

A kertészeti és mezőgazdasági növények termőképességét a környezeti biotikus és abiotikus stresszhatások nagymértékben befolyásolják. Az abiotikus környezeti stressz, mint például a szárazság, a nagy sótartalom, a magas és alacsony hőmérséklet a talaj ásványianyag- illetve szennyező nehézfém-tartalma a növények anyagcsere-folyamatait jelentősen megváltoztatják.

Ismert tény, hogy az előbb említett stresszfaktorok között kiemelkedő szerep jut a toxikus elemek által, a növényeket érő károsodásoknak. Az urbanizáció eredményeként, a sok esetben gondatlanságból vagy akár a körültekintő emberi tevékenység elkerülhetetlen mellékhatásaként okozott talaj- és levegőszennyezés jelentős rizikófaktor a kertészeti és a mezőgazdasági növénytermelésben. Egyes elemek, pl. a réz, cink, kis koncentrációban esszenciálisak a növények számára és csak nagyobb koncentrációkban okoznak károsodásokat, míg mások, így a kadmium, a higany stb. már igen kis koncentrációban is toxikusak lehetnek.

Kutatási eredmények igazolják, hogy a stresszhatásokra kialakuló változások oxidatív mikrokörnyezetet alakítanak ki az élő szervezetekben, így a növényi sejtekben is. A stresszválasz során mérhető változások következnek be számos enzim aktivitásában, és hasonló módon számos endogén vegyület mennyiségében és minőségében is.

A különböző stresszhatások kivédése érdekében fölmerült, hogy a humán gyógyászatban hasonló módon, a kutatók különböző, pótlólagosan adagolt/kijuttatott "gyógyhatású" adalékanyagokkal próbálják a stresszhatást csökkenteni. A titán-aszkorbát korábban leírt kedvező élettani hatása mellett kíváncsiak voltunk arra, hogy más elemek pótlólagos adagolásával csökkenthető-e a toxikus elemek okozta károsodások.

Kutatócsoportunk hosszú ideje foglalkozik a különböző ásványi anyagok, fémionok fiziológiai hatásaival. Jelen pályázatban a korábban már vizsgált titán-aszkorbát hatásmechanizmusának vizsgálatát folytattuk, továbbá a szinte teljesen új megközelítésnek tekinthető cirkónium-aszkorbát esetlegesen kedvező hatását igyekeztünk feltérképezni. Foglalkoztunk továbbá a magnézium Al-stresszel szembeni védőhatásával, valamint a stressznek az általunk is bizonyított módon kadmiummal és ólommal szemben rendkívül ellenálló *Ginkgo biloba* ásványi elemösszetételével és ennek lehetséges humán gyógyászatbeli felhasználásával.

Az analitikai vizsgálatok során a stresszhatásra megváltozó enzimaktivitások változását, köztük a polifenoloxidáz (PPO), gvajakol-peroxidáz (POD), cataláz (CAT), aszkorbinsav-peroxidáz (APX), glutation-reduktáz (GR), néhány endogén vegyület (aminosavak, biogén aminok, szénhidrátfrakciók, fenolos vegyületek) minőségi és mennyiségi meghatározását végeztük el. Vizsgálatainkat kiegészítettük néhány, a növény élettani folyamatait jellemző paraméter vizsgálatával (morfológiai paraméterek, növekedés, csírázási erély, klorofilltartalom) is, a növényi elemvizelések (ICP) mellett.

Eredményeinkről hazai és nemzetközi konferenciákon számoltunk be, 4 db. IF-os, 1 db. angol nyelvű cikk, 14 db. konferencia kiadvány, 13 db. nyelvű konferencia összefoglaló jelent meg munkánkból.

Jelentősnek tartom, hogy a pályázatban résztvevők közül 2 sikeres PhD védés történt a témában, illetve egy dolgozat még folyamatban van. Kutatásaink tovább folytatódnak, jelenleg 4 diplomázó hallgató foglalkozik a cirkónium-aszkorbát stresszélettani folyamatokra kedvező élettani hatásával.

A kadmium okozta nehézfémstressz vizsgálata

A kadmium nehézfém okozta stresszélettani hatások feltérképezését két eltérő szárazságtűrésű búzafajtával [*Triticum aestivum* L. cv. Chinese Spring (CS; mérsékelten toleráns) és Cappelle Desprez (CD; érzékeny)] végzett kísérletekkel kezdtük meg, illetve folytattuk a több éve folyó kutatási programunkat. A feles Hoagland-tápoldatban, ellenőrzött körülmények között, fitotronban 4 hétig nevelt növényeket a tápoldatba adagolt 10^{-7} M és 10^{-3} M kadmium koncentrációkkal 7 napos stresszkezelésnek vetettük alá, amit 7 napos regenerációs szakasz követett kontroll tápoldatban. Mintavétel a 7 napos stressz-kezelés és a 7 napos regenerációs szakasz végén történt.

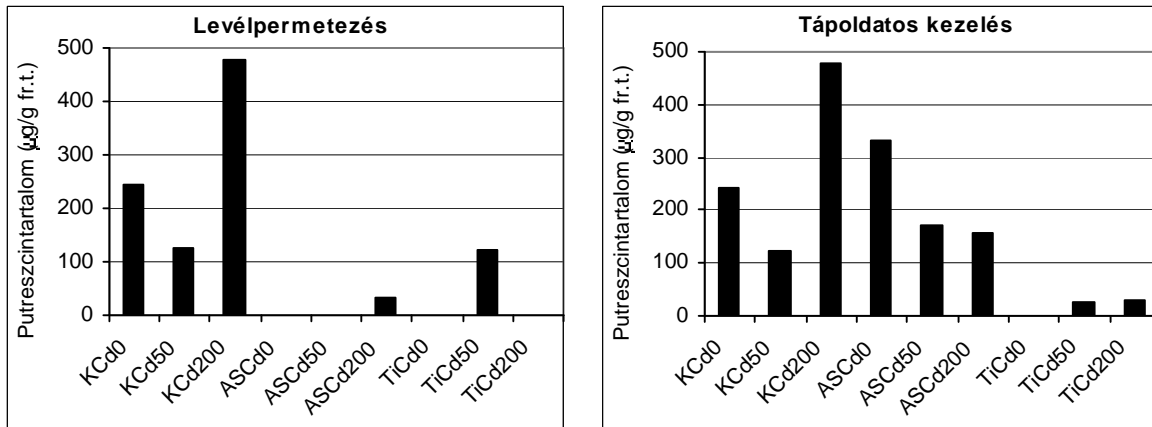
A kadmiumkezelés a búzanövények növekedésének csökkenéséhez és sárgulásához vezetett. A kadmiumkezelés hatására a biomassza csökkenése volt kimutatható, amit a friss tömegre és a száraz tömegre vonatkoztatott eredmények is megerősítettek. A szárazanyag-tartalom mindkét fajtában a nagyobb Cd-koncentrációnál növekedett szignifikánsan mind a stresszkezelést, mind a regenerációt követően, és a növekedés a mérsékelt toleráns fajtában nagyobb mértékű volt, mint az érzékenyben.

A szabad aminosavak közül a stresszjelzőként jól ismert prolin (Pro), a poliaminok közül a putreszcin (Put) és a spermidin (Spd) koncentrációjának változása is alkalmasnak bizonyult a két eltérő szárazságtűrésű búzafajta megkülönböztetésére. A 10^{-3} M Cd-koncentrációnál a CS 61-szer több prolint halmozott fel a levelekben, mint a CD a regenerációs szakaszban. A kadaverin, a spermin és a tiramin jellemzően a levelekben fordult elő, a gyökerekben mennyiségük többnyire a kimutatási határ alatt volt. A 10^{-3} M Cd-stressz következtében a mérsékelt toleráns fajta az antioxidáns védekezőrendszer (POD, APX, GR, fenolos vegyületek) indukciója folytán sokkal hatékonyabb módon semlegesítette az aktív oxigénformákat, mint az érzékeny. Az antioxidáns hatású fenolos vegyületek mennyiségi növekedése volt tapasztalható mindkét fajta levelében és gyökerében, főként a nagyobb Cd-koncentrációnál. A 7 napos 10^{-3} M Cd-kezelést követően a mérsékelt toleráns fajta levelében és az érzékeny fajta gyökerében növekedett meg legnagyobb mértékben az összes fenol-tartalom. A regeneráció során a két fajta gyökerében ellentétes változások voltak megfigyelhetők a nagyobb Cd-koncentrációnál a kezelés utáni állapothoz viszonyítva.

A növények kadmium-tartalmára vonatkozóan megállapítottuk, hogy a gyökerek kadmium-tartalma egy nagyságrenddel meghaladta a levelekét. A szárazságra érzékeny fajta kadmium-tartalma minden esetben nagyobb volt, mint a mérsékelt toleránsé. Eredményeink igazolták, hogy a szárazsággal szemben ellenállóbb búzafajta kadmiummal szemben is nagyobb tűrőképességgel rendelkezik, és e keresztolerancia háttérében meghatározó szerep jut a növények biológiailag aktív komponenseinek.

A titán-aszkorbát hatása a növények kadmiumstresszel szembeni érzékenységére / toleranciájára

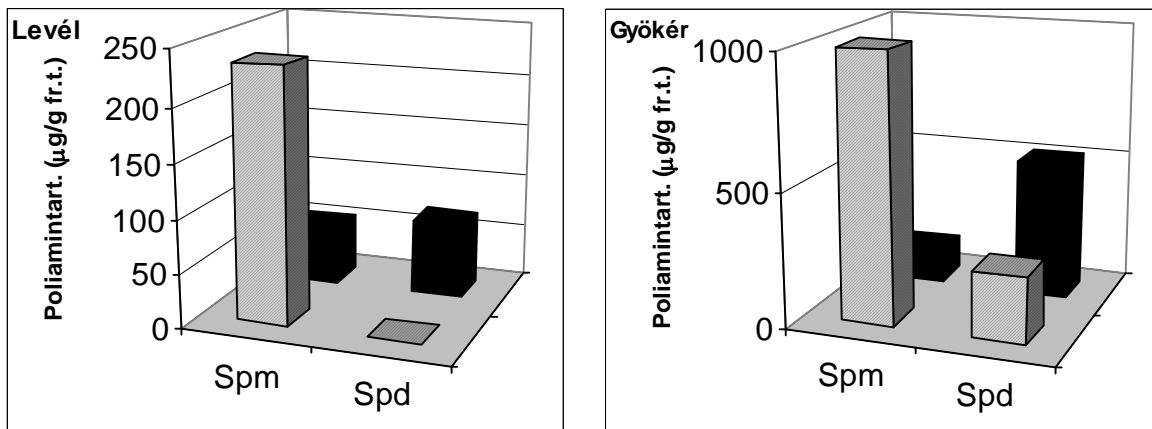
Vizsgálataink folytatásaként arra kerestünk választ, hogy a nehézfémkezelések korábbiakban megismert káros hatásai mérsékelhetők-e bizonyos mikroelemek kiegészítő kijuttatásával. A négynapos árpa csíranövények nehézfémkezelését 0, 50 és 200 μM CdCl_2 koncentrációjú, kétszeresére hígított Hoagland-tápoldaton végeztük el. Az 5 $\mu\text{g/ml}$ Ti-aszkorbátos kezelést a kezelőoldathoz adagolva, illetve a csírázást követő 3. és 7. napon végzett levélpermetezéssel hajtottuk végre. A kontroll növényeket hasonló koncentrációjú K-aszkorbát oldattal (AS) kezeltük. Méréseinkhez az árpanövény gyökerét és primer leveleit használtuk fel a 10 napos kezelést követően. A gyökerekben mindkét Ti-aszkorbátos kezelés esetén igen alacsony putreszcin-tartalom volt mérhető (1. ábra).



1. ábra. Putreszcintartalom változása a kadmiom- és Ti-kezelt árpa csíranövények gyökerében. **KCd0**: kontroll; **KCd50**: 50 µM CdCl₂; **KCd200**: 200 µM CdCl₂, **ASCd0**: AS-kezelt kontroll, **ASCd50**: AS+50 µM CdCl₂, **ASCd200**: AS+200 µM CdCl₂, **TiCd0**: titánkezelt kontroll, **TiCd50**: Ti+50 µM CdCl₂, **TiCd200**: Ti+200 µM CdCl₂.

A szabad Spm mennyisége csökkent, vélhetőleg a kötött és konjugált formák javára. A spermidin (Spd) mennyisége levélben és gyökérben egyaránt növekszik mind a tápoldatos kezelés (2. ábra), mind a levépermetezés esetén, ami a Put átalakításának megnövekedett intenzitásával állhat kapcsolatban. Számos adat arra utal, hogy a stresszhatásnak kitett toleráns növények spermidin- és spermin- (Spm) tartalma megnövekszik, míg Put-tartalmuk csökken; ezzel szemben az érzékeny növények a putreszcint nem képesek hosszabb szénláncú poliaminokká (Spd és Spm) átalakítani.

A kadaverin mennyisége a Ti-aszkorbátos kezelés hatására megnövekedett, ami kapcsolatban állhat a csökkent putreszcint-tartalommal.



2. ábra. A spermidin és spermin mennyiségének változása 50 mM CdCl₂-kezelés mellett aszkorbinsavas (▨) illetve titán-aszkorbátos (■) tápoldattal kezelt növények levelében és gyökerében.

A kezelések több esetben jelentős POD-aktivitásemelkedést okoztak, ami a ferroionok Ti által indukált intracelluláris felhalmozódásának következménye lehet, ugyanakkor a poliamin-fahéjsav konjugátumokat a POD enzim szubsztrátként hasznosíthatja. A gyökerek CAT-aktivitása enyhe növekedést mutatott Ti-ASC kezelés hatására. Az APX- és GR-aktivitás változatlan volt a Ti-aszkorbáttal permetezett árpanövények levelében, ugyanakkor a gyökerekben mindkét enzim

aktivitását jelentősen megnövelte, ami a Ti hajtásból gyökérbe történő gyors transzlokációjára utal árpa esetében.

A Ti-ASC növényi fejlődésre és a stressztűrő képesség fokozására kifejtett kedvező hatása igazolódott, így további vizsgálatainkkal az ezen hatás háttérében álló fiziológiai okok minél részletesebb megismeréséhez szeretnénk volna hozzájárulni. A Ti-ASC-tal kezelt búza csíranövények levélfehérjéit SDS-PAGE gélelektroforézissel választottuk szét. Az egyes, Coomassie BB festékkel megfestett frakciók kvantifikálása denzitometráással történt. A K-ASC kezelés hatására a Rubisco enzim mennyiségében szignifikáns mértékű növekedés jelentkezett, amit a Ti-ASC kezelés tovább fokozott, jóllehet ez a növekedés nem bizonyult szignifikánsnak.

A fotoszintetikus pigmentek (összes karotinoid és klorofill) mennyiségében, valamint a fotoszintézis során keletkező szénhidrát metabolitok (glükóz, fruktóz és szacharóz) mennyiségében a Ti-ASC hatására a K-ASC kontrollhoz képest szintén kismértékű, nem szignifikáns emelkedést mértünk. Eredményeink szerint a Ti kedvező fiziológiai hatása –legalább is részben– a felépítő anyagcsere-folyamatok számos szintjén megvalósuló, kismértékű, de együttesen fennálló kedvező hatásokra vezethető vissza.

A cirkónium-aszkorbát hatása a növények kadmiumstresszel szembeni érzékenységére / toleranciájára

Mivel a Ti kedvező hatását számos kísérlet igazolta, vizsgálatainkat kiterjesztettük a titánhoz hasonló elektronszerkezetű, ismert biológiai funkcióval nem rendelkező cirkónium magasabb rendű növények stresszreakcióira gyakorolt hatására. A cirkónium Földünk egyik gyakran előforduló féme, élettani hatásáról mégis keveset tudunk. Korábbi kísérletek arra utaltak, hogy a zöldség- és élesztőtörzsekre kedvező hatása van. Vizsgálatainkhoz egy vízdoldható, komplex vegyületet, a Zr-aszkorbátot (Zr-ASC), használtuk. Knopp-oldatban nevelt búzanövényeket (*Triticum aestivum* L. Mv. 20) kezeltünk. Vizsgálataink első lépésében azt kellett fölmérni, hogy a Zr-ASC önmagában milyen hatást gyakorol a növényekre.

Tisztáztuk a fitotoxicitási küszöbértéket, és megállapítottunk egy koncentráció-tartományt, amelyen belül a Zr-ASC több esetben kedvező hatást gyakorolt néhány vizsgált paraméterre (csírázási százalék, hajtás- és gyökérnövekedés). A 10 és 33 μM -os Zr-ASC kezelés szignifikánsan fokozta a növények hajtás- és gyökérnövekedését. A növények klorofilltartalma 55 μM Zr-ASC hatására 30 %-os növekedést mutatott, és csak az 550 μM kezelés hatására mértünk a kontrollhoz képest csökkent klorofilltartalmat. A 100 és 550 μM Zr-ASC kezelés hatására a vizsgált mikroelemek (B, Cu, Fe, Mn) koncentrációja megnőtt a gyökérben.

Az elemkoncentrációban tapasztalt változás a Zr toxikus mennyiségével van összefüggésben; a toxikus koncentráció hatására a gyökérmembrán olyan mértékben károsodik, hogy a külső oldatban levő mikroelemek teljes egészében bejuthatnak a sejtbe, s a gyökérben mérhető koncentrációérték ennek megfelelően módosul.

A Zr-ASC kezelés hatására mind a gyökér, mind a levél összaminosav tartalma megnőtt, a növekedés mértéke 10 és 33 μM Zr-ASC kezelés hatására volt a legnagyobb mértékű. A kezelés hatására az aminosavkomponensek egymáshoz viszonyított aránya is megváltozott.

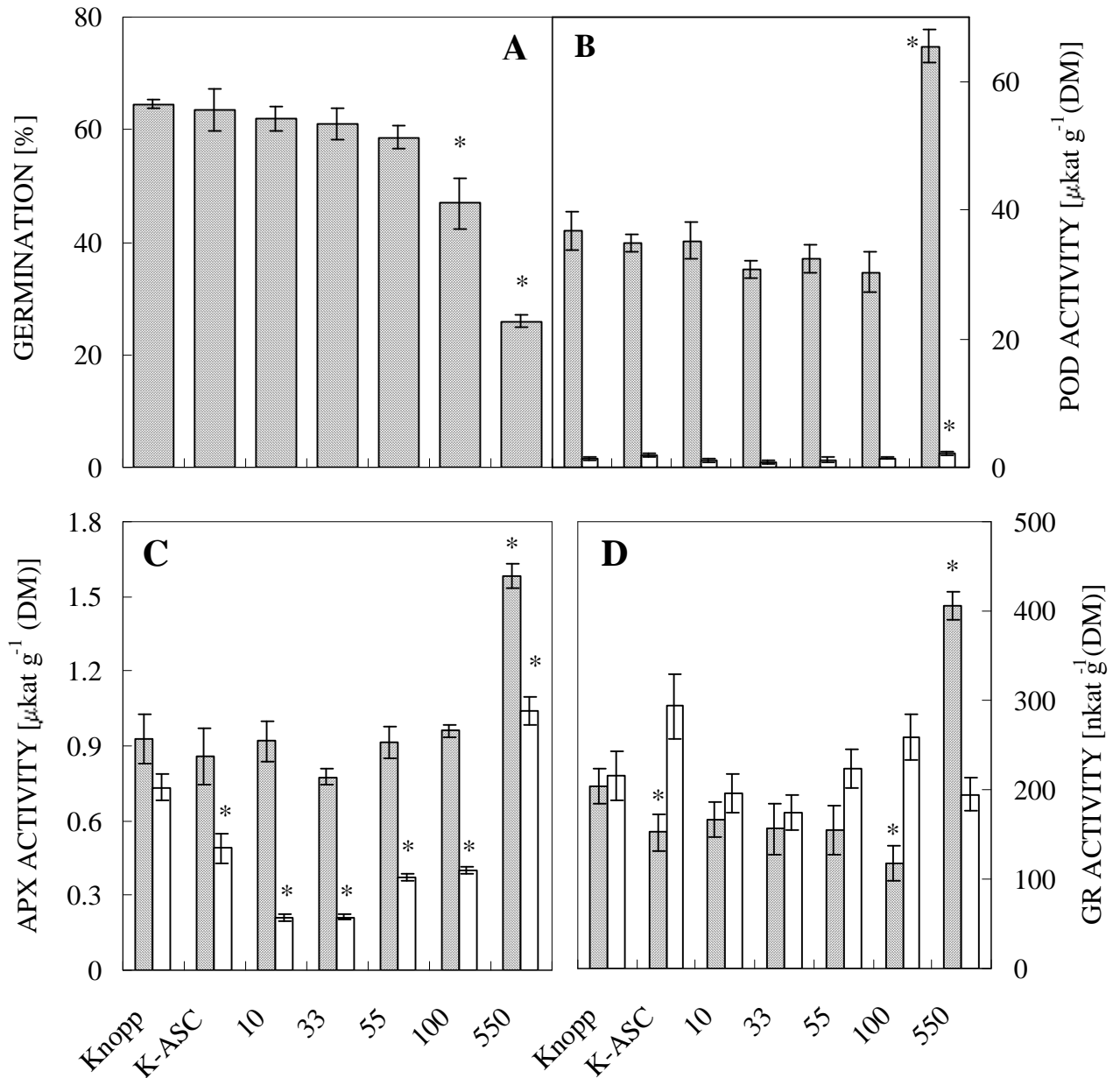
A növényt érő stresszhatásra, védekező reakcióként a növények összfenol-tartalmuk növekedésével reagálnak. A búza csíranövény levelében (100, 550 μM Zr hatására), és a gyökérmintákban az összfenol-tartalom szignifikánsan csökken, a levélminták esetében 33 és 55 μM Zr-ASC kezelés pedig szignifikáns növekedést idéz elő. Búza csíranövényekben, mind a gyökérben, mind a levélben a kadmiumkezelésre megváltozó antioxidáns hatású enzimrendszer (POD, APX és GR) tagjainak aktivitásemelkedése alapján bebizonyosodott, hogy a cirkónium csak a 100 μM Zr-ASC koncentrációt jelentősen meghaladó kezelés esetén volt toxikus. A POD aktivitásnövekedése és az összfenoltartalom csökkenése szoros összefüggést mutatott, aminek magyarázata lehet, hogy a fenolos vegyületek szubsztrátjai a lignin bioszintézisben résztvevő peroxidáz izoenzimeknek. A ligninbioszintézis mintegy fizikai védelmet jelenthet a fémionok külső

oldatból gyökérsejtekbe történő belépése ellen, ahogyan azt korábban nikkel és kadmium esetében is leírták. A lignin akkumulációjával azonban a sejtfal merevvé válik, ami megmagyarázza a gyökérnövekedés 100 és 550 μM Zr hatására kialakuló gátlását. Az antioxidáns hatású enzimek aktivitása a 100 μM koncentrációérték alatt változatlan volt, ami azt mutatja, hogy az ilyen erősségű kezelések mellett intracellulárisan felhalmozódó Zr^{4+} ionok nem okoznak oxidatív károsodást sem a hajtás, sem a gyökér sejtjeiben.

A továbbiakban a Zr-ASC hatását 200 μM CdCl_2 -oldattal kezelt búzanövényeken vizsgáltuk. Ezt a Cd-koncentrációt azért választottuk az esetleges stresszcsoökkentő hatás vizsgálatára, mivel korábbi adatok alapján a 200 μM Cd már 10–15 nap elteltével szemmel látható károsítást okozott a vizsgált búzanövényeken. A Zr-ASC kezelésekhez 10, 33 és 55 μM oldatot használtunk. A Cd ugyan közvetlenül nem generál aktív oxigéngyököket, de az oxidatív stresszt jelző enzimaktivitásbeli változásokat mértünk a POD, az APX és a GR esetében is.

Míg a Cd-kezelésben nem részesülő, kontroll növényekhez képest a 200 μM Cd-kezelés a levélben és a gyökérben egyaránt növelte a POD-aktivitást, addig a 10 és 33 μM Zr-ASC-nál jelentős csökkenés volt kimutatható a gyökerekben. Ilyen kedvező hatást a levelek esetében nem lehetett detektálni. Az 55 μM Zr-ASC már nemhogy csökkentette, de növelte az enzimaktivitás értékeit (stresszhatás), kedvező hatás nem volt kimutatható. Az APX enzim vizsgálata során szinte teljesen azonos összefüggéseket kaptunk mind a gyökerek, mind a levelek esetében, valamint az egyes Zr-ASC kezelések hatásaként is.

Az eddigi, szignifikánsan kedvezően jelentkező enzimaktivitás (POD, APX) változások a GR esetében lényegesen tompítottabban jelentkeztek. A Zr-ASC kezelésnél ugyan kimutatható volt a gyökerekben a kedvező változás, a Cd-kezelésre megnőtt GR-aktivitás csökkenése, de ez nem bizonyult szignifikánsnak (3. ábra).



3. ábra. A Zr-ASC csírázásra (A), gvajakol-peroxidáz (B), aszkorbinsav-peroxidáz (C) és glutation-peroxidáz (D) aktivitása a kezelt búzanövények gyökerében (rácsos oszlop) és levelében (fehér oszlop). A csillaggal jelölt oszlopok a Zr-ASC kezelések K-ASC kezeléshez viszonyított szignifikáns különbségét jelzik ($p \leq 0,05$).

Kísérleti eredményeink alapján feltételezhető, hogy a tápoldat 10 és 33 μM cirkónium koncentrációja kedvező hatással van a növény kadmiumszennyezés elleni védekezésére. A Zr jelenléte a növekedési paraméterek (csírázási százalék, gyökér és levél hossza, szárazanyag-tartalom) (3A. ábra), a vizsgált mikroelemek koncentrációja, összfenol-tartalom és a vizsgált antioxidáns enzimek aktivitása (3B-D) szempontjából egyaránt mérsékli, ellensúlyozza a kadmium okozta stresszhatást.

Számos esetben nemcsak ellensúlyozza, hanem teljes mértékben ki is küszöböli azt. Így például gátolja a Cd gyökér \rightarrow levél transzlokációját, hatására szignifikánsan csökken a gyökér Zn-koncentrációja, szignifikánsan nő a gyökér és a levél Fe-tartalma, a levél Mn-koncentrációja

valamint a levélben szignifikánsan csökken a POD, az APX és a GR aktivitása. A kezelt növények gyökér- és levélmintáinak elemanalízise során figyelemre méltó változásokat tapasztaltunk a Zn-, Zr-, Cd- és Cu-tartalom értékeiben. Ezek az adatok arra utalnak, hogy a cirkónium vegyülete kedvező módon befolyásolhatja a búzánövény oxidatív stressz hatására károsodó tápanyag-ellátottságát.

Feltehető, hogy a Zr képes a sejtek redoxiállapotát befolyásolni. A kialakuló kismértékű oxidatív stressz okozhat nagyobb toleranciát és magyarázhatja a Zr kis koncentrációjának kedvező hatását. A cirkónium a titánnal azonos mellékcsoportban (IVB) található. A cirkónium-aszkorbát jelenlegi ismereteink alapján a titán-aszkorbáttal hasonló növényélettani hatással bír. Ez a pozitív élettani hatás 10 és 33 μM Zr-ASC kezelés esetében megmutatkozik a klorofilltartalom kedvező alakulásában, az összaminosav-tartalom növekedésében, s a növényt környezeti stresszhatásként érő kadmium-szennyezés elleni védekező reakciókban egyaránt.

A magnézium hatása a bab alumíniumstresszel szembeni érzékenységre/toleranciájára

A magnéziumkezelés a Ti-ASC-tal szemben a búzalevelekben nem okozott növekedést sem a POD-, sem a CAT-aktivitásban. A levelekben mérhető APX- és GR-aktivitás azonban nagyobb volt a Mg-kezelt növényekben. Mindez arra utal, hogy a Mg valamilyen módon befolyásolni képes a növények antioxidáns enzimválasztát, e hatása azonban feltételezhetően a Ti-ASC hasonló hatásától meglehetősen eltérő fiziológiai folyamatokra vezethető vissza.

A savanyú és elsavanyodó talajok világszerte jelentős termés kiesést okoznak. A savanyú talajokon jelentkező stresszhatás elsősorban nem a nagy H^+ -koncentrációnak tulajdonítható, hanem az alacsony pH-n oldható, ezáltal a növények számára fölvehető formába átalakult alumínium megnövekedett mennyiségének.

Kísérleteinket ellenőrzött vízkultúras körülmények között különböző, a természetben szerepet játszó, alumíniummal szemben különböző érzékenységet mutató bab (*Phaseolus vulgaris* L.) fajtákkal – Róna, Valja, Cherokee és Budai piacos – végeztük. A tápoldat növekvő alumíniumkoncentrációja (0,00; 0,02; 0,19; 1,8 mM) mellett változó magnéziumkoncentrációt (1,25; 2,5; 5,0 mM) biztosítottunk a növények számára. A hat ismétlésben beállított kísérletben a tápoldat pH-ját 4,5-re állítottuk be állandó ellenőrzés mellett. A babmagvak *Rhizobiumos* fertőzést kaptak, így az alumínium ill. a kiegészítésként adott magnézium gümőképződésre gyakorolt hatása is vizsgálható volt.

Az egyes fajták alumíniummal szembeni érzékenysége között jelentős különbségek vannak. Az adott koncentrációjú Mg-kezelés mellett, a fajták Al-érzékenységétől függően, az Al csökkenést idézett elő a növények hosszában. Megfigyelhető volt, hogy a növekvő Al koncentráció mellett adagolt növekvő Mg-adagok hatására, ha kis mértékben is, de csökkent az Al okozta növekedés-visszamaradás mértéke minden fajta esetében.

Az Al-kezelések azonban bármely alkalmazott Mg-adag mellett jelentős károsodást okoztak a gyökerek fejlődésében, jelezve, hogy a növényeket érő Al-toxicitás elsődleges hatóhelye a gyökér. Itt a magasabb Mg-koncentrációkkal sem volt mérsékelhető az alumínium okozta növekedés-visszamaradás. Az Al-toxicitás az egyes fajták érzékenységétől függő morfológiai változásokat okozott a babnövények gyökérzetében: a gyökérgümőtől mentes, kevés hajszálgökérrel rendelkező gyökérszettől a hajszálgökerekben dús, gümőképződést mutató gyökérszigetig.

A virághüvelyek tövenkénti számában az Al-kezelésre mutató kedvezőtlen hatások különböző módon jelentkeztek az egyes fajták esetében. Az alumínium melletti növekvő Mg-adagok kedvező hatása szintén fajtafüggő volt. A zöldtömeg vizsgálata is hasonló eredményre vezetett. A gümők mennyiségét az Al-kezelés a fajták érzékenységétől függően károsan befolyásolta, amit a magnéziumadagolás néhány fajtánál jelentős mértéken kompenzált.

A vizsgált fajták esetében az alumíniumtoxicitásra a Róna és a Valja érzékenyebben reagált, mint a Cherokee és a Budai piacos. A magnézium kedvező hatása különösen a kevésbé érzékeny fajtáknál jelentkezett.

A *Ginkgo biloba* nagymértékű abiotikus stressztűrő képességének kapcsolata a levelekben akkumulálódó biogén vegyületekkel

A *Ginkgo biloba*-val, mint közismerten stressztűrő növényvel végzett kísérleteink során, miután hím és nőivarú egyedei is előfordulnak, néhány, az anyagcsere-folyamatokban való különbségre szeretnénk volna rámutatni. Ennek azért lenne jelentősége, mivel a laboratóriumi körülmények között beállított bármilyen kísérlet esetén a fiatal növényeknél még nem eldönthető a nemük, és valószínűleg máshogy reagálnak a kezelésekre. Feltételezhető, hogy a mért értékeket az is befolyásolja, milyen nemű egyednél történtek a kezelések. A nemek esetleges korai szelekciójához a szintén stresszenzim SOD (szuproxid-dizmutáz) izoenzimek gélelektroforetikus elválasztását végeztük el. Eredményeink kedvezőek voltak a rügyek esetében.

Az anyagcsere-folyamatokban, részben a stresszélettani folyamatokkal kapcsolatba hozható fenolos vegyületek, (összfenoltartalom, a flavonglükozidok közül a rutin és az izokvercitrin, valamint a fenolos karbonsavak közül a klorogénsav) alakulását vizsgáltuk a különböző nemű levelek esetében. Lényeges eltéréseket kaptunk a hím- és nőivarú egyedek szárított leveleinek kivonatában. A hím egyedekben magasabb összfenol- valamint rutintartalmat mértünk. Közel azonosan alakult a különböző nemű levelekben mért klorogénsav mennyisége, míg az izokvercitrin mennyisége minden esetben a nőivarú egyedekben volt a nagyobb. Az idő előrehaladtával mind az összfenol-tartalom, mind a három vizsgált komponens mennyisége az előbbi összefüggések megléte mellett csökkenést mutatott.

Ennek kapcsán megkezdtük a talajkezeléseket is. Azonos közegben (zöldségtermesztésben használt) 3-szoros ismétlésben, 400 ml-es tenyésztő edényekben, a csíráztatás után kiválogatott (azonos fejlettségű) ginkgő növényeket kezeltük különböző Cd (0,2-2 mM) oldatokkal. A kezelések kezdetének az első évi növekedésnek megfelelő állapotot választottuk ki. Ezután a kontroll azonos mennyiségű vizes kezelése mellett az időjárástól függően, heti 1-2 alkalommal, 30-30 ml tápoldatozás történt. A kezeléseket 5 hónapon keresztül folytattuk. Miután terveink szerint ugyanezeket ill. a velük egykorú, akkor már 1 éves fiatal növényeket tovább szeretnénk kezelni, ezért még a teljesen zöld állapotú levelek analízisét végeztük el. Két enzim a POD (ortodianizidinnel mért) ill. PFO (polifenoloxidáz) enzim aktivitásváltozását, valamint a levelek elemanalízisét vizsgáltuk.

A POD vizsgálatával kapott eredményeink azt mutatták, hogy a kontrollhoz képest egy ideig csökkenő, majd megint növekvő aktivitásokat kaptunk, de a legmagasabb Cd-koncentrációnál sem lehetett jelentős mértékű, stresszre megváltozó enzimaktivitást mérni. A másodlagos anyagcsere-folyamatokban keletkezett fenolos vegyületek mennyiségében sem lehetett jelentős eltéréseket kimutatni. Érdekes, hogy egy pont ellentétes lefutású görbével lehetett jellemezni a változásokat a POD aktivitásokhoz képest.

A *Ginkgo biloba* nemcsak mint modellnövény érdekes a tudomány számára fokozott stressztűrése miatt, hanem gyógyászati célú felhasználása is mind gyakoribb bizonyos idegrendszeri megbetegedésekben. E betegségek patológiájában hangsúlyos szerep jut bizonyos mikroelemeknek, melyek redox aktív tényezőkként vagy egyéb módokon gyakorolnak kedvező vagy káros fiziológiai hatást a humán szervezetre. Vizsgálatainkban ugyan alapvetően a különböző mikroelemek növényi stressztűrési fokozásával kapcsolatos hatásait vizsgáltuk, de legújabb kísérleteinkben ezek humán egészségügyi összefüggéseit is fel kívántuk tárni.

A nő- és hímivarú egyedekről gyűjtött levelek makro- és mikroelem-tartalmában jelentős különbségek voltak mérhetőek, a levelekből készített kivonatokban azonban egészségre káros hatású fémionok (pl. nehézfémek) nem voltak kimutathatók. A hímivarú növény leveleiből készített kivonatokban több potenciálisan veszélyes redox aktív fémion (pl. Fe) volt található, mint a nőivarú egyedek leveleiben, melyek a neurodegeneratív betegségekben kedvező hatású vegyületekből (Mg, Ca, K, Zn stb.) tartalmaztak többet. A hímivarú növény leveleiből készült etanolos kivonat mutatta a legkiemelkedőbb antioxidáns kapacitást, ami ezt a kivonatot perspektivikussá tenné idegrendszeri

károsodásban szenvedők kiegészítő kezelése céljából. Vizsgálataink azonban igazolták, hogy a nőivarú növényekről gyűjtött levelek vízes oldatának antioxidáns kapacitása elmarad az előbbi oldattól, kedvezőbb fémion-összetételük miatt mégis alkalmasabbak lehetnek számos neurodegeneratív betegség kiegészítő kezelésére.

Ezen vizsgálati eredmények után kíváncsiak voltunk, hogy a különböző szennyezetségű területekről, toxikus elemeket tartalmazó levélmintákból származó vízes és alkoholos kivonatokban minként alakulnak a fenolos komponensek, ill. az ezzel összefüggésbe hozható antioxidáns kapacitások. A szennyezések hatására megnövekedett isokvercetin és klorogénsav, valamint a csökkent rutintartalom ugyan a totálfenol mennyiség növekedésében jelentkezett, de a teakivonatokban csökkenő antioxidáns kapacitást mértünk. Ezen eredmények okának tisztázása a további kutatások után lehetséges. Ezekből a most indult előkísérleti eredményekből kiindulva érdemes lenne foglalkozni a toxikus elemeket is tartalmazó teák fogyasztásával is.

Végezetül köszönetünket szeretnénk kifejezni a kutatásainkhoz nyújtott OTKA támogatásért.