

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Exogén SA kezelések fényben és sötétben
történő hatásának összehasonlító elemzése vad
típusú és etilén receptor mutáns, *Never-ripe*
paradicsom növények leveleiben**

Takács Zoltán

Témavezetők:

Dr. Görgényi Miklósné Dr. Tari Irma
egyetemi docens

Dr. Poór Péter
egyetemi adjunktus

Biológia Doktori Iskola

Növénybiológiai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar
Szegedi Tudományegyetem



2018
Szeged

BEVEZETÉS

A növényeket érintő stressztényezők közül az egyik legfontosabb a biotikus stressz, amelyet különböző élőlények úgy, mint baktériumok, gombák és fertőző ágensek (vírusok) válthatnak ki, megnövelve a sejten belüli reaktív oxigénformák és nitrogén-monoxid mennyiségét. A szalicilsav endogén jelátvivő molekula többek között a növényi kórokozók elleni védekezési mechanizmusokban, ugyanakkor fontos szerepe van az oxidatív és nitroztív stresszel kapcsolatos folyamatokban a különböző antioxidáns enzimek aktivitásának szabályozásán keresztül is. A poliaminok kis molekulatömegű, biológiailag aktív molekulák, melyek szignálmolekulaként közvetlenül vagy a katabolizmusuk által közvetett módon kulcsfontosságú szereppel bírnak a biotikus stresszfolyamatokban. A poliaminok mennyiségét és metabolizmusát azonban nemcsak a szalicilsav, hanem a biotikus stresszfolyamatokban ugyancsak fontos szerepet játszó, gáz halmazállapotú hormon, az etilén is nagymértékben befolyásolja. A poliaminok és az etilén között ugyanis kompetitív kapcsolat áll fenn, mivel mindkét molekula bioszintézisének közös prekursora az S-adenozil-L-metionin. Emellett azonban a növények védekezési reakciója a patogénekkal szemben nagyban függ a környezeti faktoroktól is, mint például a fénytől. A fénynek ugyanis fontos szerepe van a növényi immunválasz kiváltásában.

CÉLKITŰZÉSEK

Munkánk során célul tűztük ki, hogy megvizsgáljuk, milyen különbségek figyelhetők meg az akklimatizációt segítő szubletális (0,1 mM) szalicilsav koncentrációval történő kezelés hatása, valamint a magasabb (1 mM) szalicilsav-koncentráció sejthalált indukáló folyamatai között vad típusú Ailsa Craig paradicsom növények leveleiben? Milyen fiziológiai, biokémiai és génexpressziós különbségek figyelhetők meg a két koncentráció között, és ezeket milyen mértékben befolyásolja a 24 óráig tartó sötétkezelés? Továbbá miben különbözik a szalicilsav-indukált stresszfolyamatban fontos molekulák mennyisége és enzimek aktivitása egy etilén receptor mutáns (*Never-ripe*) paradicsom növény leveleiben 24 óráig tartó szubletális és letális szalicilsav koncentrációval történő kezelés hatására? Ezeket a változásokat milyen mértékben befolyásolják a normál fotoperióduson és a sötétben történő kezeléseket?

Kutatásaink során a következő kérdésekre kerestük a választ:

1. Munkacsoportunk által már előzetesen kiválasztott szubletális és letális szalicilsav koncentrációk, hogyan hatnak az idő függvényében, fényben és sötétben, vad típusú Ailsa Craig paradicsom növények leveleinek a membrán integritásáról információt adó ionkieresztésre, valamint a lipidperoxidáció mértékét jelző malondialdehid mennyiségére?
2. Hogyan változik a poliaminok metabolizmusában szerepet játszó enzimek génexpressziója és aktivitása, valamint a szabad poliaminok tartalma, fényben és sötétben történő szubletális és letális szalicilsav kezelés hatására a paradicsom növények leveleiben? Hozzájárulhat-e a poliaminok metabolizmusa az akklimatizációhoz vagy a sejthalál indukációjához?
3. Mivel a szalicilsavnak, valamint a poliaminok terminális lebontása során melléktermékként keletkező H_2O_2 -nak fontos szerepe van az oxidatív stresszel kapcsolatos folyamatokban, ezért megvizsgáljuk, hogyan hatnak a fényben és a sötétben történő szalicilsav kezeléseket a O_2^- , H_2O_2 és NO mennyiségére, valamint a különböző antioxidáns enzimek aktivitására és génexpressziójára? Továbbá kapcsolatban van-e a H_2O_2 koncentrációjában bekövetkezett változások a poliaminok terminális lebontását végző enzimek és/vagy az antioxidáns enzimek aktivitásával?
4. Munkánk második felében célunk felderíteni, hogy rövidtávú kezelésben alkalmazott alacsony és magas szalicilsav koncentrációk, hogyan hatnak egy etilén receptorban mutáns (*Never-ripe*), ezáltal aktív etilén jelátvitelt nem tartalmazó paradicsom növény leveleinek H_2O_2 tartalmára, fényben és sötétben?

5. Mivel az etilén és a poliaminok metabolizmusa közötti kapcsolat vizsgálata az irodalom alapján hiányosnak, ugyanakkor az adatok sok esetben ellentmondásosnak mondhatóak, ezért célunk megvizsgálni hogyan és milyen mértékben befolyásolja a szalicilsav, etilén és poliamin tartalmakat, valamint a poliaminok metabolizmusában szerepet játszó enzimek aktivitását és génexpresszióját az etilén jelátvitelének hiánya, fényben és sötétben történő szubletális és letális szalicilsav kezeléseket követően?
6. Hogyan befolyásolja az etilén jelátvitelének hiánya a különböző antioxidáns enzimek aktivitását és génexpresszióját a két általunk választott szalicilsav kezelést követően? Milyen mértékben változnak ezek a folyamatok, ha a 24 óráig tartó kezeléseket normál fotoperióduson vagy sötétben történnek?
7. Hozzájárulhat-e az etilén jelátvitel a szalicilsav-indukálta védelmi mechanizmusokhoz, a poliaminok metabolizmusán és az oxidatív stressz kivédésében fontos szerepet játszó antioxidáns enzimek aktivációján keresztül?

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

- A növénynevelés és a kísérletek előkészítése

Kísérleteink során *Solanum lycopersicum* Mill. L. cvar Ailsa Craig vad típusú, valamint *Never-ripe* etilén receptor mutáns paradicsom növényeket használtunk fel, amelyek vízkultúrában, üvegházi körülmények között növekedtek. A növények nyolchetes korukban a 0,1 mM és 1 mM szalicilsav kezelést a tápoldattal kapták, Ailsa Craig esetében 1, 3, 6, 12, 24, míg *Never-ripe* esetében 24 óráig, normál fotoperióduson, valamint sötétben. Kísérleteink során a következő módszereket alkalmaztuk:

- Szalicilsav extrakció és mennyiségi analízise
- Az életképesség meghatározása ionkieresztés alapján
- Malondialdehid tartalom meghatározása
- Szabad poliaminok meghatározása HPLC-vel
- RNS izolálás, DNáz kezelés, cDNS írás, qRT-PCR
- A poliaminok lebontásában szerepet játszó enzimek aktivitásának meghatározása
- A szuperoxid gyökkanion kvalitatív meghatározása
- Hidrogén-peroxid kvantitatív és kvalitatív meghatározása
- A levelek nitrogén-monoxid termelésének meghatározása fluoreszcens festéssel
- Az etilén termelődés meghatározása
- Antioxidáns enzimek aktivitásának fotometriás, valamint a NADPH-oxidáz és antioxidáns izoenzimek natív poliakrilamid gélelektroforézissel történő vizsgálata
- NADPH-oxidáz izoenzimek meghatározása
- Szuperoxid-dizmutáz enzim
- Kataláz enzim
- Aszkorbát-peroxidáz enzim
- Gvajakol-peroxidáz enzim
- A fehérjetartalom meghatározása

A statisztikai elemzésekhez a varianciaanalízist követően a Duncan-féle tesztet használtuk fel.

EREDMÉNYEK

Munkánk első felében megvizsgáltuk, hogy milyen különbségek figyelhetők meg a szubletális, 0,1 mM szalicilsav koncentrációval történő kezelés hatása, valamint a magasabb, 1 mM-os szalicilsav koncentráció sejthalált indukáló folyamatai között normál fotoperióduson és sötétben a vad típusú Ailsa Craig paradicsom növények leveleiben. Munkánk második felében választ kerestünk arra a kérdésre, hogy a szubletális és letális szalicilsav normál fotoperióduson és sötétben milyen változásokat indukál a poliaminok metabolizmusában és az oxidatív stresszt érintő folyamatokban egy etilén jelátvitelben mutáns, így az etilént érzékelni nem képes, *Never-ripe* paradicsom növény leveleiben, mely vizsgálat lehetőséget nyújt az etilén jelátvitel szerepének az elemzésére is.

Munkánk során az alábbi főbb eredmények születtek:

1. A szubletális és letális szalicilsav koncentrációk normál fotoperióduson tartott Ailsa Craig paradicsom növények leveleiben szignifikánsan, de eltérő mértékben emelték a H_2O_2 mennyiségét az idő függvényében. Ezzel szemben, ha a növényeket sötétben kezeltük, később és kisebb mértékben emelkedett meg a H_2O_2 mennyisége. A két általunk használt szalicilsav koncentráció közül az 1 mM-os indukálta nagyobb mértékben a H_2O_2 felhalmozódását, amely a normál fotoperióduson tartott növények leveleiben kettős csúcsot mutatott. Ez a kettős csúcs a sötétben kezelt növények esetében nem volt tapasztalható. A sötétben történő 1 mM-os szalicilsav kezelés során kapott eredményeink alapján ugyanakkor elmondható, hogy a szalicilsav-indukálta első H_2O_2 csúcs kialakításában a fénynek döntő fontossága van. A nitrogén-monoxid felhalmozódása is csak a magasabb szalicilsav koncentráció hatására és normál fotoperióduson emelkedett meg.
2. Azokban a kísérletekben, ahol a kezelések hatására bekövetkező reaktív oxigén formák és nitrogén-monoxid produkció a kontrollhoz képest együttesen szignifikánsan magasabb volt, szignifikánsan emelkedett a lipidperoxidáció mértékét jelző malondialdehid tartalom, valamint a membrán integritásának csökkenését jelző ionkieresztés értéke, ami különösen igaz a normál fotoperióduson történő 1 mM szalicilsavval kezelt növények leveleire. Ezzel szemben, ha a növényeket sötétben kezeltük a letális szalicilsav koncentrációval, a levelek szignifikánsan kisebb mértékű malondialdehid tartalmat, ionkieresztés értéket, $\cdot O_2^-$ és H_2O_2 produkciót mutattak, míg a nitrogén-monoxid mennyisége nem mutatott szignifikáns változást a kontrollhoz képest. Így tehát, ha a kezelés sötétben történt, a szövetek kisebb mértékű oxidatív- és nitrozatív stressznek voltak kitéve, amely a sejthalál indukációjának folyamatait késleltette az Ailsa Craig

paradicsom növények leveleiben. Ezzel szemben a 0,1 mM szalicilsav kezelésnél, bár kismértékű oxidatív stressz kialakul a normál fotoperióduson kezelt növényekben, nitrozatív stressz hiányában a szövetek életképessége nem csökkent, így a szubletális, exogén szalicilsav kezelés akklimatizációs folyamatokat indukálhat mindkét körülmény során.

3. A szubletális és a letális szalicilsav kezelések eltérő módon befolyásolták a putreszcín bioszintézisében szerepet játszó *arginin-* és *ornitin-dekarboxiláz* enzimeket kódoló gének expresszióját. 0,1 mM szalicilsav kezelést követően csak az *arginin-dekarboxiláz* génexpressziójában tapasztaltunk szignifikáns indukciót, azonban, ha a növényeket a letális szalicilsav koncentrációval kezeltük, mindkét gén expressziója nőtt, bizonyítva, hogy a szalicilsav-indukálta stressz során az arginin-dekarboxiláz aktivitásának nagyobb szerepe lehet a putreszcín bioszintézisében. Továbbá elsőként sikerült kimutatni, hogy a letális szalicilsav kezelés a szubletális szalicilsav koncentrációhoz képest nagyobb mértékben indukálta az *arginin-*, *ornitin-dekarboxiláz* és *spermin-szintáz* gének expresszióját, míg a *spermidin-szintáz* gén relatív transzkript szintje csak kismértékben emelkedett meg, mely indukciók jól korreláltak a szabad poliaminok mennyiségében bekövetkező változásokkal is. Megállapítható, hogy az első 24 órában a szalicilsav-indukálta poliamin akkumulációhoz nagymértékben hozzájárulhat a poliaminok bioszintézisében szerepet játszó gének expressziójának növekedése is.
4. A vizsgált két *diamin-oxidáz* gén (*diamin-oxidáz 1-* és *2*) expresszióját elsősorban a szubletális szalicilsav fokozta, ez gyorsabb és jelentősebb volt sötétben. A 3. óras expressziós maximumok a diamin-oxidáz enzim aktivitásával is korrelációt mutattak. Emellett mindkét szalicilsav kezelés elsősorban a *poliamin-oxidáz* relatív transzkript szintjére hatott, különösen sötétben, mely emelkedés azonban nem mutatott szoros korrelációt a poliamin-oxidáz enzimaktivitásokban mért adatokkal. A normál fotoperióduson történő 1 mM szalicilsav kezelés által indukált H_2O_2 felhalmozódása csak a poliamin-oxidáz enzim aktivitásával mutatott korrelációt, azonban, ha a növényeket sötétben kezeltük a diamin-oxidáz és poliamin-oxidáz terminális oxidáz aktivitása nem mutatott szoros kapcsolatot a H_2O_2 tartalommal, bizonyítva, hogy a poliaminok terminális oxidációja fényben csak kismértékben, míg sötétben egyáltalán nem játszik szerepet a sejthalál indukációjában az Ailsa Craig növények leveleiben.
5. A szalicilsav koncentrációtól függő módon befolyásolja a szabad poliaminok mennyiségét, valamint a bioszintézisükben és lebontásukban szerepet játszó enzimek géneinek expresszióját és aktivitását, amelyben a fény meglétének vagy hiányának meghatározó szerepe van, mely saját új eredményünknek tekinthető.
6. Normál fotoperióduson az 1 mM szalicilsav 1 órán belül indukálta a NADP-oxidáz aktivitását, amely elsősorban felelős a szuperoxid-gyökönion gyors felhalmozódásáért.

Ugyanezen mintákban az oxidatív stressz fontos szerepet játszik a *réz/cink szuperoxid-dizmutáz* és a *mangán-szuperoxid-dizmutáz* expressziójának aktiválásában. A fénytől független módon mindkét szalicilsav koncentráció gátolta a kataláz aktivitását, míg az aszkorbát-peroxidáz aktivitása az idő függvényében mindkét környezetben és mindkét szalicilsav kezelés hatására átmenetileg csökkent a kezelést követő első órában a vad típusú Ailsa Craig növények leveleiben. Ez azonban a fényben a letális szalicilsav hatására újra aktiválódott a szalicilsav kezelést követő 6. órától, mely aktiválódás sötétben nem történt meg. Az a megfigyelés, miszerint a szalicilsav fényfüggő aszkorbát-peroxidáz aktiválódást okoz az idő függvényében, az irodalomban új eredmény. A kataláz és aszkorbát-peroxidáz enzimek együttes gátlása hozzájárulhatott a szalicilsav kezelést követő kettős H₂O₂ csúcs közül az első csúcs kialakításához. Az 1 mM szalicilsav kezelés során a kataláz és aszkorbát-peroxidáz enzimek aktivitásának hiányában a gvajakol-peroxidáz aktivitásában bekövetkező indukció fontos szerepet játszhat a H₂O₂ eliminálásában, ezáltal pedig a sejthalál indukciójának késleltetésében a vad típusú növényekben.

7. Aktív etilén jelátvitel hiányában normál fotoperióduson a *Never-ripe* mutánsok kisebb mértékű H₂O₂ mennyiséget és nagyobb toleranciát mutattak a letális szalicilsavval szemben, azonban a fény hiányában a mutánsokban tapasztaltunk szignifikánsan megemelkedett H₂O₂ felhalmozódást és nagyobb mértékű szövetelhalást. A normál fotoperióduson, letális szalicilsavval kezelt *Never-ripe* növényekben az alacsonyabb H₂O₂ szint megerősítette az etilénnek a szalicilsav-indukálta H₂O₂ termelésben betöltött fontosságát, mely hatás nagymértékben függ a fény jelenlététől.
8. Az exogén szubletális és letális szalicilsav kezeléseket eltérően hatottak az etilén produkciójára, a szabad poliaminok bioszintézisében szerepet játszó enzimeket kódoló gének expressziójára és a szabad poliaminok tartalmára, Ailsa Craig és *Never-ripe* növények leveleiben egyaránt. A kapott eredmények alapján a szalicilsav-indukálta szabad poliamin tartalom változása, különösen a spermin szintézise mindkét környezetben, valamint a putreszcin bioszintézise sötétben az etilén jelátvitel által is szabályozott, ami főleg a bioszintetikus gének szabályozásán keresztül valósul meg. Fontos eredmény továbbá, hogy a szalicilsav kezelésekre hatására indukálódó, poliaminok bioszintézisében szerepet játszó gének relatív transzkript szintjei és a szabad poliamin változások függenek a fény jelenlététől a *Never-ripe* növényekben.
9. A poliaminok lebontásában szerepet játszó gének expressziójának változása függ az exogén szalicilsav koncentrációjától, továbbá a fény jelenlététől és hiányától. A vizsgált *diamin-oxidáz* és *poliamin-oxidáz* izoenzimek esetén a sötétben kapott repressziót a növekvő koncentrációjú szalicilsav genotípustól függően (*diamin-oxidáz 1*, *poliamin-oxidáz 1*) vagy attól függetlenül (*diamin-oxidáz 2*) feloldhatja. Ez arra enged

következtetni, hogy a szalicilsav/etilén-indukálta jelátvitel a fénytől függő módon szabályozza a poliamin katabolikus gének expresszióját is. A poliaminok terminális lebontásában szerepet játszó enzimek aktivitása is hozzájárulhat a szalicilsav-indukálta H₂O₂ produkcióhoz a *Never-ripe* növényekben, magas szalicilsav koncentrációnál, sötétben.

- 10.** Normál fotoperióduson, a letális szalicilsav kezelés hatására kimutatható H₂O₂ szint növekedéséhez a megemelkedett szuperoxid-dizmutáz és a lecsökkent kataláz aktivitása járulhatott hozzá a vad típusú növények leveleiben. Ezzel szemben a *Never-ripe* mutánsok sötétben történő letális szalicilsav kezelése során kaptunk nagyobb mértékű szövetelhalást és H₂O₂ szintet, melyhez a szuperoxid-dizmutáz enzim aktivitásának, valamint az *réz/cink-szuperoxid-dizmutáz* relatív transzkript szintjének emelkedése, továbbá az aszkorbát-peroxidáz és gvajakol-peroxidáz enzimek aktiválódásának elmaradása és/vagy aktivitásának csökkenése járulhatott hozzá. A kapott eredmények azt mutatják, hogy a szalicilsav-indukálta H₂O₂ metabolizmusa különböző antioxidáns enzimek által szabályozott a vad típus és az etilén jelátvitelben mutáns paradicsom növényekben, mely szabályozás nagymértékben függ a fény jelenlététől vagy hiányától. A *Never-ripe* mutáns normál fotoperióduson sokkal toleránsabbnak tűnik a szalicilsav-indukálta oxidatív stresszel szemben, míg tartós sötétben sokkal szenzitívebb.

PUBLIKÁCIÓS LISTA

MTMT azonosító: 10039049

Tudományos közlemények referált folyóiratokban

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

- * **Zoltán Takács**, Péter Poór, Péter Borbély, Zalán Czékus, Gabriella Szalai, Irma Tari (2018) H₂O₂ homeostasis in wild-type and ethylene-insensitive *Never ripe* tomato in response to salicylic acid treatment in normal photoperiod and in prolonged darkness. *Plant Physiology and Biochemistry* (IF: 2,724)
- * Péter Poór, Attila Ördög, Zalán Czékus, Péter Borbély, **Zoltán Takács**, Judit Kovács, Irma Tari (2018) Regulation of the key antioxidant enzymes by developmental processes and environmental stresses in the dark. *Biologia Plantarum* pp 1-10. (IF:1,551)
- * Péter Poór, **Zoltán Takács**, Krisztina Bela, Zalán Czékus, Gabriella Szalai, Irma Tari (2017) Prolonged dark period modulates the oxidative burst and enzymatic antioxidant system in the leaves of salicylic acid-treated tomato. *Journal of Plant Physiology* 213: 216-226. (IF: 2,971)
- Takács Z**, Poór P, Szepesi Á, Tari I (2017) In vivo inhibition of polyamine oxidase by a spermine analogue MDL-72527, in tomato exposed to sublethal and lethal salt stress. *Functional Plant Biology* 44 (5): 480-492. (IF: 2,81)
- * **Zoltán Takács**, Péter Poór, Irma Tari (2016) Comparison of polyamine metabolism in tomato plants exposed to different concentrations of salicylic acid under light or dark conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 108: 266-278. (IF: 2,997)
- Péter Poór, Judit Kovács, Péter Borbély, **Zoltán Takács**, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2015) Salt stress-induced production of reactive oxygen-and nitrogen species and cell death in the ethylene receptor mutant *Never ripe* and wild type tomato roots. *Plant physiology and biochemistry* 97: 313-322. (IF: 2,756)
- Irma Tari, Jolán Csiszár, Edit Horváth, Péter Poór, **Zoltán Takács**, Ágnes Szepesi (2015) The alleviation of the adverse effects of salt stress in the tomato plant by salicylic acid shows a time-and organ-specific antioxidant response. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 57: 1: 1-10. (IF: 0,73).
- Poór Péter, Borbély Péter, Kovács Judit, Papp Anita, Szepesi Ágnes, **Takács Zoltán**, Tari Irma (2014) Opposite extremes in ethylene/nitric oxide ratio induce cell death in cell suspension culture and in root apices of tomato exposed to salt stress. *Acta Biologica Hungarica* 65:(4) pp. 428-438. (IF: 0,589)
- Irma Tari, Gábor Laskay, **Zoltán Takács**, Péter Poór (2013) Response of Sorghum to Abiotic Stresses: A Review. *Journal of Agronomy and Crop Science* 4: 264-274. (IF: 2,433)
- Ágnes Szepesi, Katalin Gémes, Gábor Orosz, Andrea Pető, **Zoltán Takács**, Mária Vorák, Irma Tari (2011) Interaction between salicylic acid and polyamines and their possible roles in tomato hardening processes. *Acta Biologica Szegediensis* Vol. 55 (1): 165-166.

Könyvrészlet

- Tari Irma, Borbély Péter, Csizsár Jolán, Horváth Edit, Poór Péter, Szepesi Ágnes, **Takács Zoltán** (2016) Szalicilsav kémiai edzés hatása a paradicsom sóstressz toleranciájára. In: *Tanulmánykötet 7. Báthory-Brassai konferencia előadásaiából 2. kötet*. Szerkesztők: Prof. Dr. Rajnai Zoltán Dr. Fregán Beatrix Marosné Kuna Zsuzsanna. Felelős kiadó: Az Óbudai Egyetem kiadványa, Budapest, Magyarország. ISBN 978-615-5460-97-5, pp. 411-419.
- Tari I, Borbély P, Csizsár J, Gémes K, Horváth E, Kovács J, Poór P, Szepesi Á, **Takács Z** (2014) Sóstressz tolerancia fokozása szalicilsavval paradicsomban: az abszcizinsav szerepe. In: *Fodor Ferenc Paál Árpádtól a molekuláris növénybiológiáig*. Tudományos ülés Paál Árpád születésének 125. és intézetigazgatói kinevezésének 85. évfordulója alkalmából. Budapest, Magyarország. Felelős Kiadó: ELTE TTK Biológiai Intézet, Növényélettani és Molekuláris Növénybiológiai Tanszék EFO Nyomda Százhalombatta, pp. 55-59.

Konferencia előadások

- Poór Péter, **Takács Zoltán**, Borbély Péter, Czékus Zalán, Ördög Attila, Szalai Gabriella, Tari Irma (2017) Szalicilsav kezelést követő etilénfüggő változások paradicsom növények H₂O₂ homeosztázisában fényben és sötétben. *A Magyar Növénybiológiai Társaság XII. Kongresszusa*. Szeged, Magyarország, 30.08-01.09.2017. p. 11.
- Borbély Péter, **Takács Zoltán**, Csikos Orsolya, Poór Péter, Tari Irma (2017) Exogenous ACC treatment affects photosynthetic activity and related parameters of tomato plants in a concentration dependent manner. *A Magyar Növénybiológiai Társaság XII. Kongresszusa*. Szeged, Magyarország, 30.08-01.09.2017. p. 43.
- Czékus Z, Csikos O, **Takács Z**, Ördög A, Bódi N, Bagyánszki M, Tari I, Poór P (2017) Szalicilsav okozta ER stressz hatásának vizsgálata paradicsomban. *A Magyar Növénybiológiai Társaság XII. Kongresszusa*. Szeged, Magyarország, 30.08-01.09.2017. p. 44.
- Poór Péter, Czékus Zalán, Borbély Péter, **Takács Zoltán**, Tari Irma (2017) Növényi antioxidáns enzimek szalicilsav kezelést követő etilénfüggő szabályozása sötétben. *Magyar Szabadgyök-Kutató Társaság IX. Kongresszusa és az MTA ÉKB Mikroelem Munkabizottságának Tudományos Ülése*. Gödöllő, Magyarország. 25-26.08.2017. p. 15.
- Czékus Zalán, Csikos Orsolya, **Takács Zoltán**, Ördög Attila, Bódi Nikolett, Bagyánszki Mária, Tari Irma, Poór Péter (2017) Szalicilsav indukálta ER stressz vizsgálata paradicsom növényekben. *XV. Magyar Növényanatómiai Szimpózium*. Budapest, Magyarország, 07.09. 2017. p. 28.
- Péter Poór, **Zoltán Takács**, Péter Borbély, Zalán Czékus, Irma Tari (2017) Ethylene dependent changes in hydrogen-peroxide homeostasis after salicylic acid treatment in tomato. *International Conference Plant Molecular Physiology*. Bécs, Ausztria, 23-24 Feb. 2017. p. 21.
- Zoltán Takács**, Zalán Czékus, Péter Poór, Irma Tari (2016) Effect of light on the salicylic-induced oxidative stress in tomato. *Closing Conference of Hungary-Serbia IPA Cross-border Co-operation Programme HUSRB/1203/221/173 „PLANTTRAIN”* 23-24 May, 2016, Novi Sad, Serbia
- Péter Poór, Kovács J, Szepesi Á, Borbély P, Patyi G, **Takács Z**, Tari I (2016) Salt stress-induced oxidative stress in ethylene signaling mutant, *Never ripe* tomato. *Closing Conference of Hungary-Serbia IPA Cross-border Co-operation Programme. HUSRB/1203/221/173 „PLANTTRAIN”*. 23-24 May, 2016, Novi Sad, Serbia
- Zoltán Takács** (2016) Effect of the light and dark conditions on the salicylic acid-induced oxidative stress. *Conference of the doctoral school in biology*. 17-18 May, 2016. Szeged, Hungary
- Poór Péter, Németh Edit, Patyi Gábor, Czékus Zalán, **Takács Zoltán**, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2015) Fény és sötét által szabályozott oxidatív robbanás és antioxidáns rendszer szalicilsav kezelt paradicsom levelekben. *A Magyar Szabadgyök-Kutató Társaság VIII. Kongresszusa*: Budapest, 2015. november 5-6.
- Takács Zoltán**, Poór Péter, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2015) Exogén szalicilsav kezelés fényfüggő hatása a poliaminokra és katabolizmusukra paradicsom növények levelében. *A Magyar Szabadgyök-Kutató Társaság VIII. Kongresszusa*: Budapest, 2015. november 5-6
- Tari Irma, Kovács Judit, Borbély Péter, **Takács Zoltán**, Szepesi Ágnes, Poór Péter (2015) Sóstressz indukált változások a reaktív oxigén és nitrogénformák akkumulációjában etilénreceptor mutáns *Never ripe* és vad típusú paradicsomban. *A Magyar Szabadgyök-Kutató Társaság VIII. Kongresszusa*: Budapest, 2015. november 5-6.

- Zoltán Takács**, Péter Poór, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2015) Comparison of the time-dependent role of polyamine oxidases under sublethal and lethal salt stress in tomato plants. *Opening Conference of Hungary-Serbia IPA Cross-border Co-operation Programme, HUSRB/1203/221/173 „PLANTTRAIN”*. 20-21 April 2015. Szeged, Hungary
- Ágnes Szepesi, Péter Borbély, Ágnes Hurton, **Zoltán Takács**, Szabolcs Tóth, Izabella Kovács, Christian Lindermayr, Irma Tari (2015) Polyamine catabolism under salt stress: Inhibiting diamine oxidase by aminoguanidine. *Opening Conference of Hungary-Serbia IPA Cross-border Co-operation Programme, HUSRB/1203/221/173 „PLANTTRAIN”*. 20-21 April 2015. Szeged, Hungary
- Tari Irma, Csiszár Jolán, Horváth Edit, Poór Péter, Szepesi Ágnes, **Takács Zoltán** (2014) Sóstressz tolerancia fokozása szalicilsavval paradicsom növényekben. *Emlékkülés Paál Árpád születésének 125. és intézetigazgatói kinevezésének 85. évfordulója alkalmából*, 2014. december 16., ELTE, Budapest
- Poór Péter, Kovács Judit, Borbély Péter Gábor, **Takács Zoltán**, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2014) Exogén NO hatása a sóstressz indukált fiziológiai válaszreakciókra paradicsomban. *Magyar Tudomány Ünnepe, Az MTA SZAB Biológiai Szakbizottság ünnepi tudományos ülése, Reprezentatív előadások a biológiai munkabizottságok kutatási területeiről*, 2014. november 26.
- Zoltán Takács**; Péter Poór; Ágnes Szepesi; Irma Tari (2014) Role of polyamine catabolism in salt stress acclimation of tomato plants. *11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology*. 27-29 August 2014; Szeged; Hungary
- Zoltán Takács**, Ágnes Gallé, Ágnes Szepesi, Péter Poór, Irma Tari (2014) The role of polyamine catabolism associated hydrogen peroxide and nitric oxide production in salt stress-induced cell death in tomato plants. *8th Scandinavian Plant Physiology Society PhD Students Conference*. June 16-19th, 2014, Uppsala, Sweden
- Ágnes Szepesi, Péter Poór, Attila Ördög, **Zoltán Takács**, Irma Tari, Mária Torma, Gábor Pálfay (2014) Effect of nitric oxide-generating fungicide ingredient pyraclostrobin on abiotic stress responses of maize. *Top Science Conference AgCelence in Corn*. February 25-26th, 2014, Prague, Czech Republic
- Takács Zoltán**, Gallé Ágnes, Kovács Judit, Poór Péter, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2013) A poliamin katabolizmus só-stresszben betöltött szerepének tanulmányozása, egy specifikus PAO gátlószer az MDL72527 hatására, paradicsom növényekben. *Magyar Tudomány Ünnepe 2013, MTA SZAB Biológiai Szakbizottság ünnepi ülése II*. 2013. november 19, Szeged
- Szepesi Ágnes, Borbély Péter, Gellert Attila, Hurton Ágnes, Kovács Judit, Poór Péter, **Takács Zoltán**, Tóth Szabolcs, Tari Irma (2013) Az aminoguanidin hatása sóstressznek kitett paradicsom növények poliamin katabolizmusára. *Magyar Tudomány Ünnepe 2013, MTA SZAB Biológiai Szakbizottság ünnepi ülése II*. 2013. november 19, Szeged
- Takács Zoltán**, Gallé Ágnes, Kovács Judit, Poór Péter, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2013) A poliamin katabolizmus só-stresszben és programozott sejthalálban betöltött szerepének tanulmányozása, paradicsom növényekben. *A Magyar Szabadgyök-Kutató Társaság VII. Kongresszusa*. 2013. augusztus 29-31, Debrecen, p. 39.
- Szepesi Ágnes, Kovács Judit, Poór Péter, **Takács Zoltán**, Tóth Szabolcs, Marlène Delauney, Tari Irma (2013) Egy diamin-oxidáz gátlószer; az aminoguanidin hatása paradicsom növények sóstressz toleranciájára. *A Magyar Szabadgyök-Kutató Társaság VII. Kongresszusa*. 2013. augusztus 29-31, Debrecen, p. 38.
- Takács Zoltán**, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2013) A poliamin katabolizmussal kapcsolt hidrogén-peroxid és nitrogén-monoxid szerepe a só-stressz indukálta sejthalál kiváltásában, paradicsom növényekben. *Sófi József ösztöndíj pályázati konferencia*. 2013. március 21, Szeged. Elért helyezés: II. hely
- Takács Zoltán**, Szepesi Ágnes, Tari Irma (2013) A poliamin katabolizmussal kapcsolt hidrogén-peroxid és nitrogén-monoxid szerepe a só-stressz indukálta sejthalál kiváltásában, paradicsom növényekben. *A Magyar Növénybiológiai Társaság Fiatal Növénybiológusok Előadássorozata*. 2013. január 25; Szeged. Elért helyezés: III. hely.
- 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; Gödöllő.
- Ágnes Szepesi, Jolán Csiszár, Katalin Gémes, Gábor Orosz, Péter Poór, **Zoltán Takács**, Irma Tari (2010) Oxidative stress responses of salicylic acid pre-treated tomato plants during salt stress. *11th International Symposium Interdisciplinary Regional Research*. October 13-15, 2010; p. 30. Szeged, Hungary.

Konferencia kiadványok és poszterek

- Krisztina Bela, Edit Horváth, Ágnes Hurton, Riyazuddin, **Zoltán Takács**, Sajid Ali Khan Bangash, Jolán Csiszár (2017) Investigation of *Arabidopsis thaliana* glutathione peroxidase-like enzymes. *New Phytologist next generation scientists: Programme, abstracts and participants*. Norwich, Egyesült Királyság / Anglia, 24-26. July 2017. p. 34.
- Badics Eszter, Gubala Dorottya, Szegő Anita, Gáspár László, **Takács Zoltán**, Papp István, Kissné Bába Erzsébet (2017) Szárazságstressz indukálta dehidrin fehérjék és gének azonosítása uborkában. XXIII. Növénynevelési Tudományos Nap. 2017. 03. 07. Magyar Tudományos Akadémia Budapest, Magyarország
- Péter Poór; **Zoltán Takács**; Péter Borbély; Zalán Czékus; Gábor Patyi; Irma Tari (2016) Involvement of ethylene in hydrogen-peroxide metabolism in the leaves of salicylic-acid treated tomato. *Plant Biology Europe EPSO/FESPB 2016 Congress*. June 26-30, 2016, Prague, Czech Republic
- Krisztina Bela; Edit Horváth; Ágnes Hurton; Riyazuddin; **Zoltán Takács**; Hajnalka Kovács; Sajid Ali Khan Bangash; Safira Attacha; Andreas Meyer; Jolán Csiszár. (2016) The role of the *Arabidopsis thaliana* glutathione peroxidases under stress conditions. *Plant Biology Europe EPSO/FESPB 2016 Congress*. June 26-30, 2016, Prague, Czech Republic
- Poór Péter, **Takács Zoltán**, Nagy Bence, Kecskeméti Anna, Tari Irma (2016) Salicylic acid induced hydrogen-peroxide metabolism in ethylene-insensitive *Never ripe* tomato mutant. *A fiatal Biotechnológusok II Országos Konferenciája (FIBOK, 2016)*. 2016. 03. 21-22, Gödöllő.
- Péter Poór; Zalán Czékus; Gábor Patyi; Péter Borbély; Judit Kovács; **Zoltán Takács**; Irma Tari. (2016) Investigation of salt stress induced changes in water status, photosynthetic parameters and cysteine protease activity in wild type and abscisic acid-deficient sitiens mutant of tomato (*Solanum lycopersicum* cv.Rheinland Ruhra). *Plant model species fundamentals and applications*. February 04-05, 2016, Wien, Austria
- Zoltán Takács**, Péter Poór, Krisztina Bela, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2015) Comparison of exogenous salicylic acid-induced polyamine catabolism in the presence of light or in darkness in tomato leaf. *12th International Conference on reactive oxygen and nitrogen species in plants: from model systems to field*. June 24-26, 2015, p. 105; Verona, Italy
- Péter Poór, **Zoltán Takács**, Péter Borbély, Ágnes Szepesi, Irma Tari (2015) Light and darkness modulate the oxidative burst and enzymatic antioxidant systems in salicylic acid-treated tomato leaf. *12th International Conference on reactive oxygen and nitrogen species in plants: from model systems to field*. June 24-26, 2015, p. 105; Verona, Italy
- Ágnes Szepesi; Péter Borbély; Attila Gellert; Ágnes Hurton; Judit Kovács; Péter Poór; **Zoltán Takács**; Irma Tari (2014) Short term analysis of salt stress induced polyamine catabolism affected by aminoguanidine and diphenylene iodonium iodide in tomato. *11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology*. 27-29 August 2014; Szeged; Hungary
- Péter Poór; Ágnes Gallé; Judit Kovács; **Zoltán Takács**; Péter Borbély; Gábor Patyi; Sengnirane Chounramany; Ágnes Szepesi; Irma Tari (2014) Analysis of light dependent cis-regulatory elements of hexokinase genes in tomato (*Solanum lycopersicum*). *11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology*. 27-29 August 2014; Szeged; Hungary
- Péter Borbély; Péter Poór; Judit Kovács; **Zoltán Takács**; Gábor Patyi; Ágnes Szepesi; Irma Tari (2014) Exogenous sodium nitroprusside alleviates salt-induced changes in photosynthesis of tomato leaves. *11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology*. 27-29 August 2014; Szeged; Hungary
- Judit Kovács; Péter Poór; Gábor Patyi; Péter Borbély; Ágnes Szepesi; **Zoltán Takács**; Irma Tari (2014) Investigation of salt stress induced changes in cysteine protease activity in abscisic acid-deficient sitiens tomato (*Solanum lycopersicum*) mutant. *11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology*. 27-29 August 2014; Szeged; Hungary
- Ágnes Szepesi; Péter Borbély; Attila Gellert; Ágnes Hurton; Judit Kovács; Péter Poór; **Zoltán Takács**; Irma Tari (2014) Impact of aminoguanidine on NO content and polyamine catabolism in salicylic acid treated tomato plants. *5th Plant NO Club Meeting*. July; 24-25, 2014 München, Germany
- Ágnes Szepesi; Attila Gellert; Ágnes Hurton; Péter Borbély; Judit Kovács; Péter Poór; **Zoltán Takács**; Irma Tari (2014) Effect of aminoguanidine on polyamine catabolism of tomato plants during short-term salt stress. *Oxizymes 2014*. July; 01-04. 2014, Vienna; Austria
- Ágnes Szepesi, Péter Borbély, Judit Kovács, Péter Poór, Szabolcs Tóth, **Zoltán Takács**, Irma Tari (2013) Polyamine catabolism in tomato leaves exposed to salt stress. *6th European Workshop on Leaf Senescence*. October 14-18, 2013; p. 180. Versailles, France

- 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 Mechanism*. February 20-22, 2013; p. 68. Vienna, Austria
- Péter Poór; Ágnes Szepesi; **Zoltán Takács**; Judit Kovács; Irma Tari (2012) Polyamine metabolism under salt-induced cell death in tomato plants. *Plant Biology Congress*, 29 July- 3 August, 2012; p. 408. Freiburg, Germany
- Szepesi Ágnes, Péter Poór, Kovács Judit, **Takács Zoltán**, Gallé Ágnes, Tari Irma (2012) Short term effect of salicylic acid on polyamine metabolism in tomato plants. *Plant Biology Congress*, 29 July- 3 August, 2012; p. 792. Freiburg, Germany
- Szepesi Ágnes; Gémes Katalin; Orosz Gábor; Pető Andrea; **Takács Zoltán**; Vorák Mária; Tari Irma (2011) A poliaminok mennyiségi és minőségi változása paradicsomban szalicilsav kezelés hatására és lehetséges szerepe a stresszrezisztencia fokozásában. *A Magyar Növénybiológiai Társaság X. Kongresszusa*. 2011. augusztus 31 - szeptember 2; Szeged.
- 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 H₂O₂ level in salicylic acid treated tomato plants. *10th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants*. July 5-8, 2011; p. 68. Budapest, Hungary.

NYILATKOZAT

Alulírottak kijelentik, hogy Takács Zoltán doktorjelölttel társszerzőként közösen publikált eredményeket (*Plant Physiology and Biochemistry*, 2018; *Journal of Plant Physiology* 213: 216-226, 2017) a doktorjelölt szabadon felhasználhatja a Szegedi Tudományegyetemre benyújtott doktori (Ph.D.) értekezésében. Kijelentjük, hogy ezek az eredmények más Ph.D. értekezés tudományos eredményei között nem szerepelnek. Tudomásul vesszük továbbá, hogy ezek a fent említett eredmények a jövőben nem szerepelhetnek más Ph.D. értekezés eredményei között.

Bela Krisztina

Borbély Péter

Czékus Zalán

Szeged, 2018. február 26.