

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Sóstressz és szalicilsav indukálta élettani folyamatok  
összehasonlító vizsgálata paradicsomban:  
akklimatizáció vagy programozott sejthalál**

**Poór Péter**

Témavezető: Dr. Görgényi Miklósné Dr. Tari Irma

*Tanszékvezető egyetemi docens*



Biológia Doktori Iskola

Növénybiológiai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar

Szegedi Tudományegyetem

2013

Szeged

## BEVEZETÉS

A programozott sejthalál (PCD) az élőlények különböző szervezetségi szintjein működő, genetikailag determinált, természetes folyamat, mely az embriógenézistől a szaporodáson át számos alkalommal fontos eleme az egyedfejlődésnek. A PCD azonban nemcsak az élőlények fejlődésének, hanem a stresszhatások elleni védekezési folyamatainak is integráns része. Az állatokhoz hasonlóan a növényeknél is megkülönböztethetünk az egyedfejlődés során bekövetkező (pl. levél morfogenezis, szenescencia) és a környezet által indukált (pl. patogéntámadás, hiperszenzitív reakció) sejthalált. Noha a PCD sajátos fiziológiai, biokémiai és morfológiai változásokkal jellemezhető a különböző szerveződési szintű élőlényekben, a növényeknél ez számos esetben eltér az állati sejtekben lejátszódó folyamatoktól, amelyek pontos mechanizmusa jelenleg az állati PCD-vel szemben még kevésbé ismert.

Az abiotikus stresszorok közül a sóstressz által indukált PCD-t már sokoldalúan vizsgálták; ez a mezőgazdasági termelést is gyakran limitáló abiotikus stresszor ionikus-, ozmotikus- és oxidatív stressz generálásával indukálhatja a sejthalált, amely autolitikus jellegű. A biotikus stressz során a patogének támadásával szemben lokális és szisztematikus védelmi reakciók aktiválódnak a növényekben, amiben a szalicilsavnak (SA) kulcsfontosságú szerepe van. Az SA a biotróf patogénekkal szembeni védekezést jelentő, sokak által a nem autolitikus jellegű PCD körébe sorolt hiperszenzitív reakció (HR) jelátviteli komponense, amely során a fertőzött és a körülöttük lévő sejtek az SA által generált oxidatív robbanás következtében programozottan elhalnak. Ezzel szemben azonban a korábbi vizsgálataink során kimutattuk, hogy szubletális koncentrációjú SA előkezeléssel fokozni lehet a paradicsom növények abiotikus stressz, köztük a sóstressz toleranciáját is.

## CÉLKITŰZÉSEK

Munkánk során célul tűztük ki, hogy megvizsgáljuk, milyen különbségek figyelhetők meg a sóstressz akklimatizációt javító szubletális SA koncentrációval történő kezelés hatása, valamint a magasabb koncentrációk programozott sejthalált indukáló folyamatai között paradicsom növényekben. Milyen biokémiai, fiziológiai és génexpressziós különbségek figyelhetők meg a még éppen tolerálható és a PCD-t indukáló hatású SA- és NaCl koncentrációk hatása között. Továbbá miben különbözik a kétféle stresszor, az abiotikus sóstressz és a biotikus stresszben szerepet játszó SA által indukált PCD mechanizmusa.

Kutatásaink során a következő kérdésekre keressük a választ:

1. Milyen koncentrációban indukál a NaCl és SA PCD-t paradicsom növényekben? Hol húzódik az akklimatizáció és a sejthalál határa és ezt milyen fiziológiai folyamatok határozzák meg?
2. Hogyan változnak a fotoszintetikus aktivitás és a klorofill *a* fluoreszcencia indukációs paraméterek a kezeléseket követően? Hozzájárulhat-e a fotoszintézis változása a PCD indukációjához az SA-kezelt és a sóstressznek kitett növényekben?
3. Mivel a fotoszintézis fontos szerepet játszik az ozmotikus adaptációban, gátlódásakor a növények érzékenyebbé válnak a sóstresszre is. A fotoszintetikus aktivitás egyik fontos szabályozója a sztómák záródása, ami a CO<sub>2</sub> diffúziójának gátlásával limitálhatja a CO<sub>2</sub> fixációt. Milyen mechanizmusokon keresztül hat az SA a sztómaműködésre? Mik az SA-indukált sztómazáródásban a jelátviteli komponensek, különös tekintettel a ROS (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) és az NO szerepére?
4. Hogyan hat az SA egyedi zárósejtek fotoszintetikus aktivitására (Fv/Fm, effektív kvantumhatékonyság, qP, NPQ, Rel. ETR)?
5. Milyen azonosságok illetve különbségek figyelhetők meg intakt növényekben az SA és NaCl által indukált PCD folyamataiban, a sejtek életképességének változásában, az etilénprodukciónban, az ionhomeosztázisban, a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és egyéb ROS formák, valamint az NO produkciójában? Aktiválódnak-e „proapoptotikus” cisztein proteázok, metakaspázok, vakuoláris processzáló enzimek, a jelátvitelben szereplő MAPK és „antiapoptotikus” (Bax Inhibitor-1, PR) gének a különböző kezelések hatására?
6. Hogyan változik az SA- és NaCl kezelése hatására a sejthalál terminációjában szerepet játszó összes proteáz aktivitás, valamint zselatin-SDS-PAGE gélen történő elválasztás utáni aktivitása?

7. Hogyan alakulnak a PCD-t indukáló jelátviteli útvonalak paradicsom sejtszuspenzióban a kezelések hatására? Mik a PCD indukációjának közös és eltérő elemei a két stresszor esetén a paradicsom sejtszuspenzióban? Milyen citomorfológiai változások történnek az SA- és a NaCl-indukált PCD terminációjakor?
8. Modellezhetők-e a nem fotoszintetizáló osztódó gyökércsúcs PCD folyamatai sejtszuspenzióval?

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 1. Intakt növényeken végzett kísérletek

- A növénynevelés és a kísérletek előkészítése

Kísérleteinkhez *Solanum lycopersicum* Mill. L. cvar. Rio Fuego paradicsom növényeket használtunk fel, melyek vízkultúrában, üvegházi körülmények között növekedtek. A növények három hetes korukban a  $10^{-7}$ - $10^{-2}$  M SA és 100-250 mM NaCl kezelést a tápoldattal kapták, 6 ill. 24 órán keresztül. Az intakt növények vizsgálatokor a következő módszereket alkalmaztuk:

- A hidrogén-peroxid kvantitatív és kvalitatív meghatározása
- A szuperoxid gyökkanion kvalitatív meghatározása
- A sztómakonduktancia mérése porométerrel
- A fotoszintetikus paraméterek meghatározása hordozható fotoszintézis mérő rendszerrel ( $A_{max}$ , klorofill a fluoreszcencia indukációs paraméterek)
- A fotoszintetikus pigmenttartalmak meghatározása spektrofotométerrel
- Az összszukortartalom meghatározása spektrofotométerrel
- Az etilénprodukciónak meghatározása gázkromatográf segítségével
- Az életképesség, ROS- és NO produkció meghatározása fluoreszcens festéssel
- *In silico* módszerek: fehérje szekvenciák homológia fájának elkészítése (Sol Genomics Network, ClustalW, Dendroscope), primertervezés (NCBI, Primer3), gének promóterelemzése (PlantCARE)
- RNS izolálás, DNáz kezelés, cDNS írás, qRT-PCR
- Az elemtartalom meghatározása atomabszorpciós spektrométerrel
- A fehérjetartalom és proteázaktivitás meghatározása spektrofotométerrel és zselatin-SDS-poliakrilamid-gélelektroforézissel (PAGE)
- Az életképesség meghatározása elektrolit kieresztés (EL) alapján konduktivitásmérővel
- DNS fragmentálódás vizsgálata agaróz-gélelektroforézissel

### 2. Zárósejteken végzett kísérletek

- Az epidermisznyúzatok előkészítése és kezelése, mikroszkópos vizsgálatok

A felülről számított harmadik levélemeletről származó kifejlett, kezeletlen növények leveleinek abaxiális oldaláról származó epidermisz szövetet „nyitó pufferbe” helyeztük. Az epidermisznyúzatokat 3 óráig a növénynevelési körülmények között inkubáltuk, amit  $10^{-7}$ - $10^{-2}$  M SA-at tartalmazó oldatban további 3 órát kezeltük. A zárósejtek vizsgálatokor a következő módszereket alkalmaztuk:

- Az életképesség, ROS- és NO produkció meghatározása fluoreszcens festéssel

- A zárósejtek klorofill a fluoreszcencia indukciós paramétereinek meghatározása Microscopy-PAM készüléssel
- A sztómazáródás jelátviteli komponenseinek vizsgálata

### 3. Sejtszuspenzióval, mint modellrendszerrel végzett kísérletek

- Kalluszindítás paradicsom növényből
- Sejtszuspenzió készítése kalluszból és a kísérletek beállítása.  
A sejtszuspenziók a 100-250 mM NaCl és a  $10^{-7}$ - $10^{-2}$  M SA kezelést steril körülmények között a tápoldatban kapták.
- A sejtszuspenzió frisstömeg gyarapodásának mérése
- Sejtszuspenzió pH-jának és elemtartalmának meghatározása atomabszorpciós spektrométerrel
- Sejtszuspenzió életképességének meghatározása ionkieresztés alapján
- Sejtszuspenzió etilénprodukciónak meghatározása gázkromatográf segítségével
- Az életképesség, ROS- és NO produkció meghatározása fluoreszcens festéssel
- Nukleáris változások detektálása TUNEL módszerrel
- Sejtszuspenzió DNS fragmentálódásának vizsgálata gélelektroforézissel
- A sejthalál indukció jelátviteli komponenseinek vizsgálata

A statisztikai elemzésekhez a varianciaanalízist követően a Duncan-féle- és a Student-féle *t*-tesztet használtuk fel.

## EREDMÉNYEK

Munkánk során megvizsgáltuk, milyen különbségek figyelhetők meg a sóstressz akklimatizációt javító szubletális  $10^{-7}$  és  $10^{-4}$  M SA koncentrációval történő kezelés hatása, valamint a magasabb,  $10^{-3}$  és  $10^{-2}$  M-os SA koncentrációk programozott sejthalált indukáló folyamatai között paradicsom növényekben. Megvizsgáltuk a biokémiai, fiziológiai és génexpressziós különbségeket a paradicsom által tolerálható 100 mM-os és a PCD-t kiváltó 250 mM-os NaCl és az említett SA hatásai között. Munkánk során az alábbi főbb eredmények születtek:

1. A supraoptimális NaCl és SA koncentrációk megemelik a paradicsom növényekben a levelek és gyökerek  $H_2O_2$  tartalmát a kezeléseket követő 6, ill. 24 órában. Ezzel párhuzamosan a 250 mM NaCl- és  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  M SA-kezelt növények szöveteinek életképessége szignifikánsan csökken. 24 órás  $10^{-2}$  M SA kezelés hatására a gyökér sejtek DNS-e fragmentálódik. Ezzel szemben a 100 mM NaCl és  $10^{-4}$  M SA kezelések bár oxidatív stresszt generálnak, a növények életképességét nem befolyásolják, és akklimatizációs folyamatokat indukálnak.

2. A szupraoptimális NaCl és SA koncentrációk hatására, a fotoszintetikus elektrontranszport gátlása révén szignifikánsan megemelkedik a levelek  $H_2O_2$  tartalma a fényben, ami fokozza a sejtek halálát. A sztómákon keresztüli  $CO_2$  diffúzió limitálása is meghatározza a fotoszintetikus hatékonyságot. A 100 és 250 mM NaCl és a  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  M SA kezelések hatására szignifikánsan csökken a sztómakonduktancia 6 órán belül. Ezzel párhuzamosan csökken a levelekben a fényintenzitás és a külső  $CO_2$  koncentráció függvényében felvett maximális  $CO_2$  fixáció ( $A_{max}$ ), az  $A/C_i$  és fénygörbék ( $A/PPFD$ ) lineáris szakaszának meredeksége, a karboxilációs hatékonyság (CE) illetve a fotoszintetikus kvantumhasznosítás (Q), a klorofill *a* fluoreszcencia indukciós paraméterek közül a maximális- ( $F_v/F_m$ ) és effektív kvantumhasznosítás (Yield) és a relatív elektron transzport sebessége (Rel. ETR). Azok a növények, melyekben tartósan és szignifikánsan csökken az SA kezelések hatására a fotoszintetikus hatékonyság, később elpusztulnak. Ezt az összefüggést elsőként közöltük a szalicilsav fotoszintetikus aktivitásra gyakorolt hatásának vonatkozásában.
3. Mivel az SA kezelés hormonális változásokat pl. a sztómák záródását előidéző abszcizinsav akkumulációt idéz elő a levelekben, megvizsgáltuk az SA direkt hatását a sztómamozgásra epidermisz nyúzatokon is, amit másodlagos hírvivőként a zárósejtek ROS és NO szintjeinek megváltozása közvetít. Az abaxiális epidermisz nyúzatokon a  $10^{-7}$  és  $10^{-3}$  M SA hatására sztómazáródás volt megfigyelhető, azonban a levelekben mértékkel ellentétben a  $10^{-4}$  M SA hatására a sztómák kinyíltak. Azoknál a koncentrációknál, ahol a sztómák záródtak magas ROS és NO produkciót mértük, ami gátolható volt aszkorbinsavval, katalázzal és difenilén-jodónium kloriddal a ROS, és a cPTIO-val, az NO produkció gátlószereivel, illetve specifikus kioltóival. Ezzel szemben átmeneti, kismértékű ROS növekedés és a kontrollnál alacsonyabb NO szint figyelhető meg a  $10^{-4}$  M SA kezelés hatására a zárósejtekben. Ez az első olyan adat az irodalomban, ami azt bizonyítja, hogy az SA kezelés közvetlenül sztómamozgást is okozhat, és az együtt jár a sztómazáródásban közismert szerepet játszó ROS és NO akkumulációjának csökkenésével.
4. Az SA a koncentrációtól függően gátolja a zárósejtek fotoszintézisét. A magas SA koncentrációk hatására a zárósejtek maximális és effektív kvantumhasznosítása, valamint a fotokémiai kioltás paramétere csökkent.  $10^{-7}$  M SA jelenlétében a zárósejtek kloroplasztiszi magasabb Rel. ETR értéket mutattak, mint  $10^{-3}$  M SA esetén, ami a  $10^{-3}$  M-os koncentrációnál az  $F_v/F_m$  csökkenésével együtt a fotoszintézis irreverzibilis gátlódásának szerepét erősíti meg a sztómák zárásában. Megállapítottuk, hogy az alacsony

és magas (letális) SA koncentrációk által kiváltott sztómazáródás mechanizmusa eltér. Az utóbbiban a zárósejt fotoszintézisének gátlása is jelentős szerepet játszik.

5. A letális  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  M SA és 250 mM NaCl kezelések csökkentették a gyökerek etilén (ET) emisszióját. Míg a szubletális 100 mM NaCl serkentette, a szubletális SA koncentrációk nem változtatták meg az ET termelést a gyökerekben. A supraoptimális NaCl és SA koncentrációk nemcsak a levelek  $H_2O_2$  tartalmát emelik meg, hanem erőteljes ROS és NO termelést generálnak a gyökércsúcsokban is a kezeléseket követő 6. órában, ami hozzájárul a gyökércsúcs szövetei életképességének csökkenéséhez.
6. Megváltozik a különböző koncentrációjú NaCl és SA kezelésekre a pro- és antiapoptikus gének expressziója. Az „antiapoptotikus” Bax Inhibitor-1-et kódoló *SIB1* gén expressziós szintje a  $10^{-2}$  M SA és 250 mM NaCl kezelés hatására lecsökkent a gyökérben, míg a levélben megnőtt. Mivel a kezelésekre elsődleges támadáspontja a gyökér, a BI-1 expressziójának hiánya fontos szerepet játszhat a PCD indukciójában.
7. Ezzel párhuzamosan a PCD indukció jelátvitelében szerepet játszó MAPK-ok közül az *SIMAP3K $\alpha$*  expressziója a letális  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  M SA- és a NaCl-kezelt növények levelében nőtt meg, de a letális koncentrációjú  $10^{-2}$  M SA- és NaCl-kezelt növények gyökérében nem változott szignifikánsan. Az *SIMAP3K $\alpha$*  azonban részt vehet megfelelően alacsony  $H_2O_2$  koncentrációknál az oxidatív stressz elleni védekezési géneket aktiváló jelátviteli folyamatok szabályozásában is, amely feltételezhető a 100 mM-os NaCl esetén. A PCD indukciójában fontos szerepet játszanak a cisztein proteázok. A letális koncentrációjú NaCl és SA kezelésekre hatására megemelkedett a papain-szerű cisztein proteázok közül a *SICYPI* és a metakaspázok közül a *SIMCA1* expressziója a levélben. A letális  $10^{-2}$  M SA kezelés megemeli az *SIVPE1* expresszióját is a paradicsom növények leveleiben.
8. A proteázok expresszióját követően a 24 órás inkubáció után emelkedik meg a proteolitikus enzimaktivitás. A letális koncentrációjú  $10^{-2}$  M SA és 250 mM NaCl kezelésekre hatására mind a levelek, mind a gyökerek fehérjetartalma szignifikánsan lecsökkent a kontrollhoz képest. A proteáz aktivitás és annak változása is a levelekben azonban jóval kisebb. Ezzel párhuzamosan megnő a cisztein proteázok aktivitása a gyökerekben míg a levelekben nem mutatható ki változás ebben az időpontban a zselatin-SDS-PAGE segítségével a kezelésekre hatására. Megállapítható, hogy a PCD indukciója során a folyamat kulcs génjeinek expresszióját követően a terminációs szakaszban fehérje szinten is döntő változások történnek és aktiválódnak többek között egy 180 kDa és egy 47 kDa molsúlyú cisztein proteáz a gyökérben. A génexpresszióban megfigyelt változások és

a proteolitikus változás idő- és térbeli eltérése arra utal, hogy a proteázok aktiválódását fehérje szinten is több tényező befolyásolja.

9. A proteázaktivitással párhuzamosan az ionhomeosztázisban is jelentős változások történnek az alkalmazott SA- és NaCl kezelések hatására indukálódott PCD terminációs szakaszában. A letális koncentrációjú SA- és NaCl kezelés hatására szignifikánsan lecsökkent a gyökerek és levelek kálium tartalma a kontrollhoz képest. Ezzel szemben a  $10^{-4}$  M SA-kezelt növények levelében és gyökerében szignifikánsan nőtt a kálium tartalom, ami elősegítheti a növények akklimatizációját.
10. A letális, 250 mM NaCl és  $10^{-3}$  M SA hatásának összehasonlítását és a PCD indukációjának mechanizmusát paradicsom sejtsuszpenzióban is megvizsgáltuk. Mindkét kezelés ROS és NO termelést indukált az idő függvényében, már a kezelést követő 30. percben. A két PCD jelátvitel között a legmarkánsabb különbség, hogy a 250 mM NaCl kezelés hatására megnő az ET termelés. Az ET bioszintézis prekurzorának, az 1-aminociklopropán-1-karbonsav (ACC) exogén alkalmazásakor megnövekedett ET fokozta a ROS termelést és a sóstressz-indukálta PCD-t, ezzel ellentétben az ACC nem volt hatással az elpusztult sejtek százalékos értékére az SA jelenlétében. A sóstressz-indukálta ET termelés blokkolható volt az ezüst-tiosulfáttal (STS), az etilénreceptor gátlószerevel, ami csökkentette a ROS termelést a sóstressz alatt és növelte a sejtek életképességét. Ezzel szemben az STS az SA jelenlétében fokozta a ROS termelést és növelte a sejthalált. Mindkét stresszor hatására bekövetkező PCD mértékét csökkentette a kalcium kelátor EGTA, a kalmodulin inhibitor W-7, a MAPK kaskád blokkoló PD98059, a cisztein proteáz blokkoló E-64 és a ROS kioltók alkalmazása, ami citoplazmatikus szabad kalcium és a MAP kináz kaskád jelátviteli szerepére is utal. Eredményeink alapján az is megállapítható, hogy az intracelluláris  $K^+$  koncentráció és a  $K^+/Na^+$  arány csökkenése mind a NaCl- és mind az SA-indukálta PCD része.
11. Az intakt gyökerek ET termelése eltér a sejtsuszpenzióban mért ET termelés tendenciáitól. A letális SA koncentrációk ( $10^{-3}$  és  $10^{-2}$  M) a hatóanyag inkubáció után a gyökerek ET termelését szignifikánsan csökkentették, a sejtsuszpenzióban azonban a  $10^{-3}$  M-os SA kezelés hatására nem tapasztalhatunk csökkenést. Intakt növények gyökerében a letális, 250 mM NaCl koncentráció szintén erőteljes ET szint csökkenést okozott, míg sejtsuszpenzióban ugyanez a sókoncentráció erőteljesen aktiválta az ET bioszintézist. Mivel az ET a sóstressz által indukált PCD egyik legfontosabb mediátora, megállapíthatjuk, hogy a sejtsuszpenzió klorofill nélküli, osztódó sejtjei a paradicsom esetében nem modellezik a gyökérmerisztémát.



## PUBLIKÁCIÓS LISTA

### *Tudományos közlemények referált folyóiratokban*

(A \*-gal jelölt közlemények közvetlenül kapcsolódnak a PhD értekezéshez)

- Irma Tari, Gábor Laskay, Zoltán Takács, **Péter Poór** (2013) Respose of sorghum to abiotic stresses, A review. *Journal of Agronomy and Crop Science* DOI: 10.1111/jac.12017 (IF: 2,433)
- \***Péter Poór**, Judit Kovács, Dóra Szopkó, Irma Tari (2013): Ethylene signaling in salt stress- and salicylic acid-induced programmed cell death in tomato suspension cells. *Protoplasma* 250: 273-284. (IF: 1,922)
- \***Péter Poór**, Irma Tari (2012) Regulation of stomatal movement and photosynthetic activity in guard cells of tomato abaxial epidermal peels by salicylic acid. *Functional Plant Biology* 39: 1028-1037. (IF: 2,929)
- \***Péter Poór**, Dóra Szopkó, Irma Tari (2012): Ionic homeostasis disturbance is involved in tomato cell death induced by NaCl and salicylic acid. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 48: 377-382. (IF: 1,497)
- \***Péter Poór** and Irma Tari (2011) Ethylene-regulated reactive oxygen species and nitric oxide under salt stress in tomato cell suspension culture. *Acta Biologica Szegediensis* 55: 143-146.
- Péter Poór**, Katalin Gémes, Ferenc Horváth, Ágnes Szepesi, Mária L. Simon, Irma Tari (2011) Salicylic acid treatment via the rooting medium interferes with the stomatal response, CO<sub>2</sub> fixation rate and carbohydrate metabolism in tomato and decreases the harmful effects of subsequent salt stress. *Plant Biology* 13: 105-114. (IF: 2,395)
- Árpád Székely, **Péter Poór**, István Bagi, Jolán Csiszár, Katalin Gémes, Ferenc Horváth, Irma Tari (2011) Effect of EDTA on the growth and copper accumulation of sweet sorghum and sudangrass seedlings. *Acta Biologica Szegediensis* 55: 159-164.
- Irma Tari, **Péter Poór**, Katalin Gémes (2011) Sublethal concentrations of salicylic acid decrease the formation of reactive oxygen species but maintain an increased nitric oxide production in the root apex of the ethylene-insensitive *Never ripe* tomato mutants. *Plant Signaling & Behavior* 6: 1263-1266.
- Gémes Katalin, **Poór Péter**, Horváth Edit, Kolbert Zsuzsanna, Szopkó Dóra, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2011) Cross-talk between salicylic acid and NaCl-generated reactive oxygen species and nitric oxide in tomato during acclimation to high salinity. *Physiologia Plantarum* 142: 179-192. (IF: 3,112)
- Irma Tari, Adrienn Guóth, Dániel Benyó, Judit Kovács, **Péter Poór**, Barnabás Wodala (2010) The roles of ABA, reactive oxygen species and nitric oxide in root growth during osmotic stress in wheat: comparison of a tolerant and a sensitive variety. *Acta Biologica Hungarica* 61: 189-196. (IF: 0,793)
- I. Tari, Gy. Kiss, A.K. Deér, J. Csiszár, L. Erdei, Á., Gallé, K. Gémes, F. Horváth, **P. Poór**, Á. Szepesi, L.M. Simon (2010) Salicylic acid-induced increases in aldose reductase activity and sorbitol accumulation in tomato plants under salt stress. *Biologia Plantarum* 54: 677-683. (IF: 1,582)
- Tari I., Camen D., Coradini G., Csiszár J., Fediuc E., Gémes K., Lazar A., Madosa E., Mihacea S., **Poór P.**, Postelnicu S., Staicu M., Szepesi Á., Nedelea G., Erdei L. (2008) Changes in chlorophyll fluorescence parameters and oxidative stress responses of bush bean genotypes for selecting contrasting acclimation strategies under water stress. *Acta Biologica Hungarica* 59: 335-345. (IF: 0,619)

- Ágnes Szepesi, Jolán Csiszár, Ágnes Gallé, Katalin Gémes, **Péter Poór**, Irma Tari (2008) Effects of long-term salicylic acid pre-treatment on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. L.) salt stress tolerance: changes in glutathione S-transferase activities and anthocyanin contents. *Acta Agronomica Hungarica* 58: 129-138.
- Katalin Gémes, **Péter Poór**, Zita Sulyok, Ágnes Szepesi, Margit Szabó, Irma Tari (2008) Role of salicylic acid pre-treatment on the photosynthetic performance of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill. L. cvar. Rio Fuego) under salt stress. *Acta Biologica Szegediensis* 52: 161-162.
- Ágnes Szepesi, **Péter Poór**, Katalin Gémes, Edit Horváth, Irma Tari (2008) Influence of exogenous salicylic acid on antioxidant enzyme activities in the roots of salt stressed tomato plants. *Acta Biologica Szegediensis* 52: 199-200.

### **Poszterek és konferencia előadások**

- Péter Poór**, Judit Kovács, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2013) Salicylic acid induced cysteine protease activity during programmed cell death in tomato plants. Plant Diseases and Resistance Mechanisms. 2013. február 20-22. Vienna, Ausztria (poszter)
- Ágnes Szepesi, **Péter Poór**, Judit Kovács, Zoltán Takács, Ágnes Gallé, Irma Tari (2013) Effects of salicylic acid on polyamine metabolism in tomato plants. Plant Diseases and Resistance Mechanisms. 2013. február 20-22. Vienna, Ausztria (poszter)
- Poór Péter**: Sóstressz és szalicilsav indukálta programozott sejthalál összehasonlító vizsgálata paradicsom növényekben és sejtszuspenzióban. MTA Szegedi Akadémiai Bizottság, A Magyar Tudomány Ünnepe Szeged, 2012. november 3-30. (előadás)
- Judit Kovács, **Péter Poór**, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2012) Salt stress induced ethylene production and cysteine protease activity during programmed cell death in tomato. 7th Scandinavian Plant Physiology Society PhD Student Conference. 2012. szeptember 12-15. Tallinn, Észtország (poszter)
- Judit Kovács, **Péter Poór**, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2012) Salt induced changes in the accumulation of reactive oxygen species and in ethylene production. 10th International Ph.D. Student Conference on Experimental Plant Biology. 2012. szeptember 03-05. Brno, Csehország (poszter)
- Péter Poór**, Ágnes Szepesi, Zoltán Takács, Judit Kovács, Irma Tari (2012) Polyamine metabolism under salt-induced cell death in tomato plants. Plant Biology Congress Freiburg 2012: jointly organized by FESPB and EPSO. 2012. július 29.-2012. augusztus 03. Freiburg, Németország (poszter)
- Judit Kovács, **Péter Poór**, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2012) Salt stress induced cysteine protease activities during programmed cell death in tomato. Plant Biology Congress Freiburg 2012: jointly organized by FESPB and EPSO. 2012. július 29.-2012. augusztus 03. Freiburg, Németország (poszter)
- Ágnes Szepesi, **Péter Poór**, Judit Kovács, Zoltán Takács, Ágnes Gallé, Irma Tari (2012) Short term effect of salicylic acid on polyamine metabolism in tomato plants. Plant Biology Congress Freiburg 2012: jointly organized by FESPB and EPSO. 2012. július 29.-2012. augusztus 03. Freiburg, Németország (poszter)
- Péter Poór**, Judit Kovács, Dóra Szopkó, Irma Tari (2012) Ethylene signaling in salt stress- and salicylic acid-induced programmed cell death in tomato suspension cells. Plant Abiotic Stress Tolerance II. 2012. február 22-25. Wien, Ausztria (poszter)
- Péter Poór**, Edit Horváth, Ágnes Gallé, Jolán Csiszár, Irma Tari (2011) Salt stress- and salicylic acid-induced programmed cell death in tomato leaves. 2011. szeptember 07-09. Wroclav, Lengyelország (poszter)
- Poór Péter**, Szopkó Dóra, Tari Irma (2011) Etilén szabályozta reaktív oxigén formák és nitrogén-monoxid só- és szalicilsav-indukált stressz alatt paradicsom sejtszuspenzióban. A Magyar Növénybiológiai Társaság X. Kongresszusa, 2011. augusztus 31.-2011. szeptember 02. Szeged (poszter)
- Székely Árpád, **Poór Péter**, Bagi István, Csiszár Jolán, Gémes Katalin, Horváth Ferenc, Tari Irma (2011) EDTA kezelés hatása a cukorcirok és a szudánifű réz akkumulációjára és növekedésére. A Magyar Növénybiológiai Társaság X. Kongresszusa, 2011. augusztus 31.-2011. szeptember 02. Szeged (poszter)
- Tari Irma, Gémes Katalin, Horváth Edit, **Poór Péter**, Szepesi Ágnes, Csiszár Jolán (2011) A szalicilsav szerepe a paradicsom sóstressz rezisztenciájának fokozásában: interakció az abszcizinsav és az etilén jelátviteli folyamataiban. A Magyar Növénybiológiai Társaság X. Kongresszusa, 2011. augusztus 31.-2011. szeptember 02. Szeged (előadás)
- Péter Poór**, Dóra Szopkó, Irma Tari (2011) The role of reactive oxygen species, nitric oxide and ethylene in salt stress- and salicylic acid-induced programmed cell death in tomato suspension cells. 10th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants. 2011. július 5-8. Budapest, Magyarország (poszter)

- Irma Tari, Katalin Gémes, Edit Horváth, **Péter Poór**, Ágnes Szepesi, Jolán Csiszár (2011) Regulation of antioxidant defence systems and abscisic acid biosynthesis by salicylic acid in tomato roots. 10th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants. 2011. július 5-8. Budapest, Magyarország (előadás)
- Ágnes Szepesi, Katalin Gémes, Zoltán Takács, Gábor Orosz, Mária Vorák, **Péter Poór**, Irma Tari (2011) The role of polyamines and their metabolism in the regulation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level in salicylic acid treated tomato plants. 10th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants. 2011. július 5-8. Budapest, Magyarország (poszter)
- Csiszár Jolán, Váry Zsolt, Horváth Edit, Gallé Ágnes, Szepesi Ágnes, Gémes Katalin, **Poór Péter**, Tari Irma: Enhanced expression and activities of some GST isoenzymes during salt stress and their putative role in the elimination of reactive oxygen species in salicylic acid-primed tomato. 10th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants. 2011. július 5-8. Budapest, Magyarország (poszter)
- Poór Péter**, Gémes Katalin, Székely Árpád, Bagi István, Tari Irma (2011) EDTA kezelés hatása a cukor- és takarmánycirok réz akkumulációjára, biomassza termelésére és fotoszintetikus aktivitására. A Magyar Szabadgyök-kutató Társaság VI. Kongresszusa és az MTA Mikroelem Munkabizottságának Tudományos Ülése. 2011.május 27-28. SZIE Gödöllő (poszter)
- Szepesi Ágnes, Gémes Katalin, **Poór Péter**, Orosz Gábor, Takács Zoltán, Tari Irma (2011) Szalicilsav előkezelt paradicsom növények antioxidáns válaszai só-stressz alatt. A Magyar Szabadgyök-kutató Társaság VI. Kongresszusa és az MTA Mikroelem Munkabizottságának Tudományos Ülése. 2011.május 27-28. SZIE Gödöllő (előadás)
- Poór Péter** (2011) Szalicilsav kezelés hatása paradicsomnövények sztómaműködésére. - Magyar Növénybiológiai Társaság Fiatal Növénybiológusok előadássorozata, 2011. január 17. Szeged SZBK. (előadás)
- Irma Tari, **Péter Poór**, Katalin Gémes, Ágnes Szepesi, Dóra Szopkó, Mária L. Simon, Jolán Csiszár (2010) Improvement of salt stress acclimation of tomato by salicylic acid: the role of osmotic adaptation. International Symposium „Interdisciplinary Regional Research” 2010. október 13-15., Szeged (előadás)
- Ágnes Szepesi, Jolán Csiszár, Katalin Gémes, Gábor Orosz, **Péter Poór**, Zoltán Takács, Irma Tari (2010) Oxidative stress response of salicylic acid pre-treated tomato plants during salt stress. International Symposium „Interdisciplinary Regional Research” 2010. október 13-15., Szeged (előadás)
- Katalin Gémes, **Péter Poór**, Zsuzsanna Kolbert, Irma Tari (2010) Salicylic acid generated NO and reactive oxygen species during salt stress in tomato roots: acclimatization or programmed cell death. 3<sup>rd</sup> Plant NO Club International Meeting, 2010. július 15-16. Olomouc, Csehország (poszter)
- Péter Poór**, Katalin Gémes, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2010) Involvement of NO and reactive oxygen species in salicylic acid-induced stomatal closure in abaxial epidermal peels of tomato. XVIII Congress of the Federation of European Societies of Plant Biology (FESPB), 2010. július 4-9. Valencia, Spanyolország (poszter)
- Jolán Csiszár, **Péter Poór**, Ágnes Gallé, Dániel Benyó, Edit Horváth, Zsuzsanna Kolbert, László Erdei, Irma Tari (2010) Role of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NO and peroxidases in the elongation growth of roots. Molecular Aspects of Plant Development, 2010. február 23-26. Vienna, Ausztria (poszter)
- Tari Irma, Csiszár Jolán, Gallé Ágnes, Guóth Adrienn, Horváth Edit, **Poór Péter** (2009) Az abszcizinsav szerepe vízpotenciált megtartó és vízpotenciál csökkenést toleráló búza genotípusok szárazságtűrési stratégiájában. Miniszimpózium a Debreceni Egyetem Növénytan Tanszéke megalakulásának 80. évfordulójára, 2009. november 13-14. Debrecen (előadás)
- Poór Péter**, Gémes Katalin, Rózsavölgyi Tamás, Tari Irma (2009) Szalicilsav kezelés hatása paradicsom növények sztómaregulációjára. 8. Magyar Ökológus Kongresszus, 2009. augusztus 26-28. Szeged (poszter)
- Irma Tari, Katalin Gémes, **Péter Poór**, Jolán Csiszár (2009) Acclimation of the photosynthetic performance of tomato to high salinity after salicylic acid pre-treatment. International Conference on Plant Abiotic Stress Tolerance, 2009 február 8-11., Vienna, Ausztria (poszter)
- Tari Irma, Csiszár Jolán, Gémes Katalin, Horváth Edit, Szepesi Ágnes, **Poór Péter**, Sulyok Zita (2008) A szalicilsav, mint allelopatikus anyag. IX. Magyar Növénybiológiai Kongresszus, 2008. július 7-9. Szeged (előadás)

## NYILATKOZAT

Alulírottak kijelentjük, hogy a Szegedi Tudományegyetem Növénybiológiai Tanszékén folytatott szakdolgozati munkánk során kapott eredményeket illetve Poór Péter doktorjelölttel társszerzőként közösen publikált eredményeket (*Protoplasma* 250: 273-284, 2013; *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 48: 377-382, 2012) a doktorjelölt szabadon felhasználhatja a Szegedi Tudományegyetemre benyújtott doktori (PhD) értekezésében. Kijelentjük, hogy ezek az eredmények más PhD értekezés tudományos eredményei között nem szerepelnek. Tudomásul vesszük továbbá, hogy ezek a fent említett eredmények a jövőben nem szerepelhetnek más PhD értekezés eredményei között.



Kovács Judit



Szopkó Dóra

Szeged, 2013. március 1.