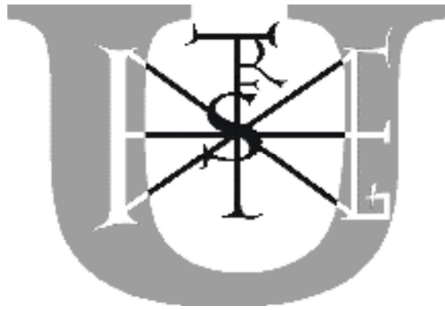


PhD értekezés tézisei

Jócsák Ildikó

GÖDÖLLŐ

2016



**A növényben nehézfém-hatásra kialakuló
stresszállapot korai fázisának detektálására alkalmas
paraméterek kiválasztása**

Doktori Értekezés

Jócsák Ildikó

GÖDÖLLŐ

2016

DOKTORI ISKOLA: BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK
TUDOMÁNYÁG: BIOLÓGIA
VEZETŐ: PROF. DR. NAGY ZOLTÁN
Intézetvezető, Egyetemi tanár
SZIE MKK Növénytani és Ökofiziológiai Intézet

TÉMAVEZETŐ: PROF. DR. VÉGVÁRI GYÖRGY
SZIE Kertészettudományi Kar
Intézetigazgató, Egyetemi tanár
Kaposvári Egyetem, Élettani, Biokémiai és
Állategészségügyi Intézet

.....
ISKOLAVEZETŐ
JÓVÁHAGYÁSA

.....
TÉMAVEZETŐ
JÓVÁHAGYÁSA

1. A munka előzményei, a kitűzött célok

1.1 A téma aktualitása és jelentősége

Az emberi tevékenység következtében a környezetszennyezés egyre nagyobb méreteket ölt a Földön, ezért rendkívül fontos a káros hatások megismerése és tanulmányozása, továbbá a károsító hatások semlegesítése vagy kiküszöbölése. A bioszférába bocsátott káros anyagok kisebb vagy nagyobb mértékben minden élőlényre, így a növényekre is hatnak. Fontos feladat többek között, a növényeket érő hatások pontos megismerése és annak tanulmányozása és feltárása, hogy az egyes hatások milyen változásokat indukálnak a növényekben, hiszen a bennük felhalmozódott káros vegyületek a táplálékláncon keresztül eljuthatnak az emberi szervezetbe, és mérgezéshez vezethetnek. Ma már több tudományág is foglalkozik a környezetszennyezés detektálásával (kémia, biokémia, fizika, biofizika, molekuláris biológia, genetika, stb.), továbbá a károsító hatások semlegesítésével és kiküszöbölésével. Érdekes ezért a vizsgálatokat is több tudományterület módszereinek kombinálásával vagy egymás utáni alkalmazásával végezni annak érdekében, hogy teljesebb képet kapjunk vizsgálatunk tárgyáról.

Az egyre növekvő ipari tevékenység egyenes következménye, a környezetbe kerülő szennyező anyagok számának és azok mennyiségének növekedése. Ezek az anyagok természetesen a bioszféra minden részében jelen vannak, de mivel a növények elsődleges közege a talaj, a vizsgálataink középpontjába a talajt szennyezőanyagok kerülnek. Napjainkban a legnagyobb problémát a nehézfémek és azok vegyületeinek talajba jutása okozza. A növényekkel interakcióba lépő nehézfémek lehetnek esszenciálisak, azaz a növényi működéshez elengedhetetlenül fontosak, valamint nem esszenciálisak, azaz olyanok, amelyek a növénybe jutva már bármilyen kis mennyiségben is toxikus tüneteket okoznak. Az előbb említett két elemcsoport hatásmechanizmusukat tekintve különbözők,

ezért a növényélettani vizsgálatok során is lényeges hatásukat összevetni és a különbségeket megállapítani. A nikkelt esszenciális nehézfém, amely azonban toxikus tüneteket okoz, ha többletben jelenik meg a növényben. Az egyik legtoxikusabb nem esszenciális nehézfém a kadmium, amely bányászati és mezőgazdasági tevékenység során kerül a környezetbe, illetve a növényekbe. (szerves- és műtrágyák, talajjavító anyagok, növényvédő szerek, szennyvíziszap, gépjármű gumibroncskopás). Élettani hatásait tekintve a kadmium akkumulálódása a növényben komoly anyagcsere- és ezzel együtt fejlődési zavarokat okoz, amely termés kieséshez vezet. Tekintettel arra, hogy a növények nehézfém tűrő képessége nagyobb, mint az emberé, nikkelt és kadmium szennyezés esetén a növényben akkumulált, de még számára nem letális mennyiség emberi szervezetbe jutva elegendő koncentrációban már mérgezést okoz.

A klímaváltozás következtében napjainkban egyre gyakoribbak az áradások, amelyeknek a következménye az elárasztott területeken a talaj oxigéntartalmának részleges vagy teljes kiszorulása, ami káros a növényi fejlődés szempontjából. A kertészeti termesztés elsősorban szárazföldi növénytermesztést jelent, ezért a növény gyökerének az egészséges működéshez szüksége van oxigénre. Abban az esetben, ha nem jut elegendő oxigénhez, a növény állapota kezdetben leromlik, majd az egész növény elpusztul a levegőtlen talajban meginduló káros folyamatok- úgymint széndioxid felesleg, toxikus anyagok felhalmozódása- következtében a növény elpusztul.

A fentieket figyelembe véve nyilvánvaló, hogy a stresszfaktorok, illetve azok hatásainak vizsgálata fontos növényélettani kutatási feladat. Érdekes elkülöníteni a természetben előforduló és elő nem forduló alkalmazott koncentrációk különböző hatásait, illetve ezen hatások időbeli megjelenését.

A klasszikus növényélettani vizsgálati módszerek (klorofill tartalom meghatározás, elemtartalom mérés) jó eszközei a stresszélettani kutatásoknak,

mivel alkalmasak a növény fiziológiás jellemzésére. Sok esetben a növény dörzsölését, feldolgozását igénylik, ami invazív mivoltából adódóan egy egyeden csupán egy vizsgálatot tesz lehetővé, holott egy növényegyed többszöri, *in vivo* vizsgálata sokkal árnyaltabb képet adhatna a stresszor által kiváltott növényi válaszokról. Emellett az is fontos, hogy a vizsgálat a lehető legkevesebb sérülést okozza, mivel a sérülés már önmagában stressz hatásnak tekinthető, ami az eredmények pontosságát kérdőjelezheti meg. A modern növényélettani kutatásokban egyre szaporodnak a nem invazív vizsgálati módszerek (fluoreszcencia indukciós mérés, műszeres klorofill tartalom meghatározás, fotoszintetikus aktivitás mérés, sztóma konduktancia mérés). A váltakozó áramú impedancia mérés is olyan módszernek tekinthető, melynek paraméterei információt szolgáltatnak a növényi szövet állapotáról és annak megváltozásáról, anélkül, hogy a mérés során lényegi szöveti roncsolás következne be, mivel mindössze két, viszonylag rövid és vékony elektróda kerül a növényi szövetbe.

Feltételezhető tehát, hogy a fenti módszerekkel a kapott eredmények megfelelően tükrözik a növény élettani állapotát, illetve segítségükkel pontosabban leírható a stressz kialakulásának korai szakasza. Mindez alapkutatói szempontból is fontos, illetve az eredmények gyakorlati útmutatásul szolgálhatnak a növénynemesítésnek, illetve a fitoremediációs és más környezetvédelmi törekvéseknek.

1.2 A kutatás célja

Az alábbi konkrét kérdésekre kerestem a válaszokat:

- 1 Öt szerves sav (oxálecetsav, citromsav, almasav, borostyánkősav és fumársav) konstitutív mennyiségének meghatározása árpa csíranövényekben.
- 2 Változik-e a fenti szerves savak mennyisége kadmium és nikkell hatására a stressz kialakulásának kezdeti (0-24 óra) és későbbi (0-7 nap) szakaszában.
- 3 GPX és APX enzimaktivitások meghatározása kadmium és nikkell hatására a stressz kialakulásának kezdeti (0-24 óra) és későbbi (0-7 nap) szakaszában.
- 4 A két fém szerves sav és antioxidatív enzimaktivitás változásainak összevetése, amennyiben vannak, a különbségek megállapítása és a legérzékenyebben reagáló szerves sav, vagy enzim megnevezése. a stressz kialakulásának kezdeti (0-24 óra) és későbbi (0-7 nap) szakaszában.
- 5 Kadmium kezelés hatásainak jellemzése zöldborsó csíranövényeken különböző nevelési körülmények (levegőztetett és nem levegőztetett vízkultúrás és perlites nevelés) között impedancia méréssel, illetve a legideálisabb nevelési mód kiválasztása.
- 6 Hatással van-e kis koncentrációban egy neutrális fémion a váltakozó áramú impedancia mérés paramétereire?
- 7 Alkalmas-e a váltakozó áramú impedancia mérés nehézfém stressz detektálásra?

2 Anyag és módszer

Az árpa (*Hordeum vulgare* L. 'Triangel') magvakat beáztattam, majd csíráztattam. A csíranövényeket Conviron S10 fitotron karmában (20 °C; 120 $\mu\text{M m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ fényintenzitás; 12-12 h fény/sötét periódus) neveltem, majd feles töménységű Hoagland tápoldatra helyeztem (HEGEDŰS et al., 2001). A tápoldatra helyezést követően a csíranövények a feles töménységű Hoagland tápoldaton még további hét-öt napon keresztül fejlődtek. Az elárasztás okozta anoxia elkerülése végett a feles töménységű Hoagland tápoldatot kétnaponta frissre cseréltem. A csíranövényeket tíz napos korukban kezeltem CdCl_2 -dal és NiCl_2 -dal (kadmium: 10 μM , 50 μM , 100 μM , 300 μM ; nikkelt: 100 μM , 500 μM , 1000 μM), majd a mintavételezésre a kezelést követő 0, 1, 4, 7. napon került sor. A mintavételi napokon szerves sav méréseket, illetve antioxidatív enzimaktivitás méréseket végeztem, valamint kiegészítő vizsgálatokként elemtartalmat, a fluoreszcencia indukció Fv/Fm paraméterét, illetve és a SPAD indexet is meghatároztam.

Az impedancia mérésekhez a borsót (*Pisum sativum* L. cv. 'Debreceni világos') használtam. Csíráztatás után a csíranövényeket fitotronba, Conviron S10 típusú kamrába helyeztem és ott neveltem napi 16 órás 120 $\mu\text{M m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ fényintenzitású megvilágítással 22-23 °C-on 58 % relatív páratartalom mellett. A 8 órás sötétperiódus alatt a kamra hőmérséklete 20 °C volt. A nevelés során desztillált vízzel öntöztem a növényeket. A három napos növényeket feles töménységű Hoagland tápoldatra helyeztem. A kezelt növények felét Maxima típusú (Hagen- Németország D-25488 Holm) akváriumpumpával levegőztettem. A három napos borsó csíranövényeket feles töménységű Hoagland tápoldatot tartalmazó vízkultúrában neveltem tovább és 0; 100; 200 μM koncentrációjú kadmiummal kezeltem.. Ebben a kísérleti beállításban azután még további hét napig neveltem a növényeket és a kezelés napján, valamint azt követően az első, negyedik és a hetedik napon vettem mintákat kadmium tartalom, morfológiai elemzés és impedancia mérés elvégzése céljából.

Az ábrázolt értékek három független kísérlet eredményének átlagolásából ($\pm S.D$) keletkeztek. Minden kísérletben 15-20 csíranövény impedancia spektrumát határoztam meg. A kezelések szignifikancia szintjeit ANOVA ($p > 0,05$) elemzéssel, Duncan teszttel, SPSS 7.0 programmal állapítottam meg.

3 Eredmények

Eredményeim szerint a váltakozó áramú impedancia mérés alkalmas kadmium stressz hatására kialakuló szöveti változások követésére, illetve az elárasztás és kadmium stressz kombinált hatásainak kimutatására is. Mindemellett eleget tesz egy nagyon fontos követelménynek is: a módszer segítségével, a növényi szövet feldolgozása nélkül, gyorsan információt kaphatunk a fiziológiai állapotról is.

Továbbá eredményeim szerint az impedancia méréseket fiatal csíranövényeken is el lehet végezni, így ezen mérés segítségével a szemmel látható tünetek megjelenése előtt is már információt kaphatunk a stresszorok hatásairól. A mérési módszer maga gyors és könnyen kivitelezhető, ezáltal ígéretesen használható növényélettani, illetve növényi stresszélettani vizsgálatok során.

A munka során megkerülhetetlenné vált a megfelelő és körültekintő levegőztetés a vízkultúrák kísérlet során. A levegőztetés hiánya azon túl, hogy tipikus elárasztásos tüneteket hozott létre a zöldborsóban, hátrányosan befolyásolta a kadmium felvételét is.

Kísérletem tanúsága szerint a váltakozó áramú impedancia mérés eredményeiből számított paraméterek (R_a , R_s és C_m), alkalmasak az elárasztás és a kadmium stressz hatására bekövetkező szöveti szerkezeti változások kimutatására, elkülönítésére és időbeli nyomon követésére, már a stressz kialakulásának korai stádiumában.

A munkám második részében, a stresszhatás kialakulásának időbeli dinamikájával foglalkoztam. Eredményeim alapján a kísérlet során megvizsgált szerves sav (Oxálecetsav, almasav, citromsav, borostyánkősav, fumársav) mennyiségi változásai és az antioxidatív enzimek (GPX, APX) aktivitás változásai összességében érzékenyebben reagáltak a nikkellel és a kadmium stressz hatásaira, mint az *in vivo* fluoreszcencia indukció mérés, SPAD index mérés, amelyek egyikénél sem állapítottam meg jelentős változást a kezelés első napja után. Ellenben az APX enzim már a nikkellelkezelést követő harmadik órában

intenzív aktivitásnövekedést okozott, ezzel szemben a kadmium csak később: a gyökérben a kilencedik órától, a levélben a 24 órától.

A GPX mindkét fém esetén a gyökérben a kilencedik órától a levélben már a harmadik órától aktivitás növekedét okozott.

A szerves savak mennyiségi változásai kadmium esetében a gyökérben legkorábban a kezelést követő 12. óra elteltével, a szerves savak közül elsőként, a fumársav csökkenését tapasztaltam. A levélben a 3. naptól tapasztaltam almasav növekedést, a többi szerves sav emnnyiségi csökkenést mutatott. Ezzel szemben a nikkelkezelésre sokkal gyorsabban reagált a növény a szerves savak mennyiségi változásával: a gyökérben az almasav-, a levélben az oxálecetsav már a kezelést követő 3. órában megnőtt.

Eredményeim informatívak lehetnek a korai stressz hatások detektálásában, emellett a kadmium és a nikkel eltérő fiziológiás hatása is megnyilvánult a szerves sav mennyiségi változásokban.

Összességében váltakozó áramú impedancia mérés, az antioxidatív enzimaktivitás, illetve a szerves savak mennyiségváltozásának mérése egyaránt alkalmas a nehézfém felhalmozódás dinamikájának nyomon követésére, így a stressz korai detektálására, akkor, amikor a klasszikus stresszdetektálási módszerek, SPAD, floureszcencia indukció mérés még nem szolgáltatnak információt a növény stresszállapotáról.

4 Tézisek

1. Meghatároztam öt szerves sav (oxálecetsav, citromsav, almasav, borostyánkősav és fumársav) árpa csíranövény gyökerére és levelére jellemző, a sav típusától függően eltérő, konstitutív mennyiségét. Emellett kimutattam a levél növekedési folyamataihoz köthető szerves sav tartalom csökkenést is.

2. Megállapítottam, hogy a gyökérben a kadmium hatást a kezelést követő 12. órától a fumársav, majd a 24. órától a citromsav, az almasav és az oxálecetsav csökkenés is jelezte. A levélben a nagyobb koncentrációknál a 12. órától általános szerves sav tartalom növekedés történt.

3. Megállapítottam, hogy a nikkell az alacsonyabb koncentrációk esetén is szerves sav növekedést okoz: a kezelést követő 3. órától a gyökérben az almasav, a levélben az oxálecetsav mennyisége nőtt meg, ezáltal a szerves sav mérésével követhető a nehézfém felhalmozódás dinamikája a stressz kialakulás korai szakaszában.

4. Meghatároztam a teljes növényi sejt szabadgyök megkötési állapotáról jellemzést adó GPX és APX enzimek aktivitását és annak változásait kadmium és nikkell hatására a stressz kialakulásának kezdeti szakaszában. A GPX aktivitása mindkét fém esetén a gyökérben a 9. órától a levélben már a 3. órától nőtt. Az APX aktivitása a nikkell kezelést követő 3. órától a teljes növényben megnőtt; a kadmium hatására később: a gyökérben a 9. órától, a levélben a 24. órától. A tapasztalt aktivitásváltozások jó jelzői a nehézfém terhelést követő oxidatív stressz kialakulásának.

5. Az anoxia, a levegőztetés és a perlites nevelési módok hatásait jellemeztem váltakozó áramú impedancia méréssel és megállapítottam, hogy a mérés paraméterei alkalmasak a különböző nevelési módok elkülönítésére.

6. A kadmium kezelés élettani hatásait jellemeztem zöldborsó csíranövényeken, a váltakozó áramú impedancia mérés eredményeiből számított három paraméter: R_a , R_s és C_m segítségével. Mindhárom paraméter értéke megnőtt a mérgezés következményeként.

7. Megállapítottam és kiegészítő vizsgálatokkal alátámasztottam, hogy a váltakozó áramú impedancia mérés alkalmas módszer kadmium mérgezés okozta szöveti szerkezeti változások kimutatására és nyomon követésére.

5 Következtetések és javaslatok

A váltakozó áramú impedancia mérés, mint növényi stressz detektálási módszer olyan, alkalmas az elárasztás és kadmium stressz kombinált hatásainak kimutatására is. Mindemellett eleget tesz egy nagyon fontos követelménynek is: a módszer segítségével, a növényi szövet feldolgozása nélkül, gyorsan információt kaphatunk a fiziológiás állapotról. A mérési módszer maga gyors és könnyen kivitelezhető, ezáltal ígéretesen használható növényélettani, illetve növényi stresszélettani vizsgálatok során.

Az impedancia méréseket is, ahogyan ezt a munkám többi részében végeztem érdemes lenne optimalizálni esszenciális nehézfémek hatásainak kimutatására is. Továbbá a tüelektródákat a jövőben tapintó elektródákkal lenne érdemes kiváltani, ezáltal ténylegesen sérülésmentessé válna a módszer.

Mivel a kísérlet első mintavételi időpontjára a vizsgált paraméterekben már erőteljes változások következtek be, ezért kívánatos lenne már a kezelést követő első napon belül impedancia méréseket végezni.

A szerves sav mennyiségi változásait minden bizonnyal megelőzi az azok szintézisét katalizáló enzimek aktivitásának növekedése. Ennek igazolására fontosnak tartom megvizsgálni a citromsav ciklus egyes enzimeinek: malát dehidrogenáz és a szukcinil KoA szintetáz aktivitás változását azonos kísérleti beállítás mellett.

A stressz kialakulás korai szakaszának megfelelő vizsgálatához a fitkoleatin-szintáz enzim aktivitásának mérés, vagy a szintetizálódott fitokelatinok mennyiségi mérése fontos információkkal szolgálna, különösen a kadmium stressz korai szakaszának jellemzése szempontjából.

Mivel a GPX mindkét fém esetén a gyökérben a kilencedik órától a levélben már a harmadik órától aktivitás növekedést okozott, hasznos kisebb időléptékű – pl. óránkénti- mintavétel azért, hogy az aktivitásnövekedés tényleges kezdőpontját meg lehessen határozni.

A továbbiakban fontos lenne felderíteni, hogy az antioxidív enzimszisztéma más tagjainak reakcióit (CAT, GR, SOD) nikkel és kadmium stressz hatására szintén a stressz kialakulás kezdeti szakaszában.

6 Publikációk

A témakörhöz kapcsolódó publikációk

Jócsák I., Droppa M., Horváth G., Bóka K., Vozáry E., 2010. Cadmium- and Flood-Induced Anoxia Stress in Pea Roots Measured by Electrical Impedance. Zeitschrift für Naturforschung 65c: 95-102. IF: 0.776.

Jócsák, I.; Villányi, V.; Rabnecz Gy.; Droppa, M.; 2008. Investigation of nickel stress induction in terms of metal accumulation and antioxidative enzyme activity in barley seedlings. Acta Biologica Szegediensis. Vol 52 (1): 167-171.

Jócsák Ildikó, Végvári György, Droppa Magdolna, 2005. Heavy metal detoxification by organic acids in barley seedlings. Acta Biologica Szegediensis. Vol 49(1-2): 99-101.

Eszter Vozáry, **Ildikó Jócsák**, Magdolna Droppa and Károly Bóka (2012). Connection Between Structural Changes and Electrical Parameters of Pea Root Tissue Under Anoxia Anoxia, (Ed. Pamela Padilla) (2012). ISBN: 978-953-307-664-5 131-146 DOI: 10.5772/29589

Egyéb publikációk

Pós V., Hunyadi-Gulyás É., Kabai M., Caiazzo R., **Jócsák I.**, Medzihradszky K., Lukács N. (2011): Induction of pathogenesis-related proteins in intercellular fluid by cadmium stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) – a proteomic analysis. *Acta Alimentaria - An International Journal of Food Science* 40, (Suppl 1): 164-175. IF: 0.379

Sándor G., Bodor P., **Jócsák I.**, Brunori A., Tóth M., Végvári Gy., 2010. Hardwood Cuttings Preparation Timing and Effect on The IBA Uptake and Metabolism in *Prunus* Rootstocks. Propagation of Ornamental Plants, In Press. Propagation of Ornamental Plants 10 (2): 75-80. IF: 0.222

P. Bónis, T. Árendás, **I. Jócsák**, C. Mikecz, G. Micskei, L.C. Marton: 2011. Effect of abiotic stress factors on the chlorophyll content of maize inbred lines. Acta Agronomica Hungarica. 59. 201-207.

Micskei Györgyi – **Jócsák Ildikó** – Berzsényi Zoltán: 2010. Studies on the effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. I. Using the classical method of plant growth analysis. *Acta Agronomica Hungarica*, 58 (3) 227-238.

Micskei Györgyi – **Jócsák Ildikó** – Berzsényi Zoltán: 2010. Studies on the effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. II. Using the Hunt-Parsons program for plant growth analysis. *Acta Agronomica Hungarica*, 58 (4) in press

Micskei Györgyi – **Jócsák Ildikó** – Árendás Tamás – Bónis Péter – Berzsényi Zoltán: 2010. Effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the yield and yield components of maize in a long-term monoculture experiment in Martonvásár. *Acta Agronomica Hungarica*, 58 (Suppl.) 63-68.

Berzsényi Zoltán – Micskei Györgyi – **Jócsák Ildikó** – Péter Bónis – Eszter Sugár: 2010. Effects of innovative microbial management on maize (*Zea mays* L.) yield in a long-term fertilisation experiment. *Acta Agronomica Hungarica*, 58 (3) 239-251.

Bónis Péter – Árendás Tamás – **Jócsák Ildikó** – Micskei Györgyi – Berzsényi Zoltán – Marton L. Csaba: 2010. A kukorica gyomirtó szer érzékenységi kísérletek 2009. évi eredményeiről. Ed.: Veisz O., *MartonVásár*. 2010/1. 17-18.

Micskei Györgyi – **Jócsák Ildikó** – Berzsényi Zoltán: 2009. Az istállótrágya és a műtrágya hatása a kukorica növekedésére és növekedési mutatóinak dinamikájára, eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*, 58, 4, 45-56.

Rabnecz Gy., Keresztényi I., Isaák Gy., **Jócsák I.**, Varga Zs., Peli E. 2009. Biomonitoring investigation of an

Rabnecz Gy.; Csintalan Zs.; Keresztényi I.; Isaák Gy., **Jócsák I.**; 2008. A water quality investigation around on oil refinery in Hungary using the *Fontinalis antipiretica* (HEDW.) as bioindicator. *Acta Biologica Szegediensis*. Vol 52 (1): 75-77.

Részvétel nemzetközi konferenciákon

P. Bónis, T. Árendás, **I. Jócsák**, C. Mikecz, G. Micskei, L.C. Marton: 2011. Effect of herbicides on the chlorophyll content of maize genotypes. In: Veisz, O. (ed.): Climate change: Challenges and Opportunities in Agriculture. Agrisafe Final Conference, March 21–23, 2011, Budapest, pp. 143-147

Pós V., Hunyadi-Gulyás É., Caiazzo R., **Jócsák I.**, Medzihradszky-Folkl K., Lukács N. (2011): Food safety hazards of plant defense mechanisms induced by heavy metal pollution. *Chinese-European Cooperation for a Long-Term Sustainability*. (2011. november 10-11., Budapest).

Jócsák, I.; Végvári, Gy.; Droppa, M; 2009. Responses of the organic acid level and the antioxidative enzyme activity of barley seedlings in the early phase of nickel stress. VIII. Alps-Adria Scientific Workshop Neum, Bosnia-Herzegovina, 2009. Cereal Research Communications (Supplement) Vol 37: 461-464.

Pós V., Hunyadi-Gulyás É., Kabai M., Caiazzo R., **Jócsák I.**, Medzihradszky K., Lukács N. (2009): Proteomic analysis of the apoplast of cadmium stressed barley leaf (*Hordeum vulgare* L.). *3rd Central and Eastern European Proteomic Conference* (06-09. 10. 2009., Budapest, Hungary) Book of Abstracts p. 67-70.

Rabnecz Gy, **Jócsák, I.**, Keresztyeni I. (2009): Air and soil heavy metal load bioindication around an oil refinery in Hungary. TEFC kongresszus 2009 Május 21.-Environmental aspects of trace elements – Air and water. Proceedings, 202-205. ISBN: 978-963-9319-99-8

Rabnecz Gy, **Jócsák, I** (2009): Bioindication investigation around an oilrefinery in Hungary based on moss technique (temporal trends 1991-2008). 22th. ICP Task Force Meeting, 2009 február 2.-5. Németország.

Rabnecz Gy, Stangl Zs, **Jócsák, I.**, Keresztényi I., (2009): Water quality investigations in the River Danube (2007-2008) using the *Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw. as bioindicator.: Water Policy 2009 – Water as a vulnerable and exhaustible resource. Prága, Csehország, 2009 június 23-26. Proceedings: 219-221.

Jócsák, I.; Végvári, Gy.; Rabnecz Gy.; Droppa, M; 2008. Comparative analysis of the effect of cadmium and nickel on the formation of organic acids in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. VII. Alps-Adria Scientific Workshop Stara Lesna, Slovakia, 2008. Cereal Research Communications (Supplement) Vol 36: 1359-1362.

Végvári, Gy.; Brunori A.; Sándor G.; **Jócsák I.**; Rabnecz Gy.; 2008. The influence of growing place on the rutin content on fagopyrum esculentum and fagopyrum tataricum varieties seeds. VII. Alps-Adria Scientific Workshop Stara Lesna, Slovakia, 2008. Cereal Research Communications (Supplement) Vol 36: 599-602.

Jócsák I., Droppa M., Bóka K., 2004. Effect of flood on electrical impedance parameters of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. XII Conference on Electrical Bio – impedance and V. Electrical Impedance Tomography.

Jócsák, I., Droppa M., Vozáry, E. 2004.: Detection of environmental stresses induced cell membrane changes with electrical impedance measurement. International Conference on Horticultural Post-graduate Study system and Conditions in Europe – Proceedings of abstracts: pp27.

Részvétel hazai konferenciákon

Berzsényi Z., **Jócsák I.**, Micskei Gy., Sugár E., 2009. Agronómiai Reakciók Vizsgálata Növekedésanalízissel És Ökofiziológiai Mérésekkel. A martonvásári agrárkutatások hatodik évtizede 1999–2009. 139-144. ISBN: 978-963-8351-35-7

Berzsényi Zoltán – Bónis Péter – **Jócsák Ildikó** – Micskei Györgyi – Sugár Eszter: 2009. A kukorica hibridek N-műtrágya reakciója vetésforgó és monokultúra tartamkísérletekben. V. *Növénytermesztési Tudományos Nap*, Keszthely. 2009. november 18. ISBN: 978 963 05 8804 1. Ed.: Harcsa M. Publ.: Akadémiai Kiadó, Budapest. 43-46.

Jócsák I., Droppa M., Bóka K., Vozáry E., 2009. Zöldborsó (*Pisum Sativum* L.) gyökér szerkezeti változásainak kimutatása és nyomon követése különböző oxigénellátottságú közegekben. V. *Növénytermesztési Tudományos Nap*, Keszthely. 2009. november 18. ISBN: 978 963 05 8804 1. Ed.: Harcsa M. Publ.: Akadémiai Kiadó, Budapest. 105-107.

Kabai, M., Pócs V., Szájlí E., Hunyadi- Gulyás- É., Caiazzo, R., **Jócsák I.**, Kovács G., Medzihradzky K., Lukács N, 2009. Búza (*Triticum aestivum* L.) és árpa (*Hordeum vulgare* L.) apoplaszt proteomikai vizsgálata. Kadmium kezelés korai hatása az antioxidatív enzimek működésére árpa (*Hordeum vulgare* L.) csíranövényeken. Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest. 2009. október 28-30.

Micskei Györgyi – **Jócsák Ildikó** – Berzsényi Zoltán: 2009. Az istállótrágya és műtrágya hatása a kukorica növekedési mutatóinak dinamikájára, eltérő

évjáratokban. *V. Növénytermesztési Tudományos Nap*, Keszthely. 2009. november 18. ISBN: 978 963 05 8804 1. Ed.: Harcsa M. Publ.: Akadémiai Kiadó, Budapest. 153-156.

Jócsák I.– Végvári György - Droppa Magdolna, 2007. A szerves savak szerepe árpa (*Hordeum vulgare* L.) csíranövények nikkel detoxifikációjában. a Lippay János - Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak. 2007. november 7-8.

Jócsák I.- Droppa M, 2005.: Kadmium kezelés korai hatása az antioxidatív enzimek működésére árpa (*Hordeum vulgare* L.) csíranövényeken. Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest. 2005. október 19. és 20.

Jócsák I., Reményi M., L., †Kissimon J., Lukács N., Vozáry E. Zöldborsó növény elektromos impedancia paramétereinek változása elárasztás és kadmium szennyezés hatására Erdei Ferenc Tudományos Konferencia, 2003. augusztus 28-29., Kecskemét.

Jócsák Ildikó - Lukács Noémi - Horváth Gábor† - Vozáry Eszter, (2003). Környezeti stresszhatások vizsgálata zöldborsó növényen (*Pisum sativum* L.) váltakozó áramú impedancia mérésével. Lippay János - Ormos Imre - Vas Károly” Tudományos Ülésszak 2003. November 6-7. Budapest

Angol nyelvű könyvfejezet:

Zoltán Tuba, Edit Ötvös and **Ildikó Jócsák** (2010). Effects of elevated air CO₂ concentration on Bryophytes: a review. *Bryophyte Ecology and Climate Change* (Ed.: Zoltán Tuba) Cambridge University Press ISBN: 9780521757775 pp:55-70.

Jócsák I and Lukács N (2004). Introduction to plant stress physiology. In: Hrotkó, K. (ed.) *Excerpts from Hungarian Horticulture*, BUESPA Budapest pp. 41-52

Tudományos ismeretterjesztő közlemény:

Bónis P., Árendás T., Berzsényi Z., Micskei Gy., **Jócsák I.**: 2011. Eső után gyomtenger. *MartonVásár*. XXIII/1 14-17.