskedelmi forgalomban elérhető vegyületstandard nélkül nyújtanak lehetőséget új vegyületek mennyiségi meghatározására, a szelénspeciációs vizsgálatok határai egyre inkább kitolódnak.

A *Cardamine violifolia* vizes kivonat fő szelénkomponensének szelenolantioninként való azonosítása – mely nem fehérjeépítő aminosav korábban sosem került azonosításra

semmilyen szeléntartalmú mintából –, további számos ismeretlen szelénvegyület detektálása (többek között számos szeléntartalmú cukorvegyület) valamint a más hiperakkumuláló fajokkal szemben mutatott fiziológiai különbségek egy egyedi, eddig fel nem tárt szelén detoxifikációs útvonal működésére hívják fel a figyelmet a *C. violifolia* növényben.

A jövőre vonatkozó célokat illetően három szempontot szükséges felsorolni. A szelénvegyületek ESI-MS spektrumban történő sikeres fellelése lassan egy évtizede kihívást jelent, amely használható bioinformatikai eszköz fejlesztésére hívja fel a figyelmet. A vegyületek végleges, minden kétséget kizáró azonosítása egyértelműen az NMR alkalmazásától függ, amely másfelől nagy hatékonyságú, nem-invazív mintaelőkészítési módszereket igényel. A növényekben az új, számottevő koncentrációjú szelénvegyületek azonosítása (pl. szelenoaminosavak, származékaik vagy szelenocukrok) felhívja a figyelmet ezen vegyületek táplálkozásélettani szempontból szükséges értékelésére is.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Szintézissel alátámasztva, nagy felbontású tömegspektrometriával azonosítottam a *Cardamine violifolia* szelénakkumuláló növény vizes kivonatában a fő szelénkomponenst, a szelenolantionint. A szelenolantionin korábban egyetlen valódi mintából sem került azonosításra.
2. A szelenolantionin mennyiségét nem módosulatspecifikus izotóphígítással, LC-ICP-MS műszeregyüttessel határoztam meg, Magyarországon elsőként alkalmazva ezt a technikát. A szelenolantionin a vizsgált levélmintában az összes szelén tartalom ~30%-át tette ki.
3. A *Cardamine violifolia* vizes kivonatában fellelt további 35 szelénvegyület közül elsőként mutattam ki feltehetően *N*-glikozilált szelenoaminosavat, a szelenolantionin mono- és diglikozilált formáját.
4. A *C. violifolia* szelénrel kapcsolatos fiziológiai tulajdonságait széleskörűen vizsgálva megállapítottam, hogy a növény egyértelmű különbségeket mutat a rokon, nem szelénakkumuláló *C. pratensis*, valamint más, hiperakkumuláló fajokkal szemben is: a *C. violifolia* magasabb szelénakkumulációt és toleranciát mutat a kontroll fajhoz képest, azonban a szelén jelenléte nem stimulálta a növekedését.
5. Elsőként rögzítettem szelenolantionin μ XANES spektrumát, mely azonos lefutást mutatott más, „C-Se-C” kötést tartalmazó vegyületekkel. A szelén térbeli eloszlását és speciációját vizsgáltam természetett *C. violifolia* és *C. pratensis* intakt szöveteiben röntgen alapú méréstechnikával. Az eredmények hasonlóságot mutattak más, korábban jellemzett szelén hiperakkumuláló és nem hiperakkumuláló fajokkal: a *C. violifolia* a csúcsmerisztémában és a levél periférián koncentrált a szelént, míg a nem akkumuláló faj az érrendszerben. A *C. violifolia* faj intakt szövete „C-Se-C” kötést tartalmazó szerves vegyületeket tartalmazott, míg a szelenáttal kezelt nem akkumuláló faj körülbelül fele-fele arányban szervetlen szelenátot és szerves „C-Se-C” kötésű vegyületeket.

6. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Impakt faktoros folyóiratcikkek:

Both, EB ; Shao, S ; Xiang, J ; Jókai, Z ; Yin, H ; Liu, Y ; Magyar, A ; Dernovics, M (2018): Selenolanthionine is the major water-soluble selenium compound in the selenium tolerant plant *Cardamine violifolia*. **BIOCHIMICA ET BIOPHYSICA ACTA-GENERAL SUBJECTS** 1862: pp. 2354-2362.

IF:3,681

Both, EB ; Stonehouse, GC ; Lima, LW ; Fakra, SC ; Aguirre, B ; Wangeline, AL ; Xiang, J ; Yin, H ; Jókai, Z ; Soós, Á ; Dernovics, M ; Pilon-Smits EAH (2020):

Selenium tolerance, accumulation, localization and speciation in a *Cardamine* hyperaccumulator and a non-hyperaccumulator. **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT** 703: 135041.

IF(2019):6,551

Ouerdane, L ; **Both, EB** ; Xiang, J ; Yin, H ; Yu, K ; Shao, S ; Kiszalák, K ; Jókai, Zs ; Dernovics, M (2020): Water soluble selenometabolome of *Cardamine violifolia*. **METALLOMICS**, doi: 10.1039/D0MT00216J (2020)

IF(2019): 3,796

Nem impakt faktoros folyóiratcikkek

Both Eszter Borbála: Áttekintés a szelénbevitellel kapcsolatos ismereteink jelenlegi állásáról Táplálkozástudományi Morzsák Hírlevél I. évfolyam 3. szám, 2018.

Konferencia kiadványok

Nemzetközi összefoglalók

Both, EB ; Kiszalák, K ; Jókai, Zs ; Shao, S ; Xiang, J ; Dernovics, M: Exploring the pathway of selenolanthionine synthesis in the selenium tolerant plant *Cardamine violifolia* p. 40 In: Hungarian, Chemical Society (szerk.) II. Young Researchers' International Conference on Chemistry and Chemical Engineering: Program and Book of Abstracts Budapest, 2018.

Both, EB ; Shao, S ; Xiang, J ; Jókai, Zs ; Yin, H ; Liu, H ; Magyar, A ; Dernovics, M: Selenolanthionine is the main selenium species of the hyperaccumulator plant *Cardamine violifolia* Paper: Paper O33, In: Elias, Arnér (szerk.) 11th International Symposium on Selenium in Biology and Medicine and the 5th International Conference on Selenium in the Environment and Human Health: Book of Abstracts. Stockholm, Svédország, 2017.

Dernovics, M ; Xiang, J ; Pilon-Smits, EAH ; Yin, H ; Yang, Y-k ; Ming, J-j ; Shao, S ; **Both, EB**; Jókai, Zs : Unprecedented novel Se species in an unprecedented plant genus: instructive lessons on comprehensive approaches. pp.62. Paper: OM-12, In: Lena, Ruzik; Joanna, Szpunar (szerk.) Book of Abstracts. Varsó, Lengyelország, 2019.

Dernovics, M ; Soós, Á ; Domokos-Szabolcsy, É ; Kovács, B ; Kurtaj, S ; **Both, EB** : Screening of Allium cepa cultivars for the ability to produce selenosugars. pp. 82. Paper: MP-24, In: Lena, Ruzik; Joanna, Szpunar (szerk.) Book of Abstracts. Varsó, Lengyelország, 2019.

Magyar összefoglalók

Dernovics, Mihály ; **Both, Eszter Borbála** ; Jókainé, Szatura Zsuzsanna ; Magyar, Anna: Gyakorlatba vont szelén-fitoremediációs rendszer bemutatása egy kínai példán keresztül. Paper: PL04, In: Mihucz, V (szerk.) 60. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia. Budapest, Hungary 2017.

Both, Eszter Borbála ; Jókainé, Szatura Zsuzsanna ; Dernovics, Mihály: Új generációs szelénbevitel: lehetőségek, feladatok és kérdések az európai, amerikai és kínai megoldások tükrében. In: Gelencsér, Éva; Lugasi, Andrea (szerk.) TÁPLÁLKOZÁSTUDOMÁNYI KUTATÁSOK VIII. PhD konferencia PROGRAM ÉS ELŐADÁS ÖSSZEFOGLALÓK. Budapest, 2018.