



**SZENT ISTVÁN  
EGYETEM**

Az ózon szövettani és fiziológiai hatásának  
vizsgálata bioindikátor növényfajokon

Doktori értekezés tézisei

VILLÁNYI VANDA

Gödöllő

2015

## **A doktori iskola**

**Megnevezése:** Biológia Tudományi Doktori Iskola  
Szent István Egyetem

**Tudományága:** Biológia

**Vezetője:** Dr. Nagy Zoltán  
intézetvezető egyetemi tanár, DSc  
Növényteni és Ökofiziológiai Intézet  
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Szent István Egyetem

**Témavezető:** Dr. Csintalan Zsolt  
tanszékvezető egyetemi docens, PhD  
Növényélettani és Ökológiai Tanszék  
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar  
Szent István Egyetem

---

Az iskolavezető jóváhagyása

---

A témavezető jóváhagyása

## 1 BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A troposzférában megjelenő ózon mind a természetes, mind a termesztett ökoszisztémák produktivitását veszélyezteti. Direkt és indirekt módon is fokozza az üvegházhatást: direkt módon, mint az üvegházgázok egyike, indirekt módon pedig, a különböző tárulások szárazanyag termelésének csökkentése révén, aminek hatására több CO<sub>2</sub> halmozódik fel a légkörben. Az ózon nagyon erős oxidálószer, emiatt káros hatással van a Föld élővilágára, és a termesztett növényfajok termésmennyiségét jelentősen csökkenti, ami minden érintett országban (legfőképpen a mediterrán országokban) hatalmas anyagi károkat jelent. A troposzférikus ózon mennyisége az elmúlt évtizedek során folyamatosan nőtt, és még ma is növekvő tendenciát mutat. A háttérterhelés az iparosodás kezdete óta megduplázódott, de a legnagyobb kárt a növényzetben a gyakran előforduló úgynevezett „ózonepizódok” teszik, amikor az ózonkoncentráció egy adott területen napokon át 50-60 ppb felett marad. Mindezek miatt a fitotoxikus ózonterhelés jelenlétének jelzése és mennyiségének meghatározása, valamint szövettani és fiziológiai hatásának vizsgálata mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból rendkívül fontos feladat.

Kísérleteink elvégzésekor az alábbi kérdések megválaszolását tűztük ki célul:

1. Van-e valamilyen, az eltérő ózonérzékenységgel, vagy az eltérő fiziológiai működéssel összefüggésbe hozható szövettani különbség a szenzitív és rezisztens genotípusok között?
2. Mi állhat a szenzitív genotípusok fokozott stresszérzékenységének és alacsonyabb teljesítményének hátterében?
3. Az emelt légköri szén-dioxid szint hogyan befolyásolja az ózonválaszt szenzitív és rezisztens genotípusokban?
4. Eltér-e a *Phaseolus vulgaris* szenzitív S156 és rezisztens R123 genotípusainak fotoszintetikus hatékonysága? Ha igen, ez milyen folyamatoknak köszönhető, és vajon ez az eltérés oka-e, vagy következménye az eltérő ózonérzékenységnek?
5. Melyek az ózon bioindikátor fajokon mérhető, a bioindikáció szempontjából leghatékonyabb paraméterek?

## 2 ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1 *Kísérleti helyszínek*

Kísérleteinket túlnyomórészt Gödöllőn, a Szent István Egyetem Botanikus kertjében folytattuk. Az egy európai biomonitoring program kísérleti növényein végzett esettanulmány mérései a Ljubljana Egyetem Agronómia Tanszékének kísérleti földterületén elhelyezett árnyékoló sátor alatt történtek.

### 2.2 *Tesztnövények*

Vizsgálatainkat *Phaseolus vulgaris* L R123 (ózonrezisztens) és S156 (ózenszenzitív) genotípusain; *Trifolium repens* L. NC-R (ózonrezisztens) és NC-S (ózenszenzitív) genotípusain végeztük.

### 2.3 *Meteorológiai adatok*

Az adatok a Szent István Egyetem Növénytani és Ökofiziológiai Intézetének a gödöllői Botanikus Kertben elhelyezett meteorológiai állomásáról és a Ljubljana Egyetem Agronómia Tanszékének ljubljana meteorológiai állomásáról származnak. Az ózonkoncentrációkat órás átlagértékekkel (ppb), a kumulatív ózonkoncentrációkat különböző időszakokra összes kumulatív ózon formájában és/vagy az AOT40 paraméter használatával (ppbh, ppmh) adtuk meg. Felhasználtuk még a hőmérséklet, vízgőznyomás-hiány (VPD), valamint fotoszintetikus fotonflux-sűrűség (PPFD) adatok órás átlagértékeit.

### 2.4 *Szöveti vizsgálatok*

A szöveti vizsgálatokat mindkét fajon egy téli és egy nyári mintavétel eredményeinek összehasonlításával végeztük. A mintákat télen egy (kifejlett levelek), nyáron háromféle fejlettségi fázisú (fiatal, kifejlett és idős) levélről vettük. A téli növényeket üvegházban neveltük, a növények mindkét évszakban állandó jó vízellátottság mellett nevelkedtek. A vizsgált paraméterek a keresztmetszeten és epidermiszlenyomatokon mérhető sejtméret, a különböző szövetek vastagsága, az intercelluláris terek aránya és gázkonduktanciája.

### 2.5 *OTC kísérlet*

Mindkét bioindikátor fajt vizsgáltuk két egymást követő vegetációs periódus több nemzedékén át emelt légköri (700 ppm) CO<sub>2</sub>-dal ellátott OTC-ben (Open Top Chamber), kontroll (levegőkeringtetéses) OTC-ben, valamint szabadföldön. A mért paraméterek babnál: levélszám, természsám, a termések száraztömege és ezek S/R aránya; herénél: virágszám, föld feletti részek

száraztömege és ezek S/R aránya; mindkét fajnál: sztómakonduktancia, Fv/Fm és RFd értékek és ezek S/R aránya, valamint a látható tünetek növényen belüli aránya. A mért paraméterek összefüggéseit a kumulatív ózonerheléssel, az adott generáción belül a mérésig eltelt napok számával, valamint egyes paraméterek együttes változásait korrelációanalízissel teszteltük.

## **2.6 Esettanulmány egy európai biomonitoring program Ljubljánában kihelyezett kísérleti növényein**

Három meleg nyári napon a fluoreszcencia paraméterek (Fv/Fm, RFd, NPQ, ΦPSII, qFo) napi meneteit és egy teljes nap gázcsere- paramétereinek (A, g<sub>s</sub>, E, Ci) napi menetét mértük Ljubljánában, árnyékoló háló alatt fejlődött öntözött körülmények között, *P. vulgaris* S156 genotípusának tünetmentes és tünetes, valamint és R123 genotípusának levelein. A mérések és a növények nevelése az ICP-Vegetation protokollja szerinti árnyékolóháló alatt történtek.

# 3 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

## **3.1 Ózonszenzitív és -rezisztens növényi genotípusok szövettani összehasonlítása**

### **3.1.1 A Phaseolus vulgaris két genotípusának összehasonlítása**

Télen az S156 genotípus epidermiszsejt mérete kisebb és ugyanez a helyzet nyáron az idős, vagyis az elsőként létrejött S156 leveleknél, de a kifejlett levelek epidermiszsejtjei már nagyobbak, mint az R123 leveleken. Ez azt jelenti, hogy van egy genetikailag meghatározott sejtméret, ami S156 genotípusnál kisebb, mint R123 genotípusnál. Ezek a sejtméretek alacsony ózonerhelés mellett, télen, vagy nyáron, a növényeken elsőként megjelenő levelekre jellemzőek, de nyáron a kumulatív terhelés hatására bekövetkező eltérő fenotípusos változások következtében ez az arány megfordul, és az R123 genotípus epidermiszsejt mérete lesz kisebb, mint az S156-é.

Az, hogy a zárósejtek mérete, valamint a sztómák mérete és nyitottsága kifejlett levelek esetén tipikusan a szenzitív, míg idős leveleknél a rezisztens növényeken magasabb, mégis arra utal, hogy a klimatikus viszonyok és a stressz ellentétes hatást váltott ki a két genotípusnál, mivel a később kifejlődött leveleken szenzitív növények esetén nagyobb, rezisztens növények esetén kisebb sztómák fejlődtek. Ezek alapján a normális stresszválasz metabolikus útjai gátlódtak az S156 genotípusban, így a stressz ellenére továbbra is a kedvező körülményeknek megfelelően nagymértékű expanzív sejtnövekedés volt rá jellemző. Az epidermiszsejtek nagyobb mérete levélfelület-egységre vetítve alacsonyabb sztómaszámot eredményezett a szenzitív növényekben.

Bár az S156 és R123 genotípusok sztómakonduktanciája nem tért el szignifikánsan, a téli magasabb Ci az S156 genotípushoz tartozó növényekben azok valamivel magasabb sztómakonduktanciája következtében alakulhatott ki, mivel a két genotípus fotoszintetikus rátája

között nem mértünk szignifikáns különbséget. A valamivel magasabb  $g_s$  értéknek lehet köszönhető az is, hogy nyáron a jóval nagyobb mértékű nettó  $CO_2$  asszimiláció ellenére a  $C_i$  nem volt alacsonyabb az S156, mint az R123 genotípusban. A szenzitív genotípus valamivel magasabb sztómakonduktanciáját télen a magasabb sztómasűrűség, a nyitottabb sztómák és a légrések nagyobb összfelülete, nyáron a sztómák és a légrések nagyobb méretei magyarázták. Szöveti méréseink szerint nyáron a fiatal és idős szenzitív levelek sztómái nyitottabbak voltak a rezisztens növényekéinél.

A két genotípus levélkeresztmetszeti paramétereiben megfigyelt téli különbségek, ami elsődlegesen a mezofillumvastagságban, a szivacsos parenchima részarányában és a parenchimasejtek felszínében nyilvánulnak meg, nyárra teljesen eltűnnek. Télen a szenzitív növények levelei vastagabb parenchima rétegekkel rendelkeznek, nyáron ezzel szemben a kifejlett levelek között a rezisztens levelek mezofillumja vastagabb. Nyáron a levelek fejlődése során a parenchimarétegek vastagsága, és azok aránya, valamint a mezofillumsejtek felszíne rezisztens növényeken számottevő változást mutat. A nyári időszakon belül a rezisztens növények későbbi időpontban kifejlődött levelei (kifejlett levelek) vastagabb paliszád réteget fejlesztettek, mint az egyedfejlődés során korábban megjelenő levelek. Ez lehet a rezisztens növények nyár folyamán megnövekedő fotoszintetikus kapacitásának a jele. Ugyanakkor télen a szenzitív genotípus paliszád rétege szignifikánsan vastagabb volt. Ha a paliszád réteg eltérő vastagsága szerepet játszik az S156 genotípus ózonérzékenységében, akkor is csak nyáron jelenik meg, tehát feltételez egy genotípusonként eltérő szöveti változást, ami a nyári évszakra jellemző meteorológiai viszonyok között alakul ki. Ezt az eltérést a két genotípus között az S156 genotípusnak a fényviszonyokhoz történő adaptációjának hiányosságaiiban látjuk.

Az idős rezisztens növények mind  $f_{ias}$  mind  $g_{ias}$  értékei magasabbak, ami lehet a fejlődési stádium előrehaladtával megjelenő olyan szöveti változás, amit szenzitív növényeknél nem figyelhetünk meg.

Abból, hogy télen a legtöbb sejt méretet és szövetvastagságot leíró paraméter különbözött, arra következtethetünk, hogy a két genotípus számos szöveti paramétere között genetikailag meghatározott eltérés van. Ezek az eltérések azonban a fenotípusban – feltehetően a környezeti tényezők és stresszorok hatására – a nyári időszakban a legtöbb esetben ellenkező irányúak. A téli mintákon történt méréseink során számos paraméter bizonyult szignifikánsan alacsonyabbnak a rezisztens genotípus leveleiben. A szöveti paraméterek nyári alacsonyabb értékei a szenzitív növényeknél összefüggésben lehetnek a sejtek elpusztulásával és a szövetek összezsugorodásával is. Ugyanakkor a szenzitív növények szöveteinek a fokozottabb oxidatív stresszel szembeni védekezéséhez több energiára van szükség, ami miatt a növények kevesebb energiát fordíthatnak szöveteik mennyiségi gyarapítására, mint a rezisztens genotípushoz tartozó egyedek.

### 3.1.2 *A Trifolium repens két genotípusának összehasonlítása*

A levelek sztómaszáma és epidermisz sejtszáma szinte mindvégig nagyobb az NC-R genotípusnál. A sztómák és sztómazárósejtek mérete viszont télen az NC-R, nyáron az NC-S genotípusnál magasabb. Ez a jelenség utalhat az ózonnak a két genotípus sejtosztódására vagy sejtnövekedésére gyakorolt eltérő hatására. Az alsó epidermiszen a sztóma- és légrésméret csak a rezisztens növények esetében kisebb nyáron, mint télen. A kisebb sztómák fejlesztése újonnan megjelenő leveleken lehetséges védekezés a légszennyezés ellen, mely adataink szerint a rezisztens növénynél alakul csak ki, így egyike lehet a két genotípus ózonérzékenysége közötti különbséget okozó legfontosabb tényezőknél. Lehetséges védekezés az ózon ellen a később kifejlődő (kifejlett) rezisztens leveleken megjelenő vastagabb epidermisz is, mivel a légszennyezők egy része az epidermiszen keresztül hatol be a növények leveleibe.

A *T. repens* NC-S genotípusnál nyáron mérhető magasabb sztómakonduktancia oka elsősorban a sztómák nagyobb mérete, mely a téli leveleknél még az NC-R genotípusban nagyobb. A nagyobb sztómaméret minden esetben a zárósejt nagyobb méretéből adódik, hosszabb sztómanyílást eredményez, és együtt jár a nagyobb epidermiszsejt-mérettel, továbbá az alacsonyabb epidermiszsejt- és sztómasűrűséggel is.

Az intercellulárisok gázkonduktanciája ( $g_{ias}$ ) az NC-S genotípus idős leveleiben magasabb, mint az NC-R genotípusnál, ami szintén összefüggésben lehet a szenzitív genotípus ózonérzékenységgel. A különbség a fiatal és idős levelek intercelluláris tereinek relatív mérete ( $f_{ias}$ ) között ellenkezőképpen alakult, mint ahogy a bokorban leveleknél láthattuk, vagyis a szenzitív genotípus intercellulárisainak mérete nagyobb volt az idősebb levelekben, míg a rezisztens genotípusé változatlan maradt. Ez arra utal, hogy az ózon az NC-S genotípus mezofillum szöveteit károsítja, az intercellulárisok méretét valamelyest megnövelve. A  $g_{ias}$  értéke szenzitív leveleknél nyáron az idős, tünetes levelekben magasabb, mint a fiatal levelekben.

Nyáron a fiatal levelek esetében a szenzitív és rezisztens levelek vastagsága megegyezik, kifejlett leveleknél már a rezisztens levelek vastagabbak, de még nem szignifikánsan, az idős levelek esetében pedig már szignifikánsan vastagabbak a rezisztens levelek. Szenzitív növényeknél az idős levelek szivacsos parenchima vastagsága és a mezofillum átlagos sejttérfogata szignifikánsan kisebb, mint a kifejlett, még tünetmentes leveleknél. Vagyis az idős szenzitív fehér here levelekben a sejtek mintegy „összezsugorodtak”, különösen a szivacsos parenchimában, és az egész levélszövet elvékonyodott a rezisztens levéllel összehasonlítva. Ezek a jelenségek az NC-S levelek korai öregedésével magyarázhatók.

### 3.1.3 A két vizsgált bioindikátor faj szövettani paramétereinek összehasonlítása

A két faj keresztmetszeti adatain elvégzett főkomponens-analízis eredményei alapján mindkét fajra jellemző volt, hogy az összvariancia jelentős részét a mezofillum, főként a szivacsos mezofillum vastagsága, és sejtjeinek mérete, a két mezofillum egymáshoz viszonyított aránya, valamint a sejtközötti járatok mérete, aránya és gázkonduktanciája magyarázza.

A két genotípus mindkét fajnál számos mennyiségi szövettani paraméter tekintetében genetikai eredetű különbséget mutat, mivel stresszmentes körülmények között, télen is szignifikáns eltéréseket mérhettünk. Jellemzően a téli leveleken a szenzitív genotípusoknál a legtöbb keresztmetszeti paraméterben magasabb értékeket mérhettünk. A két genotípus között a téli időszakban tapasztalható különbségek legnagyobb része nyáron, amikor az ózonterhelés, a fény- vagy hőstressz, vagy ezek kombinációja befolyásolhatták a növények fejlődését, elfedődött, vagy ellentétes irányúvá vált. Nyáron jellemzően a szenzitív genotípusok sztómamérettel összefüggő paraméterei mutattak nagyobb értékeket. Tehát a szezonálisan eltérő környezeti tényezők mindkét fajnál jelentősen eltérő mértékben befolyásolták a szenzitív és rezisztens genotípusok fenotípusos megjelenését. Az eltérő érzékenységű genotípusok reakciói a környezet változásaira a két vizsgált fajban sok hasonlóságot mutattak.

Mindkét fajra jellemző, hogy a szenzitív növények kevésbé tudják kihasználni a jobb fényviszonyokból adódó előnyöket, mint a rezisztens növények. A környezeti változások érzékelésének, és az azokra adott válaszreakcióknak a zavarára utal többek között, hogy a szenzitív növények levelei egyik fajnál sem mutatják a fényadaptált körülményeknek megfelelő vastagodást. Késeltetett, vagy elmaradt stresszválaszt tapasztalhattunk a szenzitív genotípusoknál, ahogy összehasonlítottuk az eltérő érzékenységű genotípusok sztómaméret- és epidermiszsejtméret-változásait, valamint *T. repens* esetében az eltérő genotípusok epidermisz-vastagságának változásait a különböző fejlődési fázisú leveleken.

A két genotípus eltérő alkalmazkodásának hátterében állhat, hogy a *P. vulgaris* S 156 genotípus és a *T. repens* NC-S genotípus szelektív előállításánál e két genotípus génállománya egyoldalúan fejlődött vagy elszegényedett (homozigózis, vagy beltenyésztéses hatás). Ezeknek a genotípusoknak az előállítása során ugyanis azokat az egyedeket választják ki, amelyek minél több látható tünetet mutatnak. Ez a folyamat tulajdonképpen egy olyan mesterséges szelekció, ahol az ózonnal legnagyobb érzékenységet mutató, vagyis a leggyengébb egyedeket szelektálják ki továbbszaporításra. Ennek folyományaként a szenzitív genotípusok fenotípusos plaszticitása lecsökkent; a megváltozott környezeti hatásokhoz és az oxidatív stresszhez való alkalmazkodóképességük szükségképpen nem a rezisztens genotípus-párjaiknak megfelelő mértékű.

Hogy az itt megemlített tényezők közül melyik lehet a legmeghatározóbb a szenzitív és rezisztens genotípusok eltérő működése szempontjából, annak eldöntéséhez nagyszámú, kontrollált



körülmények között elvégzett szövettani mérésből, valamint biokémiai és genetikai vizsgálatokból álló kísérletsorozat elvégzésére volna szükség. Valószínűleg mindezek az egymással is összefüggő jelenségek együttesen adják a kísérletünkben megfigyelt karakteres szövettani különbségeket.

### **3.2 Az OTC kísérlet eredményeinek értékelése**

#### *3.2.1 Látható tünetek*

Bár az emelt légköri szén-dioxid mindkét faj esetében gátolta a látható tünetek kialakulását, bokorbabnál a károsodás mértéke éppen az emelt CO<sub>2</sub>-os kezelésem adta a legerősebb összefüggést az ózonerheléssel. Kontroll OTC növényeknél, valószínűleg a melegebb és szárazabb mikroklíma hatására azonban láthatólag sokkal inkább érvényesülnek egyéb, a látható tünetek kialakulását és az egész növényen belüli százalékos arányát befolyásoló hatások. A legintenzívebb növekedés időszakában a kontroll OTC-ben nevelkedett növényeken a tünetek százalékos arányának csökkenése is megfigyelhető.

Fehér here esetében meglepő, hogy a látható tünetek mértéke semmilyen összefüggést nem mutat a kumulatív ózonértékekkel. Ez részben annak tulajdonítható, hogy a fehér here kiterjedt lombozata a vegetációs periódus során végig gyors ütemben növekszik. Emiatt a látható tüneteknek mind a detektálhatósága, mind az egészséges lombozathoz viszonyított aránya csökken. Másik magyarázat is kínálkozik azonban erre a jelenségre, mégpedig hogy az anyanövény idővel valamelyest akklimálódik a fokozódó ózonstresszhez. Ezt alátámasztja, hogy a vizsgált növedék sorszáma negatívan korrelált a károsodás mértékével, vagyis a levelek lenyírása után fejlődő új lombzat mindig valamivel kisebb mértékű károsodást mutatott, mint az előző alkalommal. Ez azt jelenti, hogy az anyanövényben egy akklimációs folyamat indult el. Ennek az összefüggésnek a korrelációs koefficiense emelt CO<sub>2</sub> szinten -0,908, vagyis az emelt légköri CO<sub>2</sub> szint hosszú távon hozzájárulhat egy növényfaj látható tünetekben megnyilvánuló ózonérzékenységének csökkenéséhez.

Tekintetbe véve az akklimációt, ésszerűbb lehet olyan bioindikátorok alkalmazása, melyek magról kelnek, és betakarításukkal a teljes növény életciklusa véget ér.

#### *3.2.2 Vegetatív és generatív fejlődés*

A bokorbab termés-szárzömegeinek alakulásából a különböző kezeléseken kitűnik a kamrák hőmérséklet-emelő hatása, és az ennek következtében meghosszabbodott növényi életciklus. Általánosságban, a nevelési körülmények (kamrában, vagy kamrán kívül) és a nappal hossza (nyári vs. őszi mérések) nagyobb hatással voltak a bokorbab vegetatív és generatív fejlődésére, mint az ózonkoncentrációk, viszont a szenzitív és rezisztens genotípusok fejlődése közötti különbséget

befolyásolta a kumulatív ózonerhelés. Emelt CO<sub>2</sub> szinten pedig sok paraméter tekintetében nagyobb különbség alakult ki a genotípusok között az ózonerhelés függvényében.

A korrelációanalízis eredményei alapján kísérletünkben emelt CO<sub>2</sub> szinten volt a legszorosabb az ózonerhelés összefüggése bokorbabnál a látható tünetek arányával, a hüvelyszám S/R arányával, fehér herénél pedig a virágszám S/R arányával (utóbbi két paraméter csökkent az ózonerheléssel). A szenzitív bokorbab növények nem voltak képesek ugyanolyan mértékben kihasználni a rendelkezésre álló energiaforrásokat: levélszámuk növekedési üteme a vetés utáni tizedik hétre a kontroll OTC-ben már csökkent. Amikor 2009-ben hosszabb időn keresztül kiemelkedően magasak voltak a kumulatív O<sub>3</sub> értékek, ez a rezisztens növények javára toltta el a termésszám növekedésének mértékét. A rezisztens bokorbab genotípus tehát magasabb ózonkoncentrációk esetén mind generatív, mind vegetatív növekedésben sokkal nagyobb teljesítményre volt képes, főként a kontroll OTC-ben és emelt CO<sub>2</sub>-on

Az, hogy az S156 növények levélhullását jobban serkenti az elszennvedett ózonerhelés, mint az R123 növényekét, arra enged következtetni, hogy a levelek korai elhullása utalhat egy adott növényi genotípus ózonérzékenységére is. Míg a tünetek %-os aránya nem csak az ózonerheléssel, de a vetéstől eltelt idővel is összefüggött, a szenzitív növények levélszám csökkenése csak az ózonerheléssel adott statisztikailag szignifikáns összefüggést. A tünetek mértékének növekedésében tehát ózonerheléstől független időbeli változás is közrejátszhat, míg a levélszám csökkenése kizárólag az ózonerhelésről ad információt. A levélszám S/R aránya azonban a levélszámnál objektívebb megközelítést ad, és a levélszám csökkenéséhez hasonlóan szintén csak az ózonerheléssel ad szignifikáns összefüggést, a vetéstől eltelt idővel nem. Vagyis az ózonerhelés jelzésére és nagyságrendjének becslésére a levélszám S/R aránya a károsodás mértékével legalább egyenértékű, ha nem jobb indikátor, ami jól látszik a levélszám S/R arányának és az ózonértékeknek a szignifikáns negatív összefüggéséből. Kísérletünkben az emelt CO<sub>2</sub> hozzájárult a *P. vulgaris*-on a tünetek O<sub>3</sub> függő kialakulásához és a hüvelyszám S/R arányának csökkenéséhez, viszont a levélszám S/R arányának O<sub>3</sub> függő csökkenését megakadályozta.

Annak ellenére, hogy a föld feletti összes biomassza száraztömegét fehér herénél a virágszám nagymértékben meghatározza, a virágszám általában a rezisztens, míg a száraztömeg általában a szenzitív növényeknél volt magasabb, ami azt jelenti, hogy NC-S növények esetén a vegetatív biomassza képzése, míg az NC-R genotípusnál a generatív fejlődés a meghatározóbb. A szenzitív növények csak alacsony kumulatív ózonértékek mellett, a szabadföldi kezelésen múlták felül a rezisztenseket virágszámban. Emelt szén-dioxid szinten a rezisztens fehér here növények száraztömege mindössze egy esetben haladta meg valamivel a szenzitív növényekét.

### 3.2.3 Élettani jellemzők

Az itt bemutatott kísérlet adatai szerint a fejlődési stádium és a kamrahatás mindkét faj sztómakonduktanciáját jobban meghatározzák, mint akár a légköri szén-dioxid mennyisége, akár az ózonerhelés. Eredményeink megmutatták, hogy fehér herénél az emelt CO<sub>2</sub> szint a kamrák sztómaműködésre gyakorolt hatását enyhíti. Méréseink szerint az is nyilvánvaló, hogy az S156 (szenzitív bokorbab) genotípusnak nem csak a sztómazárása, hanem a sztómanyitódása is elégtelen. A két bioindikátor fajon 2009-ben mért adatokból levonható az a következtetés, hogy az emelt CO<sub>2</sub> kezelés megakadályozta a szenzitív és rezisztens növények sztómakonduktanciája közötti különbségnek azt a fokozódását, ami az ózonerhelés hatására várhatóan bekövetkezik. Az emelt szén-dioxidos kezelés elősegítette a szenzitív növények sztómazárását a nyári időszakban, aminek következtében itt a két genotípus sztómakonduktanciájának hányadosa sosem szökkent 1,5 fölé, míg a szabadföldi és OTC kontroll növényeknél extrém különbségek alakultak ki. Ebben az értelemben tehát a fiziológiai ózonválaszt az emelt CO<sub>2</sub>-os kezelés ellensúlyozta.

A szabadföldi kezelésen növekvő S156 növények fotoszintetikus teljesítménye sok esetben jobb volt az azonos körülmények között fejlődő rezisztens növényekéinél. A legnagyobb mértékű kumulatív ózonerhelés mellett azonban a szenzitív növényeknek mind az Fv/Fm, mind az Rfd értékei alacsonyabbak voltak a rezisztensekéinél. A kamrahatás miatt a kamrás kezeléseken a növények életciklusa lassabban ért véget, de ezen belül is az emelt CO<sub>2</sub> szint az összes növény öregedését késleltette, azok ellenállóképességét megnövelte, amint az kiderült a fotoszintézis hatékonyságát jellemző paraméterek alakulásából.

Fehér herénél a sztómakonduktancia S/R arányát nagymértékben meghatározza a mérés előtt a növényt terhelő kumulatív ózonmennyiség. A g<sub>s</sub> S/R fehér here esetében szinte folyamatosan nőtt az idővel és a kumulatív ózonerheléssel. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a fehér here két genotípusán azonos körülmények között mért sztómakonduktancia S/R arányát meghatározva az ózonerhelés mértékéről is információt nyerhetünk. Eredményeink alapján a szenzitív fehér here növények túlzott sztómanyitása nem oka, hanem következménye a növényeket ért ózonstressznek. Tehát az NC-S genotípus ózonérzékenysége közvetlenül nem annak magasabb sztómakonduktanciájával függ össze. A különböző kezelések sztómakonduktancia-értékeinek összehasonlítása alapján a tünetek kialakulásának jobb összefüggése az ózonerheléssel emelt CO<sub>2</sub> szinten *P. vulgaris* S156 genotípusánál szintén nem a szenzitív növények sztómanyitottságával volt összefüggésben.

A szenzitív fehér here növények rezisztens növényekhez képesti korai öregedése jól tükröződik a novemberi mérés Fv/Fm értékeinek alacsony S/R arányából. Az OTC-ben uralkodó mikroklimatikus viszonyok az emelt CO<sub>2</sub> kedvező hatása nélkül (vagyis a kontroll OTC-kben uralkodó viszonyok) stresszorként hatottak a növényekre, ami fehér herén az Rfd és a

sztómakonduktancia-értékek fokozott csökkenésében is megmutatkozott. A légkeringtetés következtében szárazabb levegő az öntözött körülmények mellett fokozhatta a sztómazárást, mely elképzelést igazolja, hogy mindkét vizsgált fajnál a szabadföldi növények sztómakonduktanciája volt a legmagasabb, mely a kontroll OTC-ben mérttől szignifikánsan eltért. Valószínűleg ez az oka, hogy az OTC-kben uralkodó mikroklíma az ózon hatásait sok esetben enyhítette.

Ellentétben az R123 genotípusnál tapasztaltakkal, az egyedfejlődés előrehaladtával az S156 (szenzitív bokorbab) növények sztómái egyre zártabbak, a fotoszintetikus folyamataik hatékonysága pedig egyre alacsonyabb volt, ami ennek a genotípusnak a gyengébb tűrőképességére utal. Az S156 növények fotoszintetikus folyamatainak károsodása azonban egyértelműen összefüggött az ózonstresszel, míg a sztómakonduktancia változásait egyéb környezeti tényezők is módosíthatták.

A PSII-n belüli energiakonverzió hatékonysága ( $F_v/F_m$ ) általában nem reagált olyan érzékenyen az adott körülmények között a növényeket érő stresszre (ózonterhelés, kamrahatás, hőstressz együttes hatásai), mint a potenciális fotoszintetikus kvantumkonverzió (RFd), mely a fényszakasz egyéb folyamataival, és közvetve a  $CO_2$  fixációval is kapcsolatos. Az RFd mindkét bioindikátor faj szenzitív genotípusánál szoros korrelációt mutatott az ózonterheléssel. A fluoreszcencia-indukció paraméterek ( $F_v/F_m$ , RFd) csökkenése az ózonterhelés függvényében a szenzitív genotípusokban egyrészt azt bizonyítja, hogy a szenzitív növényeket jelentősebb fiziológiai stresszhatás érte, másrészt pedig, hogy a fotoszintetikus folyamatok károsodása minden, szemmel érzékelhető változástól függetlenül, és azoknál nagyobb bizonyossággal bekövetkezik  $O_3$  stressz hatására.

### ***3.3 Fluoreszcencia-indukció paraméterek napi menete a Phaseolus vulgaris két genotípusán***

A három mérési napot magában foglaló, öt napig tartó kísérleti időszakban mind a napi menetek alakulásával, mind az egyes napok között kialakuló változásokkal kapcsolatban fontos megfigyeléseket tettünk.

Az  $F_v/F_m$  napi közepi csökkenése és az NPQ napi közepi növekedése derült időben tipikus reakció a közvetlen napsugárzásnak kitett növényeknél. Ennek ellenére kísérletünkben az  $F_v/F_m$  azért nem csökkent jelentősen, mert a növényeket nem érte túlzottan erős megvilágítás, ami a nap közepén fénygátlást okozhatott volna, ugyanis a mérések árnyékolóháló alatt történtek. A mindvégig árnyékolóháló alatt is fejlődött, árnyékadaptált növények magas hőmérséklettel szembeni tűrése azonban gyengébb, mint a fényadaptált növényeké. Ez a magyarázata, hogy az NPQ kísérletünk során a hőmérséklettel ellentétesen változott. A nap közepén  $30^\circ C$  fölé emelkedő hőmérséklet ugyanis a tilakoidmembránok fluiditását, ezzel összefüggésben az ionkonduktanciát megnövelhette, amely jelenségek közvetlenül befolyásolják az NPQ mértékét. A magas hőmérsékleteket ráadásul magas ózonkoncentráció-értékek is kísérték, ami szintén hozzájárult a

nem-fotokémiai kioltás csökkenéséhez, mivel az azért nagy részben felelős zeaxantin egyben antioxidáns is, tehát az oxidatív stressz is NPQ csökkenést okoz. A kísérlet során mért legmagasabb hőmérséklet érték (32,7°C) az  $F_0$  hőmérsékletfüggése alapján alacsonyabb, mint a kritikus hőmérséklet a *P. vulgaris* számára. Viszont az  $F_m$  21°C és 33°C között határozott és folytonos csökkenést mutatott.

A  $qF_0$  és az NPQ között mindkét genotípusnál erőteljes összefüggést találtunk. Ebből az következik, hogy az NPQ változásait nagy részben a xantofill ciklussal összefüggő, és a fénybegyűjtő komplexben végbemenő energiafüggő kioltás ( $q_E$ ) határozta meg, mely az NPQ három alkotója ( $q_E$ ,  $q_T$ ,  $q_I$ ) közül a legfontosabb.

Az első napon nem tapasztaltunk nap közepi NPQ csökkenést, de korai sztómazáródást sem a szenzitív növényeknél. Az utolsó mérési napon azonban a rezisztens növényekhez hasonlóan már a szenzitív levelek  $F_v/F_m$  és NPQ értékei is csökkentek a növekvő hőmérséklettel, de a sztómakonduktanciájuk sem különbözött már a rezisztens növényekétől. A szenzitív növényeknek ez a késleltetett reakciója a magas hőmérsékleti és növekvő kumulatív AOT40 terhelésre valószínűleg összefügg az ózonérzékenységükkel. A két bokorbab genotípus fiziológiai viselkedésében tehát az első mérési napon tapasztalható eltérések a harmadik mérési napra megszűntek, mivel az első napon csak a rezisztens növényeknél tapasztalható védelmi reakciók a harmadik napra a szenzitív növényekben is beindultak. A szenzitív növényeket érintő fokozottabb oxidatív károsodás oka tehát a védelmi folyamatok késleltetett beindulása.

Az egymást követő mérési napok napi menetei közötti eltérések oka az ózonterhelés július 22-én 0 óra, és július 26-án 24 óra között bekövetkezett drasztikus növekedésében keresendő. A kumulatív AOT40 ebben az időszakban 1380 ppb h volt. A szenzitív leveleken az egymást követő mérési napokon mért  $F_v/F_m$ , NPQ és RFd napi menetek alakulásán ennek megfelelően jól nyomon követhető a fotoszintetikus folyamatok fokozatosan növekvő mértékű károsodása. Abból, hogy a szenzitív és rezisztens levelek  $F_v/F_m$  és RFd görbéi az öt napos mérési időszak folyamán felcserélődtek, arra lehet következtetni, hogy a két genotípus eltérései ezekben a paraméterekben inkább a következményei, mint okai lehetnek a szenzitív növények fokozottabb ózonérzékenységének.

A növények már az első mérés előtt jelentős mértékű ózonterhelést szenvedtek el, de a védekezési és helyreállító mechanizmusok a növényeket érő stressz ellenére valamilyen mértékben helyreállíthatták a fotoszintetikus működést. Mivel az első mérési napot és az azt megelőző napot extrém magas AOT40 értékek jellemezték, ez a nagymértékű terhelés erősen befolyásolhatta a rezisztens növények működését is. A két genotípus eltérő viselkedése pedig a szenzitív növények védelmi vagy regeneráló folyamatainak elégtelenségét jelzi. Ezt az elméletet megerősíti, hogy a szenzitív növények  $F_v/F_m$  és RFd értékei tovább csökkentek a következő két mérési napon, amikor

pedig az AOT40 értékek már alacsonyabbak voltak, míg a rezisztens növényeknél ezek az értékek fokozatosan nőttek a mérési időszakban, ami a körülményekhez való adaptálódásra, és a fotoszintetikus folyamatok helyreállítására utal.

A zeaxantinnak a tilakoid membránon belül az energia disszipáción és a membrán fluiditásának csökkentésén túl antioxidáns szerepe is van, a zeaxantin molekulák eloszlása tehát hatással van növény antioxidáns kapacitására is. A fokozott ózonérzékenységnek lehetséges magyarázata a zeaxantin molekulák kisebb mértékű, vagy késleltetett felhasználása az antioxidatív folyamatokban.

### 3.4 Új tudományos eredmények

- Míg a szenzitív és rezisztens genotípusok sok szövettani paramétere mindkét fajnál szignifikánsan különbözik stresszmentes (téli) időszakban is, a szezonálisan változó környezeti tényezők, vagyis a magasabb fényintenzitás, valamint a nyári fény-, hő-, és ózonstressz másként befolyásolják azok fenotípusos megjelenését. A legszembetűnőbb, hogy a szenzitív növények levelei nyáron egyik fajnál sem mutatják a fényadaptált körülményeknek megfelelő vastagodást.

- A rezisztens genotípusok sztómáinak kisebb mérete nyáron természetes védekezés az ózon behatolása ellen, és összefügg alacsonyabb sztómakonduktanciájukkal. A szenzitív genotípusok magasabb sztómakonduktanciája a szövettani paraméterek közül *P. vulgaris*-nál a sztómák, sztómazárósejtek és légrések nagyobb méretével, valamint a sztómák nyitottabb állapotával, *T. repens*-nél kizárólag a sztómakészülék (sztómák és sztómazárósejtek) nagyobb méretével magyarázható.

- Az epidermisz *T. repens* esetén az NC-R genotípusban vastagabb a később megjelenő (a mérés időpontjában kifejtett) leveleken, mint az idős leveleken, ami szintén egy védekezési forma a szennyezőanyag levél szöveteibe való behatolásával szemben. A szenzitív genotípusnál ez a védekezési forma sem figyelhető meg.

- Az OTC-k mikroklímája meghosszabbította a növények életciklusát, és csökkentette a sztómakonduktanciát. A kamrahatás negatív volta megnyilvánult a szenzitív genotípusok RFd értékeinek, valamint bokorababnál a levélszám S/R arányának fokozott csökkenésében. Amint az a virágszámok és a száraztömeg S/R arányának alakulásából kiderült, hosszú távon a kamrahatás csökkenti a szenzitív fehér here növények vitalitását a rezisztens növényekéihez képest.

- A nevelési körülmények és a fejlődési stádium nagyobb hatással voltak a bokorabab vegetatív és generatív fejlődésére, valamint mindkét faj sztómakonduktanciájára, mint az ózonterhelés.

- A troposzférikus ózonterhelésnek kitett évelő fehér here NC-S (szenzitív) genotípusban hosszú távon egy akklimációs folyamat indul el, melynek hatására a látható tünetek ózonterheléssel összefüggő megjelenése levélnövedékről levélnövedékre csökken.

- Megállapítottuk, hogy az emelt légköri CO<sub>2</sub> szint hozzájárulhat egy növényfaj – látható tünetekben megnyilvánuló – ózonérzékenységének csökkenéséhez, mivel hosszú távon a *T. repens* fajon elősegítette az O<sub>3</sub> terheléshez való akklimációt.

- Az emelt légköri szén-dioxid szint csökkentette a szenzitív és rezisztens genotípusok sztómakonduktanciája, továbbá fehér herénél a száraztömegek, bokorbabnál a levélszámok közötti különbséget, valamint a látható tünetek kialakulását, késleltette az öregedést, és enyhítette a kamrahatást.

- Az emelt légköri CO<sub>2</sub> fokozta viszont a specifikus ózonválaszt a látható tünetek, valamint bokorbabnál a hüvelytermések S/R aránya, fehér herénél pedig a virágszám S/R aránya tekintetében. Ezeknek a paramétereknek a kumulatív ózonerheléssel való összefüggése emelt CO<sub>2</sub> szinten volt a legszorosabb. Az emelt CO<sub>2</sub> szint tehát ilyen szempontból növelte a két vizsgált bioindikátor faj bioindikációs értékét.

- Fehér herénél a sztómakonduktancia S/R (szenzitív növényeken mért/rezisztens növényeken mért) aránya, bokorbabnál a levélszám S/R aránya mutatott igen jó összefüggést az ózonerheléssel. Az RFd érték mindkét bioindikátor faj szenzitív genotípusánál erős korrelációt mutatott a kumulatív ózonerheléssel. Ezek tehát az ózon bioindikációra legalkalmasabb paraméterek.

- Bár a fitotoxikus ózon jelenlétét az NC-S növényeken megjelenő tünetek is jelzik, a tünetek kiterjedtsége és az ózonerhelés mértéke között azonban fehér here esetén semmiféle összefüggést nem találtunk.

- A két vizsgált ózonerhelés-index közül az ebben a kísérletben mért paraméterek legtöbbje jobb összefüggést adott a kumulatív összes ózonnal, mint a kumulatív AOT40-nel, bár a látható tünetek aránya az S156 (szenzitív bokorbab) genotípuson csak a kumulatív AOT40-nel korrelált. A látható tünetek megjelenése előtt már észlelhető, enyhébb károsodás mértéke azonban inkább a kumulatív ózonerheléssel hozható összefüggésbe.

#### 4 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Szövetteni kísérleti eredményeink alátámasztották, hogy a *Phaseolus vulgaris* két genotípusa számos, a *Trifolium repens* két genotípusa pedig néhány vizsgált szövetteni paraméter tekintetében genetikailag meghatározott különbséget mutat. Ennek igazolására génaktivitás-vizsgálatokra, elsősorban a téli időszakban különbséget mutató paramétereket kódoló géncsoportok összehasonlítására volna szükség a szenzitív és rezisztens genotípusokban.

Az itt bemutatott kísérleti eredmények megerősítik, hogy a két genotípus (szenzitív és rezisztens) eltérő viselkedése mindkét fajnál a szenzitív növények védelmi vagy regeneráló folyamatainak nem megfelelő működésén alapul. Ez az elégtelen, vagy késleltetett működés állhat

az ózonérzékenység, és a szenzitív növények fokozottabb oxidatív károsodásának, valamint azok korai öregedésének hátterében.

Elmaradt stresszválaszt tapasztalhattunk, ahogy összehasonlítottuk az eltérő érzékenyséű genotípusok sztóma- és epidermiszsejt-méreteinek, valamint epidermisz vastagságának változásait. A sztómaméret időbeli csökkenése és az epidermisz vastagodása tapasztalatunk szerint a rezisztens növényeknél alakul csak ki. Ezek a jelenségek részét képezhetik az ózonterheléssel szembeni védelmi rendszernek.

Késleltetett stresszválasszal találkoztunk fluoreszcencia-indukció napi menet méréseink során. Ennek a mérésorozatnak az alapján a *P. vulgaris* S156 genotípus fokozott érzékenységek egyik oka, hogy az antioxidatív folyamatokra az R123 genotípushoz képest kevesebb zeaxantin áll rendelkezésre, vagy a zeaxantin ilyen célú felhasználása nem elégséges. Ennek az elméletnek a tökéletes bebizonyítására olyan mérésekre lenne szükség, ami a tilakoid membrán különböző részeiben elhelyezkedő, vagyis a különböző felhasználású zeaxantin frakciókat mutatja ki. Mai ismereteink alapján ilyen vizsgálatokra még nincsen lehetőség. A stresszválasz elégtelensége összefüggésben lehet a környezeti változások érzékelésének, és az azokra adott válaszreakcióknak a zavarával a szenzitív növényekben. Ennek következménye az is, hogy nyáron egyik faj szenzitív genotípusa sem mutatja a fényadaptált körülményeknek megfelelő szöveti változásokat.

A genotípusok eltérő alkalmazkodásának hátterében állhat, hogy a *P. vulgaris* S 156 és a *T. repens* NC-S genotípusok mesterséges szelekcióval történő előállításuk során génállományuk leromlott. Ebben a folyamatban fenotípusos plaszticitásuk lecsökkent, ezért nehezebben alkalmazkodnak a változó és megterhelő környezeti viszonyokhoz, valamint kisebb hatékonysággal használják ki a rendelkezésre álló erőforrásokat. Ennek az elképzelésnek a helytállóságát is elsősorban genetikai vizsgálatokkal, vagy kifejezetten az alkalmazkodóképesség tesztelésére beállított kísérletekkel lehetne igazolni, zárt térben és teljesen kontrollált klimatikus viszonyok között.

A fluoreszcencia-indukció mérésorozat és az OTC kísérlet eredményeiből azt a következtetést vontuk le, hogy a szenzitív és rezisztens genotípus eltérései az Fv/Fm és RFd paraméterek, valamint a sztómakonduktancia tekintetében inkább a következményei, mint az okai a szenzitív növény fokozottabb ózonérzékenységének.

A károsodás mértékének és az ózonterhelésnek az összefüggését figyelembe véve, a bokorban kísérletünkben jobb bioindikátornak bizonyult a fehér herénél. Ezen kívül az RFd sokkal érzékenyebb paraméternek bizonyult az Fv/Fm-nél a kísérleti növényeinket ért stressz kimutatására. Adataink alapján a vizsgált paraméterek bioindikációs értékének a sorrendje: Bokorbanál: 1) a levélszám S/R (szenzitív növényeken mért/rezisztens növényeken mért) aránya, valamint ezzel egyenértékű a látható tünetek aránya a szenzitív növények teljes levélzetén. 2) a hüvelytermések



száraztömegének S/R aránya; ez a leglátványosabb összefüggést adja, de ritkán mérhető, így kevésbé informatív. Fehér herénél a vizsgált paraméterek közül bioindikációs értéke eredményeink alapján tulajdonképpen csak a sztómakonduktancia S/R arányának van.

Véleményünk szerint megfontolandó egy, a *T. repens* NC-S (szenzitív) és NC-R (rezisztens) genotípusainak párhuzamos sztómakonduktancia mérésére épülő szabadtéri ózon biomonitoring rendszer kifejlesztése, mivel a legjobb kvantitatív összefüggést az ózonerheléssel a fehér here genotípusok  $g_s$  S/R aránya adta. A sztómakonduktancia rendkívül érzékenyen reagál számos külső és belső tényezőre, melyek szabadföldi kísérleti körülmények között kevésbé kontrollálhatók. Egyidejű mérésekben a szenzitív és rezisztens növények sztómakonduktanciájának arányát mérve azonban ezeknek a tényezőknek az eredményeket befolyásoló hatása a növényi ózonválasz vizsgálata során kiküszöbölhető. Szintén megfontolásra érdemes a *P. vulgaris* S156 (szenzitív) és R123 (rezisztens) genotípusainak levélszám-arányán alapuló bioindikációs módszer kidolgozása, ami a hüvely száraztömegek arányához képest gyakoribb, a látható tünetek becslésénél pedig megbízhatóbb és objektívebb méréseket tenne lehetővé. Érdemes volna kísérleteket végezni az ózonerhelés mértékének az RFd értékkel összefüggő meghatározására is. Ezeknek a metodikáknak rutinszerű használatra alkalmas kifejlesztéséhez ózonkezelés kontrollált körülmények között való alkalmazására volna szükség, az alkalmazás céljától függően hosszabb vagy rövidebb távú klímakamrás kísérletekben.

**1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény**

Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

**Villányi, V., Déri, H., Péli, E.R., Csintalan, Z.** (2013): Differences in histological and physiological traits of ozone sensitive and resistant bean strains *Central European Journal of Biology* 8(4):386-397

**Villányi, V., Ürmös, Z., Turk, B., Batič, F., Csintalan, Z.** (2013): Photosynthesis of ozone sensitive and resistant *Phaseolus vulgaris* strains under ambient ozone and moderate heat stress. *Photosynthetica* 52(4): 604-613

Idegen nyelvű, SCI által nyilvántartott, nem impakt faktoros folyóiratban

**Villányi, V., Ürmös, Z., Balogh, J., Horváth, L., Csintalan, Z., Tuba, Z.** (2008): Ozone biomonitoring at mountainous and lowland areas in Hungary, *Acta Biologica Szegediensis* 52(1):209-212.

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

**2. Lektorált könyv/jegyzet (részlet) (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón), népszerűsítő könyv**

Nemzetközi kiadó által kiadott idegen nyelvű könyvfejezet

**Villányi, V., Turk, B., Batic, F., Csintalan, Z.**: (2010): Ozone pollution and its bioindication. In: Air Pollution, ed: Vanda Villányi, Chapter 7. pp. 153-175.

Nemzetközi kiadó által kiadott idegen nyelvű könyv szerkesztése

Air Pollution (2010) ed.: **Villányi, V.** Rijeka: SCIYO, pp.370

**3. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – kizárólag az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan)**

Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:

**Villányi V., Ürmös Z., Pethő Z., Tuba Z., Csintalan Z.** (2009): Bioindication of tropospheric ozone-stress and some physiological features of its commonly used bioindicator plants. *Cereal Research Communications* 37:545-548.

Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

**Villányi V., Déri H., Balogh J., Tuba Z., Csintalan Z. (2009)** : Az ózonérzékenység sztomatikus alapja ózon bioindikátor növényfajoknál, 8. Magyar Ökológus Kongresszus, 2009. 08. 26-29. Szeged, Hungary, Előadások és posztterek összefoglalói, pp. 236

Ürmös Z., Czóbel S., Szirmai O., **Villányi V., Juhász M., Tuba Z. (2009)**: Lösspusztarét állományok szünfenetikai viszonyainak és funkcionális csoportjainak idibeli változása emelt légköri CO<sub>2</sub> koncentráció mellett. . In: Körmöczy L. (ed): 8. Magyar Ökológus Kongresszus, 2009 augusztus 26-29., Szeged, Előadások és posztterek összefoglalói, pp. 223.

#### **4. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – nem hitelesített kiadványokra vonatkozóan)**

Teljes szövegű közlemény idegen nyelven

**Villányi, V., Ürmös, Z., Balogh, J., Horváth, L., Csintalan, Z., Tuba, Z. (2008)**: Ozone biomonitoring at several sites in Hungary: Preliminary findings. 21st Task Force Meeting of the ICP Vegetation, 26 - 29 February 2008., Oulu, Finland, *Abstracts*, p.46.

**Villányi, V., Csintalan, Z., Ürmös, Z., Nagy, Z., Tuba, Z. (2009)**: Some physiological features of commonly used bioindicators of tropospheric ozone, 22nd Task Force Meeting of the ICP Vegetation, 2 – 5. February 2009., Braunschweig, Germany, *Abstracts*, p.60.

**Villányi, V., Ürmös, Z., Csintalan, Z. (2013)**: Effect of the interaction of ozone pollution and growing ambient carbon-dioxide level on plant genotypes with different ozone sensitivity, VIII. Carpathian Basin Biological Symposium – I. Sustainable development in the Carpathian Basin, International Conference, 21 – 23 November 2013., Budapest, Hungary, *Abstracts* p.46.

**Villányi, V., Péli, E.R., Balogh, J., Csintalan, Z.:** (2014) Gas exchange measurements of O<sub>3</sub> sensitive and resistant plant genotypes under low CO<sub>2</sub> concentrations IX. Carpathian Basin Biological Symposium – II. Sustainable development in the Carpathian Basin, International Conference, 11 – 12 December 2014., Budapest, Hungary, *Abstracts* p.56.