

AKADÉMIAI DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**A szalicilsav szerepe gazdasági növények
stressztűrő képességében**

SZALAI GABRIELLA

**MTA MEZŐGAZDASÁGI KUTATÓINTÉZETE
MARTONVÁSÁR**

2009

1. Bevezetés és kutatási cél

Az abiotikus stresszek, mint a szárazság, só, magas és alacsony hőmérséklet, nehézfém, oxidatív stressz, komoly veszélyt jelentenek a mezőgazdaság számára és a környezetre is káros hatással vannak. Az abiotikus stressz világszerte jelentős mértékben csökkenti a fő gabonafélék termésmennyiségét. A klímaváltozás miatt a szárazságstressz és az emiatti öntözéssel együtt járó sóstressz egyre több területet érint, és komoly szikesedéshez vezethet az öntözött területeken. Hazánkban a növénytermesztőknek szintén minden évben számítaniuk kell többféle stressztényezőre is. Ezek közé tartozik az alacsony és magas hőmérséklet, a szárazság, a nehézfém-szennyezés, valamint a különböző patogének támadásai. A magasabbrendű növények, helyhez kötöttségük miatt, nem tudnak elvándorolni környezetük kedvezőtlen változásai elől. Ezek hatással vannak a növényi anyagcserefolyamatokra is, ami a növény védekező mechanizmusainak indukálódásában, a "stresszválaszokban" tükröződik. A növények többféle védekező mechanizmust dolgoztak ki az egyes stresszféleségek kivédésére. A természetben a növényeket ért stresszek általában nem izoláltan jelentkeznek, hanem többféle stresszhatás is érheti a növényt egyidőben. Ennek hatására a különböző stresszekre adott válaszok azonos folyamatokat indíthatnak be, és a különböző jelátviteli utak és védekezési mechanizmusok átfedése figyelhető meg. Stresszre általánosan indukálódó mechanizmus pl. az ozmoprotektáns anyagok (prolin, szénhidrátok), valamint a makromolekulák védelmében szerepet játszó komponensek (poliaminok, glicin-betain) szintézise, antioxidáns tulajdonságú vegyületek (pl. tiolok, aszkorbinsav) felhalmozódása, az antioxidáns enzimek aktivitásának növekedése.

Az utóbbi időben derült ki, hogy a szalicilsav több élettani folyamatban szerepet játszik, köztük egyes stresszhatások védelmének kiváltásában is. Az

emberiség már évszázadok óta használta a fűzfa kérgét láz- és fájdalomcsillapításra, mely - mint utóbb kiderült- szalicint tartalmaz. Az élő szervezetben ez szalicilsavvá alakul. Tehát a „szalicilsav” név a fűzfa latin nevéből, a *Salix*-ből származik. A szalicilsav (SA) stresszélettani szerepe elsősorban a biotikus stressztolerancia jelátviteli folyamataival kapcsolatban vált ismertté, mindezek mellett azonban az elmúlt években számos bizonyíték gyűlt össze az abiotikus stresszhatások (például alacsony és magas hőmérséklet, UV-B sugárzás, ózon, nehézfémek stb.) során játszott szerepéről is. Ezek a munkák nagyrészt a külsőleg adott szalicilsav abiotikus stressz ellen nyújtott védőhatásáról számoltak be. Megfelelő koncentrációban alkalmazva a szalicilsav átmeneti oxidatív stresszt okozhat a növénynek, és ez mint egy edzési folyamat, a növény antioxidatív kapacitását megnövelheti. A szalicilsav ill. származékainak pontos hatásmechanizmusa még ma sem ismert. Elsősorban exogén SA alkalmazásakor kérdéses, hogy az elért hatásban mennyire játszik közvetlen szerepet a felvett szalicilsav, mennyire a belőle keletkezett metabolitok.

Mind elméleti, mind gyakorlati szempontból nagy jelentősége van azon anyagok vizsgálatának, melyek a gazdasági növények stresszérzékenységét csökkenteni képesek. A szalicilsav védőhatásáról megjelent dolgozatok sem a kezelés módját, sem a stressztípust illetően nem voltak specifikusak: több esetben találtak védőhatást különböző stressztípusokkal szemben is mind öntözés, mind permetezés, mind az elvetésre kerülő mag szalicilsavban történő áztatásával. Ezek az eredmények egyértelműen azt sugallják, hogy érdemes a szalicilsavnak gyakorlati felhasználhatóságával behatóbban foglalkozni. Mindezek alapján jelen munkában a következő feladatokat tűztük ki:

- ❖ A tápoldathoz adagolt SA hatásainak tanulmányozása különféle abiotikus (hideg, szárazság, nehézfém) stresszhatások alatt kukoricanövényekben.

- ❖ Az endogén SA-szint változásainak tanulmányozása abiotikus stresszhatások alatt fiatal kukoricanövényekben.
- ❖ A gyakorlati alkalmazás szempontjából is szóbajöhető szalicilsavas magáztatás és védőhatásának élettani hátterének vizsgálata borsó- és kukoricanövényekben.

Eredményeink gyakorlati hasznosíthatóságát elsősorban abban látjuk, hogy alapot szolgáltathatnak jobb stresszellenállóságú haszonnövények előállításában.

2. Anyagok és módszerek

A növénynevelés körülményei, növényi anyagok: A kísérletek nagy részében (exogén SA hatása valamint az endogén SA változása különböző abiotikus stresszek során) tápoldatban, azonos körülmények közt nevelt, azonos korú növényeket használtunk, majd különböző kezeléseket alkalmaztunk. Az előnevelés körülményei a következők voltak: A kukoricaszemeket (*Zea mays* L., Norma hibrid) 30 percig 0,5%-os Neomagnol oldatban fertőtlenítettük, majd desztillált vízzel nedvesített szűrőpapírrban csíráztattuk 3 napig 26°C-on. A növényeket főzőpohárban (7/pohár), a martonvásári Mezőgazdasági Kutatóintézet fitotronjában neveltük 22/20°C-on 16/8 órás fény-sötét periódus mellett Conviron PGR-15 típusú növénynevelő kamrában (Controlled Environments Ltd, Winnipeg, Canada) 10 napos korig 250 ml módosított Hoagland-tápoldatban. A megvilágítás mértéke 340 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD, a relatív páratartalom 75% volt. A tápoldatot kétnaponta cseréltük. A hideghatás vizsgálatához a kukoricák felét 0,5 mM SA oldattal kezeltük 24 órán keresztül, majd a tápoldatot SA mentesre cseréltük. A SA-kezelt és kezeletlen (kontroll) növények felét 3 napig hidegkezeltük 5 °C-on, majd mintát gyűjtöttünk az analízisekhez és mértük az ionkiáramlást. Az ACC és MACC meghatározás előtt a SA-kezelt és kezeletlen növények felét 4 napig 13/11 °C-on hidegedzettük, majd 4 napra 5 °C-ra helyeztük. Naponta szedtünk mintát az

analízisekhez. A szárazságstressz vizsgálatához a szalicilsav kezelt és kezeletlen növények felét 15 %-os (w/v) PEG6000-rel kezeltük 3 napig, mellyel szárazságstresszt idéztünk elő. Három napon át naponta mértük a fotoszintézisben bekövetkező változásokat, a 3. napon pedig az ionkiáramlást is. A Cd-stressz tanulmányozásához a növények egy részét a Cd kezelést megelőzően 1 napig 0,5 mM SA-val kezeltük (utána SA mentes tápoldatot használtunk), míg a növények egy része a Cd-mal egyidejűleg kapta a SA-t. A kezelést 0,5 mM koncentrációjú Cd-mal végeztük. A 24 órás Cd kezelést követően gyűjtöttünk mintát az analízisekhez illetve a Cd-tartalom meghatározáshoz. A fitokelatin szintézis enzimeinek vizsgálatához a növények egy részét 0,1 mM kadmium-nitráttal kezeltük, majd 1, 24 és 48 óra múlva mintát szedtünk az enzimaktivitás mérésekhez valamint a Cd-tartalom meghatározásához. Az endogén SA vizsgálatához ABA-kezelés és hideg hatására a növényeket 0,05 illetve 0,1 mM ABA-val kezeltük 1, 2 illetve 3 napig. A növények egy részét a 2. napot követően 1 napra 5 °C-os növénynevelő kamrába helyeztük. A 3 napos kezelés során naponta gyűjtöttünk mintát az analízisekhez, valamint mértük a klorofill tartalmat. A növények egy részét hosszabb ideig 5 °C-on hagytuk, hogy tanulmányozzuk az ABA hatását. Ezekből a növényekből ionkiáramlást mértünk 6 napos hidegkezelést követően. A szárazság- és sóstressz hatásának tanulmányozásához a növények egy részét 11 illetve 21 %-os (w/v) PEG6000-rel valamint 50 és 100 mM NaCl-dal kezeltük két napig, majd visszahelyeztük őket normál tápoldatba 1 hétre, hogy vizsgáljuk a helyreállást. Az analízisekhez a 2 napos kezelés során naponta, valamint az 1 hetes helyreállítás után gyűjtöttünk mintát. A Cd-kezelés hatásának vizsgálatához a 10 napos növények tápoldatát 0, 10, 25 és 50 μM koncentrációkban $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ -ot tartalmazóra cseréltük. A kezelés 7 napig tartott, mialatt a kontroll és kadmium kezelt növények tápoldatát kétnaponta cseréltük. Az SA-magáztatás hatásának vizsgálatához borsót (*Pisum sativum* L. 'Kelvedon') használtunk. A szemeket (100db/100 ml) oldat 1 napig áztattuk,

desztillált vízben, 0,1 mM illetve 0,5 mM SA oldatban. Ezt követően a magokat kerti föld, Vegasca és homok 3:1:1 arányú keverékébe ültették. Az így elültetett borsót 1 hétig neveltük Conviron PGR-15 típusú növény nevelőkamrában (Controlled Environment Ltd. Winnipeg, Canada), 22/20 °C-on 16/8 órás világos/sötét periódus mellett. A megvilágítás mértéke $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD, a páratartalom 75 % volt. Egy hét után szedtünk mintát az analízisekhez. A radioaktív kísérletekhez gyűrűben ^3H -mal jelölt SA-t használtunk a magáztatás során (296 kBq/100 ml). A növények egy részét termésig neveltük, majd mértük a növényenkénti magtömeget, illetve magszámot. A hidegstressz hatásának vizsgálatához kukoricanövényeket (*Zea mays* L., Norma hibrid) használtunk. A szemeket (100db/100 ml) oldat egy napig áztattuk, desztillált vízben, 0,1 mM illetve 0,5 mM SA oldatban. Ezt követően a magokat kerti föld, Vegasca és homok 3:1:1 arányú keverékébe ültették. A nevelési körülmények megegyeztek a borsónál leírtakkal. Egy hét után a növények egy részét 5 °C-ra helyeztük, majd 5 nap után szedtünk mintát az analízisekhez. A Cd-stressz kiváltotta hatások tanulmányozásához borsót (*Pisum sativum* L. 'Ran') és kukoricát (*Zea mays* L. 'Norma' hibrid) használtunk. A szemeket 6 órán át áztattuk desztillált vízben illetve 0,5 mM SA oldatban, majd desztillált vízzel nedvesített szűrőpapírrban csíráztattuk 3 napig 26°C-on. A növényeket főzőpohárban neveltük 22/18°C-on 16/8 órás fény-sötét periódus mellett Conviron PGR-15 típusú növénynevelő kamrában (Controlled Environments Ltd, Winnipeg, Canada) 12 napos korig a 4.1.1 pontban ismertetett módosított Hoagland-tápoldatban. A borsó növények egy része már a nevelés kezdetétől 1, 2 illetve 5 μM Cd-on, míg a kukorica 10, 15 illetve 25 μM Cd-on nőtt. A megvilágítás mértéke $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD, a relatív páratartalom 60% volt. A tápoldatokat kétnaponta cseréltük.

Ionkiáramlás mérése: Kukorica levélből 3 db 5 mm átmérőjű levélkorongot 1,5 ml ultratiszta vizet tartalmazó fiolába helyeztük és 1 órán át ráztattuk. Ezután

egy Automatic Seed Analyzer berendezéssel (ASA610, Agro Science Inc. USA) mértük az oldat konduktivitását, majd -80 °C-os fagyasztás után újra lemértük (100 %-osan roncsolt membrán). A méréshez használt ultratiszta vizet desztillált vízből állítottuk elő Milli-Q 50 (Millipore, USA) típusú berendezés segítségével.

Gyökér életképesség vizsgálat TTC-vel: Az átmosott gyökerekből 0,1 g mintát mértünk ki, melyeket 3 ml 0,6 vegyes %-os TTC oldatba (50 mM foszfát-puffer, pH 7,5) helyeztünk. A mintákat 24 óra elteltével desztillált vízzel leöblítettük, majd 5 ml etanolban 60 °C-on, 30 perc alatt kiextraháltuk a gyökerekből a keletkezett piros színű vegyületet, és ezt követően 485 nm-en fotometráltuk.

Lipid peroxidáció meghatározása: 0,2 g növényi mintát dörzsmozsárban 600 µl 0,1 %-os (w/v) TCA-val eldörzsöltünk, majd 12000 g-vel 10 percig centrifugáltuk. A felülúszó 300 µl-éhez 2 ml 0,5 % (w/v) TBA-t tartalmazó 20 %-os (w/v) TCA-t adtunk és az elegyet 90 °C-on 30 percig inkubáltuk. Az MDA tartalom meghatározása spektrofotometriásan, 532 nm-en történt, a 600 nm-en mért nem specifikus abszorpció figyelembevételével. A lipidperoxidok koncentrációját az MDA tartalomból a $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ extinkciós koefficiens segítségével számoltuk ki, és pmol g⁻¹ friss tömeg adtuk meg (Thomas és mtsai, 2004).

Klorofilltartalom mérése: A teljes klorofilltartalom meghatározásához SPAD-502 klorofill mérő (Minolta Camera Co., Ltd, Tokyo, Japan) berendezést használtunk.

Klorofill fluoreszcencia indukció mérése: A $\Delta F/F_m'$ klorofill fluoreszcencia indukciós paramétert ($\Delta F/F_m' = (F_m' - F_s)/F_m'$, ahol az F_m' a maximális, míg az F_s a steady state klorofill fluoreszcencia szinteket jelölik fény adaptált állapotban) Janda és mtsai (1994) által leírtak szerint PAM-2000 (Walz, Effeltrich, Németország) fluorométerrel 22°C-on, a növénynevelő kamrában mértük. A mérések a harmadik teljesen kifejlett levélen történtek.

A fotoszintetikus aktivitás mérése: A fotoszintetikus aktivitás mérése a növények legfiatalabb teljesen kifejlett levelein, nyitott rendszerű LI-6400 típusú infravörös gázanalizátorral (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) történt. Megvilágító fényforrásként a mérőfejhez csatlakoztatható 6400-02 LED lámpát (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA), a hőmérséklet szabályozására a beépített Peltier elemet használtuk. A méréseket szobahőmérsékleten (22 °C) végeztük. A különböző gázcsere paraméterek meghatározása von Caemmerer és Farquhar (1981) módszere szerint történt.

Antioxidáns enzimek kivonása és aktivitás mérése: 0,5 g növényi anyagot kvarchomokkal dörzsöltünk el 2,5 ml jéghideg 0,5 mM TRIS pufferben (pH 7,4), 3 mM MgCl₂ 5 mM aszkorbinsav és 1 mM EDTA jelenlétében dörzsmozsárban. A homogenátumot hűtött centrifugában 20 percig centrifugáltuk 15000 g-vel. A glutation-reduktáz aktivitását a friss, míg a további enzimeket a -20°C-on tárolt fagyasztott felülúszóból mértük. Az enzimaktivitásokat fotometriásan határoztuk meg (Shimadzu UV-VIS 160A). A kataláz aktivitását 240 nm-en mértük, a hidrogénperoxid fogyását nyomon követve Janda és mtsai (1999) által használt módszerrel. A gvajakol oxidációja nyomán bekövetkező abszorbancia növekedést 470 nm-en spektrofotométerrel nyomon követve mértük (Ádám és mtsai, 1995). Az aszkorbinsav fogyását 290 nm-en követtük nyomon (Janda és mtsai, 1999). A glutation-reduktáz aktivitásának meghatározásakor a 5,5'-ditio-bis-(2-nitro-benzoészav) redukcióját mértük 412 nm-en a Smith és mtsai (1988) által leírtak szerint. A glutation-S-transzferáz aktivitásának meghatározása 340 nm-en spektrofotometriásan Mannervik és Guthenberg (1981) módszere szerint történt.

Prolin tartalom meghatározása: A prolin tartalmat Bates és mtsai (1973) módszere alapján határoztuk meg 0,5 g növényi anyagot extraháltunk 10 ml desztillált vízben, majd ebből 2,5 ml-t reagáltattunk 3,4 ml ecetsavas ninhidrin

reagenssel (12,5 mg/ml). 5 ml toluollal kiextraháltuk majd 518 nm-en mértük spektrofotometriásan.

Kadmium tartalom meghatározása: A kadmium tartalmat Hegedűs és mtsai (2001) módszere alapján határoztuk meg ICAP-61E típusú atomabszorpciós készülékkel.

ACC és MACC tartalom meghatározása: Az ACC és MACC meghatározását Tari és Nagy (1994) szerint végeztük gázkromatográffal, melyhez 2 g növényi anyagot használtunk.

Poliaminmérés: A Poliamintartalom meghatározása Smith és Davies (1985) módszerével történt HPLC-vel.

SA-extrakció és mennyiségi analízis: A szalicilsav HPLC-s analízisét Meuwly és Métraux (1993), valamint Pál és mtsai (2005) által leírt módszer szerint végeztük.

γ -Glutamil-cisztein-szintáz és glutation-szintáz enzim aktivitásának mérése: γ -Glutamil-cisztein-szintáz és glutation-szintáz enzim aktivitását Kocsy és mtsai (2004) által leírtak szerint mértük 0,3 g levél, illetve 0,5 g gyökér felhasználásával HPLC-vel.

Fitokelatin-szintáz enzim aktivitásának mérése és fitokelatinok mennyiségi meghatározása: A fitokelatin-szintáz enzim aktivitását Chen és mtsai (1997) által leírt módszerrel végeztük.

Statisztikai analízis: Az eredmények 10 ismétlés átlagai a klorofill-*a* fluoreszcencia indukciós mérések és a klorofilltartalom esetében, 5 ismétlés átlagai az MDA tartalom meghatározása, és a HPLC-s analízisek során, 3–5 mérés átlagai az enzimaktivitási adatok, illetve a GC analízis eredményei. Mivel az általunk vizsgált paramétereket az öregedési folyamatok is befolyásolhatják (Prochazkova és mtsai, 2001), a paraméterek változásait az azonos napos

kontroll növényekben mért értékekhez hasonlítottuk. A szignifikancia vizsgálathoz Student-féle kétmintás t-próbát használtunk.

3. Eredmények

Jelen dolgozat keretében a különböző módon alkalmazott külsőleg adagolt SA szerepét tanulmányoztam abiotikus stresszfolyamatok során, valamint az endogén SA-szintben bekövetkezett változásokat vizsgáltam ezen stresszek hatására.

3.1. A külsőleg adagolt szalicilsav hatásai a stressztűrő képességre

Mivel először a hideg elleni védelemben mutattuk ki a SA védőhatását, ezért tovább tanulmányoztuk, hogy a milyen anyagcsere-folyamatok játszódhatnak le a fiatal kukoricanövényekben, amik a megnövekedett stresstoleranciáért felelősek lehetnek. Kimutattuk, hogy a tápoldathoz adagolt SA hatására megnövekedett a növények poliamin tartalma, mely a makromolekulák védelmében szerepet játszhat. Ez a megemelkedett poliamin-mennyiség egyrészt az SA hatására megnövekedett Put-szintből származott, valamint az SA kezelést követő hideg hatására a Spd is felhalmozódott. A tápoldathoz adagolt SA a hideg hatására bekövetkező ACC akkumulációt is csökkentette hasonlóan a hidegedzéshez. Tehát elmondhatjuk, hogy ebben az esetben a SA az edzéshez hasonló folyamatokat indított be a növényekben.

Ellentétben az alacsony hőmérséklettel ozmotikus stressz során a tápoldathoz adagolt 0,5 mM SA csökkentette a nettó fotoszintézist, a sztómaáteresztő-képességet, valamint fokozta a membránkárosodást fiatal kukoricanövényekben, s mintegy felerősítette a stressz hatását.

Ezután a SA Cd-stresszre kifejtett hatását vizsgáltuk. Első lépésben a nehézfém toxicitás kivédésében szerepet játszó enzimek aktivitásának változásait vizsgáltuk. Kimutattuk, hogy Cd hatására kukoricanövények gyökerében először a GS enzim aktivitása fokozódott már 1 óra elteltével, majd 1 nap után a γ ECS aktivitása is. A PCS enzim aktivitása kezdetekben nem változott, majd 2 nap után kismértékben csökkent a PC_2 mennyiségének felhalmozódásával párhuzamosan. A levélben ugyanakkor a PCS aktivitása, párhuzamosan a Cd megjelenésével a levélben, már 1 óra elteltével megemelkedett, míg a többi enzim aktivitása csak 1 nap után nőtt meg, majd 2 nap után kismértékű csökkenést tapasztaltunk. A továbbiakban a külsőleg adagolt SA hatását tanulmányoztuk. Kisebb mértékű Cd-felhalmozódást tapasztaltunk SA-kezelés hatására a kukoricanövények gyökereiben, míg a levelekben jobban akkumulálódott a Cd a SA-kezelt növényekben. Ennek ellenére a SA-kezelés a gyökerek életképességét csökkentette, míg a levelekben mérsékelte a membránkárosodás mértékét Cd-stressz folyamán. Gyökerekben a SA-kezelés fokozta a POD, APX és GR enzimek aktivitását, míg a levélben csak a GR enzim működésében okozott kismértékű emelkedést, valamint a fotoszintetikus elektrontranszportlánc működését is védte a Cd-mal együtt adagolt SA.

3.2. Az endogén szalicilsav-szint változása abiotikus stresszek folyamán

Az exogén SA hatásainak vizsgálata után áttértünk az endogén SA szintben bekövetkező változások tanulmányozására abiotikus stresszhatásra Hideg hatására kukoricanövényeknek csak a levelében nőtt meg a szabad SA-szint, viszont mind a levélben, mind a gyökérben megnőtt egy lehetséges prekursorának, az oHCA kötött formájának a mennyisége. Az ABA hatását is vizsgáltuk alacsony hőmérsékleten fiatal kukoricanövényekben. 0,05 illetve 0,1 mM ABA-kezelés csökkentette kukoricanövények klorofill tartalmát, de

mérsékelte a hideg okozta membránkárosodás mértékét. A gyökerekben fokozta a GR, GST és APX aktivitását, míg a levélben csak a GST aktivitása nőtt meg kismértékben. ABA-kezelés hatására mind a szabad, mind a kötött oHCA mennyisége megnőtt a növények gyökereiben, de hideg hatására lecsökkent. A levelekben nem tapasztaltunk változást. A szabad SA-szint nem változott ABA-kezelés hatására, a kötött SA mennyisége csak a levélben emelkedett meg, de hideg hatására lecsökkent a mennyisége.

Ozmotikus stressznek kitett növényekben (11 illetve 21 % PEG) a szabad SA-szintje megemelkedett a 21 %-os PEG hatására. A kötött SA-szintjében is csak a 21 %-os koncentrációnál tapasztaltunk emelkedést a kezelés alatt, míg a visszaállás során a 11 %-os PEG-gel kezelt növényeknél is megemelkedett a szintje. A szabad oHCA mennyisége csak a 21 %-os PEG-kezelés után nőtt meg, míg a kötött mennyisége mindkét PEG-kezelésnél megemelkedett és ez még kifejezettebb volt a 11 %-os PEG-nél a visszaállás alatt.

Sóstressz vizsgálata során kimutattuk, hogy az általunk használt 7 napos 50 illetve 100 mM NaCl-kezelés hatására valamint a visszaállás során gyökérben a POD és a GR, míg a levélben a GR és az APX aktivitása megemelkedett. A szabad SA mennyisége a 100 mM NaCl-kezelés és a visszaállás során megemelkedett a kukoricanövények gyökereiben, míg a levélben csak a visszaállás során. A kötött SA mennyisége nem változott szignifikánsan. Ezzel ellentétben a szabad oHCA szintje már a 100 mM-os NaCl-kezelés 3. napjától folyamatosan emelkedett és a visszaállás során ez még kifejezettebb volt. A gyökérben csak a visszaállás során tapasztaltunk növekedést. A kötött oHCA szintje nem változott. Ebből megállapíthatjuk, hogy itt az oHCA valószínűleg inkább antioxidánsként funkcionált, nem pedig a SA prekursoraként.

Cd-stressz során is vizsgáltuk az endogán SA, valamint oHCA változásait. 25, illetve 50 μ M Cd hatására kukoricanövények levelében megnőtt a szabad és a kötött SA és oHCA szint, míg a gyökérben csak a szabad oHCA szint emelkedett az 50 μ M Cd-kezelést követően.

3.3. A szalicilsavas magáztatás élettani hatásai

Ezek után áttértünk a gyakorlat számára jobban használható SA-magáztatásos kísérletekre. Kísérleteinket először borsó növényen végeztük. Kimutattuk, hogy borsómagvak 0,1, illetve 0,5 mM SA-áztatása növelte a csírázási százalékot, valamint a szemszámot és a szemtömeget, továbbá fokozta a POD aktivitást 1 hetes növények hajtásaiban, illetve az APX aktivitását az epikotilban. A kötött oHCA mennyisége minden növényi részben megnőtt a 0,5 mM SA-magáztatás hatására, míg a szabad oHCA csak az epikotilban volt kimutathatósági határ felett és a mennyisége nem változott a kezelés hatására. A szabad SA tartalom nagymértékben megemelkedett az epikotilban, míg a magban kisebb mértékű akkumulációt találtunk a SA-magáztatás hatására. A kötött SA főleg a magvakban halmozódott fel, de kismértékű növekedést az epikotilban és a gyökérben is tapasztaltunk. Hogy nyomonkövessük a magáztatás során használt SA-at tríciummal jelölt SA-t használtunk. Ennek alkalmazásával kimutattuk, hogy a magáztatáshoz használt SA főleg a magban található kötött frakcióban jelenik meg, és csak kismértékben az epikotilban. Az epikotilban található jelölt SA a növekedés mértékéhez képest kisebb arányú, tehát valószínűleg főleg a *de novo* szintézisből származik a borsó epikotilban felhalmozódott szabad SA.

A továbbiakban kukoricanövényekben vizsgáltuk a SA-magáztatás hatásait. Kimutattuk, hogy hatására megnőtt a Put mennyisége kukoricanövények levelében, valamint hideghatásra az SA magáztatott növények levelének cadaverin tartalma. A gyökérben a magáztatás hatására a Put, Spd és Spn mennyisége megemelkedett, de hideg hatására a kontroll szintjére esett vissza. A szabad oHCA mennyisége a SA-magáztatás hatására megemelkedett a kukoricanövények, levelében, gyökerében és a magban is. A gyökérben és a magban a hideghatás alatt is magasabb volt a szintje a kontrollhoz képest, míg a

levélben kicsit alacsonyabb, de ez nem az oHCA-szint csökkenésből adódott, hanem a kontroll növényekben hideghatásra történt oHCA akkumuláció miatt. A kötött oHCA csak a mavakban emelkedett meg a kezelés hatására és a hidegkezelés alatt is magasabb volt a szintje. A szabad és kötött SA mennyiségében hasonló változásokat tapasztaltunk, mint a kötött oHCA esetében.

Cd-stressz során is tanulmányoztuk a SA-magáztatás kiváltotta folyamatokat mind borsóban, mind kukoricában. Kimutattuk, hogy mindkét növényben csökkentette a lipidperoxidáció mértékét, mérsékelte a membránkárosodást, valamint gátolta a prolin akkumulációt. A szabad SA-szint a SA előkezelés hatására kismértékben megemelkedett, de a Cd koncentráció növekedésével csökkent, míg az SA-val nem előkezelt növényekben mind borsóban, mind kukoricában is csak később kezdett el csökkenni. A kötött SA mennyisége magasabb Cd-koncentrációknál mindkét növényben jelentősen megemelkedett, míg a SA-magáztatott növények esetében csak kismértékű növekedést tapasztaltunk.

Összegzésül megállapíthatjuk, hogy a SA-előkezelés védelmet nyújthat a növényeknek abiotikus stresszfolyamatok során, viszont a kezelés módja, időtartama, a kezelt növényi rész, a növény kora és állapota, valamint az adott abiotikus stressz fajtája és foka nagyban befolyásolja a SA által kiváltott hatást, mely akár káros is lehet a növényre, felfokozva a stresszszimptomákat.

4. Új tudományos eredmények

- Kimutattuk, hogy a tápoldathoz adagolt SA hidegstressz során poliaminok szintézisét indukálja, valamint, az edzéshez hasonlóan, csökkentette a hideg hatására bekövetkező ACC felhalmozódást kukoricanövényekben, mely a stressztűrőképesség fokozódására utal.

- Kimutattuk, hogy a tápoldathoz adagolt SA ozmotikus stressz során fokozta a membránkárosodást fiatal kukoricanövényekben, s mintegy felerősítette az ozmotikus stressz hatását.
- Kisebb mértékű Cd-felhalmozódást tapasztaltunk SA-kezelés hatására a kukoricanövények gyökereiben, azonban a gyökerek életképességét a SA-kezelés csökkentette, míg a levelekben mérsékelte a membránkárosodás mértékét.
- Kimutattuk, hogy mérsékelt NaCl-stressz hatására a szabad oHCA szintje már a kezelés 3. napjától folyamatosan emelkedett és a visszaállás során ez még kifejezettebb volt, míg a gyökérben csak a visszaállás során tapasztaltunk növekedést. Ezek a változások adaptációs folyamatokra és az oHCA antioxidáns szerepére utalnak.
- Tríciummal jelölt SA alkalmazásával igazoltuk, hogy a borsó magáztatáshoz használt SA főleg a magban található kötött SA frakcióban marad, és csak kismértékben jelenik meg az epikotilban. Az epikotilban található jelölt SA a SA-szint növekedésének mértékéhez képest kisebb arányú, tehát a borsó epikotilban felhalmozódott szabad SA valószínűleg főleg *de novo* szintézisből származik.
- Igazoltuk a SA magáztatás védőhatását Cd-stresszel szemben fiatal kukorica- és borsónövényekben. Ez a védőhatás kisebb mértékű lipidperoxidációban és membránkárosodásban, a fotoszintetikus és antioxidáns rendszer jobb működésében nyilvánult meg.

5. A tézisekben szereplő hivatkozások

- Ádám, A., Bestwick, C.S., Barna, B., Mansfield, J.W. (1995) Enzymes regulating the accumulation of active oxygen species during the hypersensitive reaction of bean to *Pseudomonas syringae* pv. phaseolica. *Planta* 197: 240-249.
- Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.B. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
- Chen J., Zhou J., Goldsbrough P.B. (1997) Characterization of phytochelatin synthase from tomato. *Physiol Plant* 101: 165-172.

- Hegedűs, A., Erdei, S., Horváth, G. (2001) Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. *Plant Sci* 160: 1085-1093.
- Janda, T., Szalai, G., Kissimon, J., Páldi, E. Marton, C., Szigeti, Z. (1994) Role of light intensity in the chilling injury of young maize plants studied by chlorophyll fluorescence induction measurements. *Photosynthetica* 30: 293-299.
- Janda, T., Szalai, G., Tari, I., Páldi, E. (1999) Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effect of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta* 208:175-180.
- Kocsy G., Szalai G., Galiba G. (2004): Effect of osmotic stress on glutathione and hydroxymethylglutathione accumulation in wheat. *J. Plant Physiol.* 161: 785-794.
- Mannervik, B., Guthenberg, C. (1981): Glutathione transferase (Human placenta). *Methods Enzymol.*, 77: 231-235.
- Meuwly, P., Métraux, J. P. (1993): *Ortho*-anisic acid as internal standard for the simultaneous quantitation of salicylic acid and its putative biosynthetic precursors in cucumber leaves. *Anal Biochem* 214: 500-505.
- Pál, M., Horváth, E., Janda, T., Páldi, E., Szalai, G. (2005): Cadmium stimulates the accumulation of salicylic acid and its putative precursors in maize (*Zea mays* L.) plants. *Physiol Plant* 125: 356-364.
- Smith, M.A., Davies, P.J. (1985) Separation and quantitation of polyamines in plant tissue by high performance liquid chromatography of their dansyl derivatives. *Plant Physiol* 78: 89-91.
- Smith, I.K., Vierheller, T.L., Thorne, C.A. (1988) Assay of glutathione reductase in crude tissue homogenates using 5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid). *Anal. Biochem* 175: 408-413.
- Tari I., Nagy M. (1994) Enhancement of extractable ethylene at light/dark transition in primary leaves of paclobutrazol-treated *Phaseolus vulgaris* seedlings. *Physiol Plant* 90: 353-357.
- Thomas, J.C., Perron, M., Davies, E.C. (2004) Genetic responsiveness to copper in the ice plant, *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Sci* 167: 259-266.
- von Caemmerer, S., Farquhar, G.D. (1981) Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 153: 376-387.

6. Publikációk

6.1. PhD fokozat megszerzése előtti fontosabb közlemények

1. Bartók, T., **Szalai, G.**, Lőrincz, Zs., Börcsök, G., Sági, F. (1994) High-speed RP-HPLC/FL analysis of amino acids after automated two-step derivatization with o-phthaldialdehyde/3-mercaptopropionic acid and 9-fluorenylmethyl chloroformate. *J. Liq. Chrom.* 17: 4391-4403.
2. Janda, T., **Szalai, G.**, Kissimon, J., Páldi, E. Marton, C., Szigeti, Z. (1994) Role of light intensity in the chilling injury of young maize plants studied by chlorophyll fluorescence induction measurements. *Photosynthetica*, 30: 293-299.
3. **Szalai, G.**, Janda, T., Páldi, E. and Szigeti, Z. (1996) Role of light in the development of post-chilling symptoms in maize. *J. Plant Physiol.* 148: 378-383.
4. Rácz, I., Kovács, M., Lásztity, D., Veisz, O., **Szalai, G.**, Páldi, E. (1996) Effect of short-term and long-term low temperature stress on polyamine biosynthesis in wheat genotypes with varying degrees of frost tolerance. *J. Plant Physiol.* 148: 368-373
5. Janda, T. **Szalai, G.**, Páldi, E. (1996) Chlorophyll fluorescence and anthocyanin content in chilled maize plants and after returned to a non-chilling temperature under various light conditions. *Biol. Plant.* 38: 625-627.
6. Páldi, E., Janda T., **Szalai, G.** (1997) Effect of low temperature on nucleic acid synthesis in winter wheat and barley. *Acta Agron. Hung.* 45: 215-221.

7. **Szalai, G.,** Janda, T., Bartók, T., Páldi, E. (1997) Role of light in changes in free amino acid and polyamine contents at chilling temperature in maize (*Zea mays* L.). *Physiol. Plant.* 101: 434-438.
8. Málly, J., **Szalai, G.,** Bartók, T., Stone, T.W. (1997) Serum amino acid levels as a possible diagnostic differentiation between essential tremor and Parkinsonian tremor. *Med. Sci. Res.* 25: 519-520.
9. Málly, J., **Szalai, G.,** Stone, T.W. (1997) Changes in the concentration of amino acids in serum and CSF of patients with Parkinson's disease. *J. Neur. Sci.* 25: 519-520.

6.1. PhD fokozat megszerzése utáni fontosabb közlemények

6.1.1. Lektorált folyóiratokban megjelent közlemények

1. Janda, T., **Szalai, G.,** Ducruet, J.-M., Páldi, E. (1998) Changes in photosynthesis in inbred maize lines with different degrees of chilling tolerance grown at optimum and suboptimum temperatures. *Photosynthetica* 35: 205-212.
2. Goicoechea, N., **Szalai, G.,** Antolin, M.C., Sanchez-Diaz, M., Páldi, E. (1998) Influence of arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on free polyamines and proline levels in water-stressed alfalfa. *J. Plant Physiol.* 153: 706-711.
3. Páldi E., **Szalai G.,** Janda T., Marton C. (1998) Az alacsony hőmérséklet hatása egyes N-tartalmú vegyületek szintézisére különböző hidegtűrésű beltenyésztett kukorica vonalakban. *Növénytermelés* 47: 483-490.
4. Páldi E., Janda T., **Szalai G.** (1998) Poliaminok mennyiségi változásai a vernalizáció alatt búzában (*Triticum aestivum* L.) *Növénytermelés* 47: 613-622.
5. Páldi E., **Szalai G.,** Janda T. (1999) Molekuláris biológiai teszt módszer a búza- és árpafajták fagyállóságának meghatározására. *Növénytermelés* 48: 25-31.
6. Janda, T., **Szalai, G.,** Tari, I., Páldi, E. (1999) Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta* 208: 175-180.
7. Janda T., **Szalai G.,** Giauffret C., Páldi E., Ducruet J.-M. (1999) The Thermoluminescence 'Afterglow' Band as a Sensitive Indicator of Abiotic Stresses in Plants. *Z. Naturforsch.* 54c: 629-633.
8. Kocsy, G., **Szalai, G.,** Vágújfalvy, A., Stéhli, L., Orosz, Gy., Galiba, G. (2000) Genetic study of glutathione accumulation during cold hardening in wheat. *Planta* 210 (2): 295-301.
9. Janda T., **Szalai G.,** Antunovics Zs., Horváth E., Páldi E. (2000) Effect of benzoic acid and aspirin on chilling tolerance and photosynthesis in young maize plants. *Maydica* 45: 29-33.
10. Kocsy, G., von Ballmoos, P., Suter, M., Rügsegger, A., Galli, U., **Szalai, G.,** Galiba, G., Brunold, C. (2000) Inhibition of glutathione synthesis reduces chilling tolerance in maize. *Planta*, 211: 528-536.
11. **Szalai G.,** Tari I., Janda T., Pestenáczy A, Páldi E. (2000) Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC and MACC contents in maize during chilling. *Biol. Plant.* 43: 637-640.
12. Janda, T., **Szalai, G.,** Páldi, E. (2000) Thermoluminescence investigation of low temperature stress in maize. *Photosynthetica* 38(4): 635-639.

13. Páldi E., **Szalai G.**, Janda T., Horváth E., Rácz I., Lásztity D. (2001) Determination of frost tolerance in winter wheat and barley at the seedling stage. *Biol. Plant.* 44: 145-147.
14. **Szalai, G.**, Janda, T., Páldi, E., Dubacq, J-P. (2001) Changes in the fatty acid unsaturation after hardening in wheat substitution lines with different cold tolerance. *J. Plant Physiol.* 158: 663-666.
15. Kocsy, G., Tóth, B., Berzy, T., **Szalai, G.**, Jednákovits, A., Galiba, G. (2001) Glutathione reductase activity and chilling tolerance are induced by a hydroxylamine derivative BRX-156 in maize and soybean. *Plant Sci.* 160: 943-950. **IF: 1,384**
16. Kocsy, G., von Ballmoos, P., Rüegsegger, A., **Szalai, G.**, Galiba, G., Brunold, C. (2001) Increasing the glutathione content in a chilling-sensitive maize genotype using safeners increased protection against chilling-induced injury. *Plant Physiol.*, 127: 1147-1156.
17. Kocsy, G., **Szalai, G.**, Galiba, G. (2002) Induction of glutathione synthesis and glutathione reductase activity by abiotic stresses in maize and wheat. *The Sci. World J.* 2: 1726-1732.
18. Tari, I., **Szalai, G.**, Lőrincz, Zs., Bálint, A. (2002) Changes in thiol content in roots of wheat cultivars exposed to copper stress. *Biol. Plant.* 45: 255-260.
19. Németh, M., Janda, T., Horváth, E., Páldi, E., **Szalai, G.** (2002) Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Sci.* 162: 569-574.
20. Horváth, E., Janda, T., **Szalai, G.**, Páldi, E. (2002) In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isoenzymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. *Plant Sci.* 163:1129-1135.
21. Horváth, E., **Szalai, G.**, Pál, M., Páldi, E., Janda, T. (2003) A szalicilsav szerepe az abiotikus stressztolerancia kialakulásában. *Bot Közlem.* 90 (1-2) 103-112.
22. Hörcsik T. Zs, **Szalai G.**, Pál M., Oláh V., Mészáros I., Lakatos Gy., Balogh Á. (2003): Fitokelatinok előfordulása *Chlorella pyrenoidosa* zöldalgában Cr(VI) stressz hatására. *Hidrológiai Közlöny* 84: 50-52.
23. Janda T., **Szalai G.**, Rios-Gonzalez K., Veisz O., Páldi E. (2003) Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. *Plant Sci.* 164: 301-306.
24. Horváth, E., **Szalai, G.**, Janda, T., Páldi, E., Rácz, I., Lásztity, D. (2003): Effect of vernalisation and 5-azacytidine on the methylation level of DNA in wheat (*Triticum aestivum* L., cv. Martonvásár 15). *Plant Sci.* 165: 689-692.
25. Kocsy G., **Szalai G.**, Sutka J., Páldi E., Galiba G. (2004) Heat tolerance together with heat stress-induced changes in glutathione and hydroxymethylglutathione levels is affected by chromosome 5A of wheat. *Plant Science* 166: 451-458.
26. Kocsy G., Kobrehel K., **Szalai G.**, Duviau M.-P., Buzás Z., Galiba G. (2004): Thioredoxin *h* and glutathione as abiotic stress tolerance markers in maize. *Env. Exp. Bot.* 52: 101-112.
27. Kocsy G., **Szalai G.**, Galiba G. (2004): Effect of osmotic stress on glutathione and hydroxymethylglutathione accumulation in wheat. *J. Plant Physiol.* 161: 785-794.
28. Janda T, **Szalai G.**, Papp N, Pál M, Páldi E (2004): Effects of freezing on thermoluminescence in various plant species. *Photochem. Photobiol.* 80: 525-530.
29. **Szalai G.**, Pál M., Horváth E., Janda T., Páldi E. (2005) Investigations on the adaptability of maize lines and hybrids to low temperature and cadmium *Acta Agron Hung* 53: 183-196.
30. Janda T., Kósa E., Pintér J., **Szalai G.**, Marton L. Cs., Páldi E. (2005) Antioxidant activity and chilling tolerance of young maize inbred lines and their hybrids. *Cereal Research Communications* 33: 541-548.

31. Kocsy G., Laurie R, **Szalai G**, Szilagyi V, Simon-Sarkadi L, Galiba G, de Ronde JA (2005) Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiol. Plant.* 124: 227-235.
32. Pál M., Horváth E., Janda T., Páldi E., **Szalai G.** (2005) Cadmium stimulates the accumulation of salicylic acid and its putative precursors in maize (*Zea mays* L.) plants. *Physiol. Plant.* 125: 356-364.
33. Pál M., Horváth E., Janda T., Páldi E., **Szalai G.** (2006) Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. *J Plant Nutr Soil Sci* 169: 239-246.
34. Apostol, S., **Szalai, G.**, Sujbert, L., Popova, LP, Janda, T. (2006) Non-invasive monitoring of the light-induced cyclic photosynthetic electron flow during cold hardening in wheat leaves. *Z. Naturforsch.* 61c: 734-740.
35. Horváth E., Pál M., **Szalai G.**, Páldi E., Janda T. (2007) Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Biol Plant* 51: 480-487
36. Horváth, E., **Szalai, G.**, Janda, T. (2007) Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signalling. *J Plant Growth Regul* 26: 290-300.
37. Janda, T., **Szalai, G.**, Leskó, K., Yordanova, R., Apostol, S., Popova, L. (2007) Factors contributing to the enhanced freezing tolerance in wheat during frost hardening in the light. *Phytochemistry* 68: 1674-1682.
38. Pál M., Leskó K., Janda T., Páldi E., **Szalai G.** (2007) Cadmium-induced changes in the membrane lipid composition of maize plants *Cereal Res Comm* 35: 1631-1642.
39. Janda, T., Cséplő, M., Németh, Cs., Vida, Gy., Pogány, M., **Szalai, G.**, Veisz, O. (2008) Combined effect of water stress and infection with the necrotrophic fungal pathogen *Drechslera tritici-repentis* on growth and antioxidant activity in wheat. *Cereal Res Comm* 36: 53-64.
40. Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., **Szalai, G.**, Popova, L. (2008) Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *J. Plant Physiol.* 165: 920-931.
41. Rácz, I., Páldi, E., **Szalai, G.**, Janda, T., Pál, M., Lásztity, D. (2008) Effect of S-methylmethionine on membrane integrity in higher plants exposed to low temperature stress. *J. Plant Physiol.* 165:1483-1490.
42. Kellős T., Tímár I., Szilágyi V., **Szalai G.**, Galiba G., Kocsy G. (2008) Various stress hormones and abiotic stresses differentially affect antioxidants in maize lines depending on their sensitivity. *Plant Biol.* 10: 563-572.
43. **Szalai, G.**, Kellős, T., Galiba, G., Kocsy, G. (2009) Glutathione as an Antioxidant and Regulatory Molecule in Plants Under Abiotic Stress Conditions *J Plant Growth Regul*, 28: 66-80.
44. **Szalai, G.**, Janda, T. (2009) Effect of Salt Stress on the Salicylic Acid Synthesis in Young Maize (*Zea mays* L.) Plants. *J Agronomy and Crop Science* 195: 165-171.
45. Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., **Szalai, G.**, Janda, T. (2009) Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings *Plant Physiol Biochem* 47: 227-231.
46. **Szalai, G.**, Pap, M., Janda, T. (2009) Light-induced frost tolerance differs in winter and spring wheat plants *J Plant Physiol* 166: 1826-1831.

6.2.1. Könyvfejezet

1. Janda, T., Horváth, E., **Szalai, G.**, Páldi, E. (2007) Role of salicylic acid in the induction of abiotic stress tolerance. In: Hayat, S., Ahmad, A. (eds.) *Salicylic Acid: A Plant Hormone*. Springer, The Netherlands 91-150.

6.2.3. Fontosabb szerkesztett konferenciakiadványok

1. Janda, T., **Szalai, G.**, Antunovics, Zs. Ducruet, J.-M. and Páldi, E. (1998) Effects of salicylic acid and related compounds on photosynthetic parameters in young maize (*Zea mays* L.) plants. In: Garab, G. (ed.) *Photosynthesis: Mechanisms and effects*. Kluwer Acad. Publ. pp. 3869-3872.
2. **Szalai, G.**, Janda, T., Bencze, S., Harnos, N., Veisz, O., Páldi, E. (1999) Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat plants during frost hardening. In: *Crop Development for Cool and Wet Climate of Europe* (Sanchez-Diaz, M., Irigoyen, J.J., Aguirreolea, J. and Pithan, K eds.) EC, Brussels, Belgium pp. 368-375.
3. Páldi, E., **Szalai, G.**, Horváth, E., Janda, T. (2000) Recent advances in cold tolerance research in maize. In: *Crop Development for Cool and Wet Climate of Europe* (G. Parente and J. Frame eds.) EC, Brussels, Belgium pp. 79-84.
4. Janda, T., Ducruet, J.-M., **Szalai, G.**, Horváth, E., Páldi, E. (2000) Thermoluminescence investigation of low temperature stress in maize. In: *Crop Development for Cool and Wet Climate of Europe* (G. Parente and J. Frame eds.) EC, Brussels, Belgium pp. 85-89.
5. **Szalai, G.**, Tari, I., Janda, T., Horváth, E., Páldi, E. (2000) Salicylic acid may decrease chilling-induced ACC accumulation in maize. In: *Crop Development for Cool and Wet Climate of Europe* (G. Parente and J. Frame eds.) EC, Brussels, Belgium pp. 137-141.
6. Janda T., **Szalai G.**, Rios-Gonzalez K., Veisz O., Páldi E. (2002) Correlation between frost tolerance and antioxidant activities in cereals. *Acta Biol. Szeged* 46: 67-69.
7. Horváth E., **Szalai G.**, Pál M., Páldi E., Janda T. (2002) Differences between the catalase isozymes of maize (*Zea mays* L.) in respect of inhibition by various phenolic compounds. *Acta Biol. Szeged* 46: 33-34.
8. Horváth E., **Szalai G.**, Janda T., Páldi E., Rácz I., Lásztity D. (2002) Effect of vernalisation and azacytidine on the DNA methylation level in wheat (*Triticum aestivum* L. Cv. Mv 15). *Acta biol. Szeged* 46: 35-36.
9. Pál M., **Szalai G.**, Horváth E., Janda T., Páldi E. (2002) Effect of salicylic acid during heavy metal stress. *Acta Biol. Szeged* 46: 119-120.
10. **Szalai G.**, Janda T., Golan-Goldhirsh A., Páldi E. (2002) Effect of Cd treatment on phytochelatin synthesis in maize. *Acta Biol. Szeged* 121-122.
11. Tari, I., Csiszár, J., **Szalai, G.**, Horváth, F., Pécsváradi, A., Kiss, G., Szepesi, Á., Szabó, M., Erdei, L. (2002): Acclimation of tomato plants to salinity stress after salicylic acid pre-treatment. *Acta Biol. Szegediensis*, 46: 55-56.

12. **Szalai G.**, Gyetvai E., Lásztity D., Rácz I., Pál M., Horváth E., Janda T., Páldi E. (2003) Kukorica vonalak toxikus fémekkel és alacsony hőmérséklettel szembeni adaptációs képességének tanulmányozása. In: (szerk. Nagy J.): Kukoricakonzorcium: Kukorica hibridek adaptációs képességének és termésbiztonságának javítása. DE ATC, Debrecen. pp. 24-30.
13. Pál M., **Szalai G.**, Horváth E., Janda T., Páldi E. (2003) Szalicilsav hatása kadmiumstressz során kukorica növényekben. In: (szerk. Csorba Zs., Jolánkai P., Szöllősi G.) III. Növénytermesztési Tudományos Nap. Budapest. pp. 411-414.
14. **Szalai G.**, Janda T., Páldi E. (2003) Fitokelatinok bioszintézise kukorica növényben kadmium stressz során. In: (szerk. Csorba Zs., Jolánkai P., Szöllősi G.) III. Növénytermesztési Tudományos Nap. Budapest. pp. 198-201.
15. Páldi E., **Szalai G.**, Kocsy G., Marton L. Cs., Pintér J., Horváth E., Janda T. (2003) A kukorica (*Zea mays* L.) hidegtűrésének élettani és biokémiai alapjai. (Szerk: Marton L. Cs., Árendás T.) 50 éves a magyar hibrid kukorica. Jubileumi tudományos ülés. pp. 253-258.
16. Páldi E., **Szalai G.**, Janda T. (2003) Alacsony hőmérséklet hatása gazdasági növények anyagcseréjére. (Szerk.: Jávor András) Növényi élet és a stressz. pp. 53-60.
17. **Szalai G.**, Páldi E., Janda T. (2005) Effect of salt stress on the endogenous salicylic acid content in maize (*Zea mays* L.) plants. *Acta Biol. Szegediensis* 49: 47-48.
18. Janda T., Kósa E. I., **Szalai G.**, Páldi E. (2005) Investigation of antioxidant activity in maize during low temperature stress. *Acta Biol. Szegediensis* 49: 53-54.
19. Pál M., Horváth E., Janda T., Páldi E., **Szalai G.** (2006) The effect of cadmium stress on phytochelatin, thiol and polyamine content in maize. *Cereal Res Comm* 34: 65-68.
20. Popova LP, Krantev A, Yordanova R, Janda T, **Szalai G.** (2007) Stress signaling role of salicylic acid to cadmium-induced oxidative stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 29: pp. 26-27. Janda T, Pap M,
21. **Szalai G.**, Pap M, Janda T (2008) Role of light in freezing tolerance in wheat. *Acta Biologica Szegediensis* 52: pp. 89-90.
22. **Szalai G.**, Janda T (2009) Néhány védekező mechanizmus kukoricánövényben sóstressz során. In: Matúz J, Veisz O (szerk) Hagyomány és haladás a növénytermesztésben, pp. 457-463.

6.2.4. Népszerűsítő közlemények

1. Janda T, **Szalai G.**, Páldi E (2001) Új módszer a növényi stressztűrés-képesség vizsgálatára. MartonVásár - Az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének és Kísérleti Gazdaságának Közleményei 2001/1: p. 24.
2. **Szalai G.**, Janda T (2002) Ahol a sivatag kivirágzik. MartonVásár - Az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének és Kísérleti Gazdaságának Közleményei 2002/2: 22-24.