

Pályázatunk keretében elvégzett kutatómunka és fő eredményei munkatervi pontonként a következők

1.) A löszpusztai lokális térfoglaló *Brachypodium pinnatum* plasztikusságának vizsgálata

A löszpusztai évelő, lokálisan tömeges terjedésre képes pázsitfű tollas szálkaperje (*Brachypodium pinnatum*) ökofiziológiai és kapcsolódó morfológiai / anatómiai plasztikusságát elemeztük terepi átültetési kísérletekben. A Gödöllői-dombságban egy termőhelyen (Isaszeg) É-ias kitettségű lejtőn három mikroélőhelyen (gyepben, cserjés szegélyén, tölgy alatt) növő *B. pinnatum* hajtások levélszöveti szerkezete – a fotokémiai működésükhöz viszonyítva – mérsékelt változatosságot mutatott. Mégis, a két legkontrasztosabb mikroélőhelyen (tölgy alatt és a lombárnyéktól mentes gyepben) helyben növő hajtások levélanatómiai különbségei szerepet játszhatnak a fotoszintézis fényszakaszának relatív elektronszállítási sebességében (ETR) tapasztalt mintegy 2,5-3-szoros, valamint a fajlagos levéltömegben (SLM) mutatkozó kb. kétszeres különbségekben. Mindezek alapján, a levélműködés mikroélőhelyi idomulásában elsősorban sejtszintű, biokémiai módosulások túlsúlya feltételezhető *B. pinnatum*-nál.

Egy másik terepi kísérletben *B. pinnatum*-ot jellemző élőhelyéről, az északias löszlejtőről szomszédos délies kitettségűre ültettük át (ahol rendszerint nem fordul elő) és vizsgáltuk fenológiáját, fotokémiai működését, gyökerének VA mikorrhizáltságát. A délies lejtőkön a hajtásoknak általában több levelük van, és 1-2 héttel hamarabb indulnak fejlődésnek a melegebb mikroklíma miatt. Tavasszal és ősszel itt nagyobb a levélfelület, ezáltal feltételezhetően a produktivitás is. Nyár elején egyik mikroklímán sem történik fénykárosodás (Fv/Fm értékek alapján). Nyáron a magas besugárzás, és a délies kitettségű gyep rosszabb vízgazdálkodása miatt a hajtások gyorsabb ütemű pusztulásnak, a levelek száradásnak indulnak. Ekkor már a levélfelület jóval nagyobb az északias kitettségben. Nyár közepén a délies lejtők leveleinek fotoszintézise fénykárosodást szenved, a klorofill aktív centrumok sérülnek, míg az északias lejtőkön ez nem mutatható ki. Ősszel a délies lejtőn az elszáradt hajtások helyén újak jelennek meg. A gyökerek egész idő alatt, és mindkét kitettségben erősen fertőzöttek mikorrhizával. Inkább az arbuszkulumok gyakoriságában van nagy eltérés, mind az évszakokat, mind a kitettségeket illetően. Nyáron erős csökkenés figyelhető meg mindkét lejtőn, de a délies oldalon ez markánsabb. Ősszel a délies oldalon az arbuszkulumok gyakorisága nagyobb, mert itt az új hajtások élénk anyagcserét folytatnak, és így gyökereik is aktívabbak, szemben az északias oldal félig elszáradt növényeivel. A *B. pinnatum* fenológiai plasztikusságát igazolja a délies lejtőkön újonnan megjelenő hajtások az elszáradt helyén. A nyári időszak igen kedvezőtlen a növény számára a délies kitettségben, levelei satnyák, fotoszintézise gátolt. Jelentősen csökken az arbuszkulumok gyakorisága, ami a gyökerek inaktivitására utal.

Publikációk: Folyóirat közlemények: #2 (Mojzes 2002), #3 (Mojzes et al. 2003), #8 (Endresz et al. 2005), #10 (Mojzes et al. 2005); Konferencia absztrakt: #1 (Kalapos et al. 2002).

2.) A gázcsereváltások működésének hatékonysága változó fénykörnyezetben

Itt azt vizsgáltuk, hogy a C₄-es fotoszintézisű fűfajok között az inváziós fajok sztómanitottságának szabályozása vajon gyorsabb és hatékonyabb-e, mint a tömegesen nem terjedő, őshonos rokonaiké? Hipotéziseink a következők voltak.

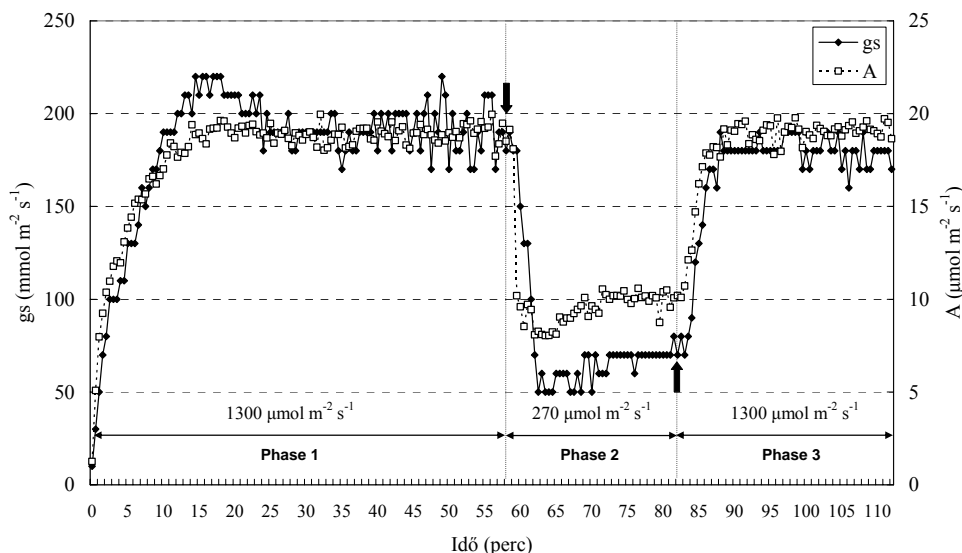
H₁: Az inváziós C₄-es fűfajok, nem inváziós rokonaikkal összehasonlítva hatékonyabb vízmegtakarításra képesek a fényintenzitás csökkenése hatására, mert gyorsabb a

gázcsere nyílások részleges bezáródása és/vagy nagyobb mértékű a gázcsere nyílások szűkülése a nettó fotoszintézis ütemének (A) csökkenésével párhuzamosan, illetve a tömegesen terjedő C₄-es fűfajok a magas fényintenzitáson elért egyensúlyi nettó asszimilációs ütemük nagyobb hányadát képesek fenntartani alacsony fényintenzitáson, mint tömegesen nem terjedő rokonaik.

H₂: A fényintenzitás újra magas szintre emelésekor az inváziós C₄-es fűfajok nagyobb szénnyereségre tehetnek szert, mert hamarabb következnek be a fotoszintézis fényindukciója (egyensúlyi „A” 90%-ának elérése), amiben szerepet játszhat, hogy a gázcsere nyílások kinyílása gyorsabb (gs hamarabb éri el az egyensúlyi érték 90%-át), mint nem inváziós rokonaiknál.

Ezeket a hipotéziseket teszteltük négy, mérsékelt övi évelő, C₄-es fotoszintézisű fűfajnál. A méréseket 2004-5 években végeztük, a vizsgálatok értékelésével elkészültünk, eredményeinket eddig konferenciákon mutattuk be, a tudományos közlemény 80%-os készülségű a zárójelentés leadásakor, benyújtása folyóirathoz várhatóan 2007 áprilisában.

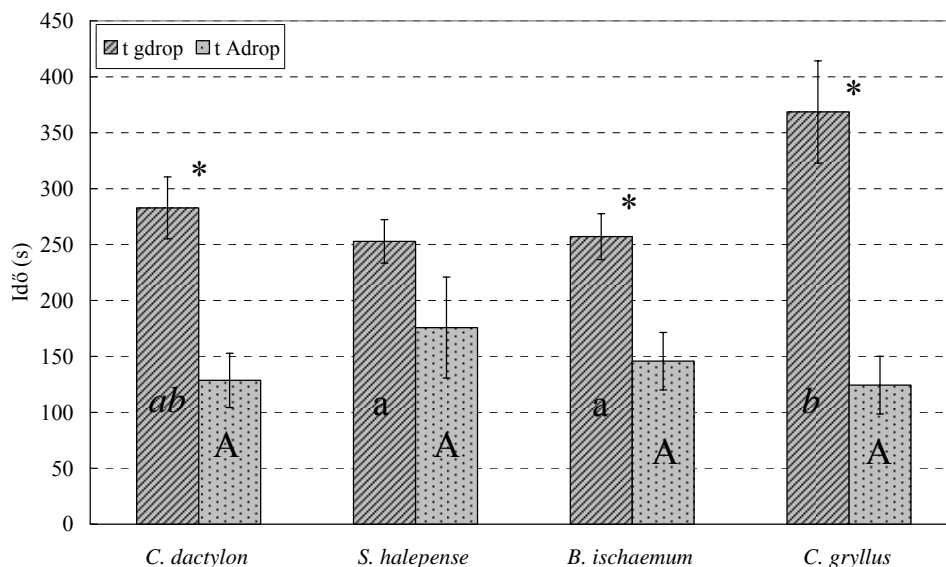
Vizsgálatunkhoz, a hazánkban előforduló C₄-es fűvek közül négy, félszáraz (szemi-arid) klímájú, erdőssztyepp vegetációban (vagy annak helyén létesített szántóföldi kultúrában) jellemző, évelő fajt választottunk: két inváziós és két nem inváziós, azaz őshonos, tömegesen nem terjedő fűfajt. A két inváziós fűfaj a csillagpázsit (*Cynodon dactylon* (L.) Pers., C₄ NAD-ME) és a fenyércirok (*Sorghum halepense* (L.) Pers., C₄ NADP-ME) voltak, a nem inváziós kategóriában pedig az élesmosófű (*Chrysopogon gryllus* (Torn.) Trin.) és a fenyérfű (*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng, mindkettő C₄ NADP-ME) szerepelt. Közülük *B. ischaemum*, természetes élőhelyének (löss- és homokpusztagyepek) leromlása során, bolygatás hatására képes lokálisan tömegessé válni, így lokális térfoglalónak minősíthető. A természetes élőhelyről beültetett, növénynevelőben nevelt fűveket laboratóriumi kísérletben először magas fényintenzitáson (1300 μmol foton m⁻² s⁻¹) inkubáltuk, majd a fényintenzitást hirtelen alacsony értékre (270 μmol foton m⁻² s⁻¹) csökkentettük, az új egyensúly elérése után pedig ismét a magas 1300 μmol foton m⁻² s⁻¹ értékre emeltük. Közben a levél CO₂ és H₂O gázcserejét folyamatosan mértük. Az 1. ábra egy mérést mutat (*S. halepense*).



1. ábra. A pillanatnyi sztómaválasz vizsgálata során a sztómás vízgőz konduktancia (gs) és a nettó fotoszintézis (A) válasza a fényintenzitás hirtelen módosításaira.

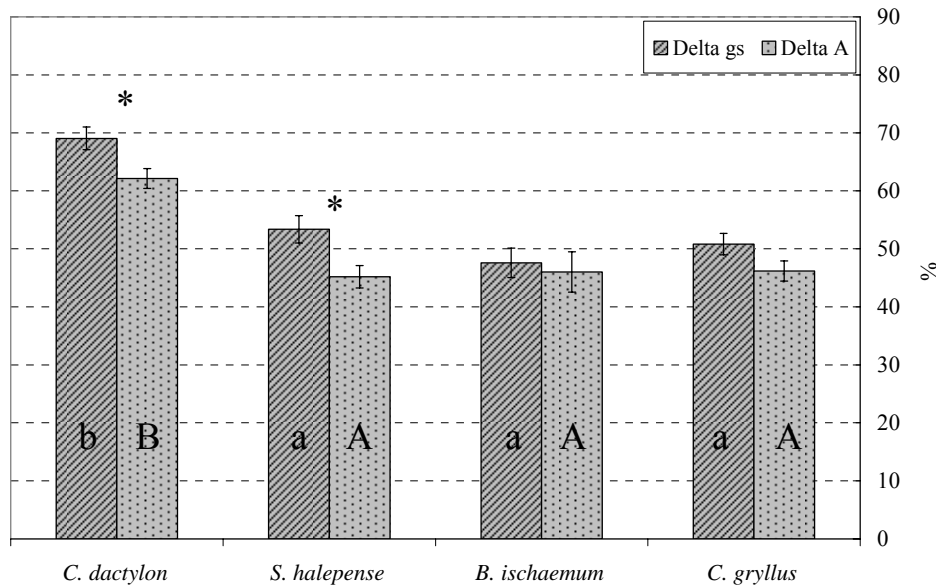
Feltételezésünknek megfelelően, a fényintenzitás mérséklődésével a nem inváziós *C. gryllus*-nál jelentősen hosszabb időt vett igénybe a sztómák részleges záródása (t_{gdrop}), mint az inváziós fajoknál és a lokális terjedésre képes *B. ischaemum*-nál (2. ábra, a különbség *C. dactylon*-tól nem szignifikáns). A fényintenzitás mérséklődésekor a fotoszintézis visszaesése

(t_{Adrop}) szignifikánsan gyorsabb volt mint a sztómák záródása (t_{gdrop}) kivéve *S. halepense*-t, ahol a kettő nem különbözött (2. ábra). Ez igen hatékony sztómaműködést jelez *S. halepense*-nél, aminek eredménye, hogy ennél az egy fajnál nem okozott vízhasznosítási hatékonyság veszteséget a magas fényről alacsony fényintenzitásra kerülés. *Sorghum halepense* sztómányitottsága jó „fénykövető” képességének szerepe lehet abban, hogy ez a fűfaj sikeresen népesít be időben változó fényklímájú élőhelyeket. A fenyércirok ugyanis egyik sikeres gyomnövénye a magas állományt képező haszonnövényeinknek (hazánkban leggyakrabban a kukoricának), amelyekben a levélzetre érkező fény mennyisége – a felhőzet változása mellett – a haszonnövény lombsátrának árnyékolása miatt is időről időre változhat, különösen széles időben. Az inváziós *S. halepense* és *C. dactylon* fajok egyensúlyi sztómás konduktanciájának erőteljesebb csökkenése (Delta gs) – a nettó fotoszintézis ütemének mérséklődéséhez (Delta A) viszonyítva (3. ábra) – pillanatnyi vízhasznosítási hatékonyságuk növekedését, azaz a vízmegtakarítás fokozódását eredményezte a mérsékelt fényintenzitáshoz tartozó egyensúlyi állapotban a magas fényintenzitáción mérthez képest, ami (szemi)arid élőhelyen előnyt jelenthet. Mindkét gázcsere változó (Delta gs, Delta A) esetében *C. dactylon* szignifikánsan felülmúlta a többi fajt (3. ábra).

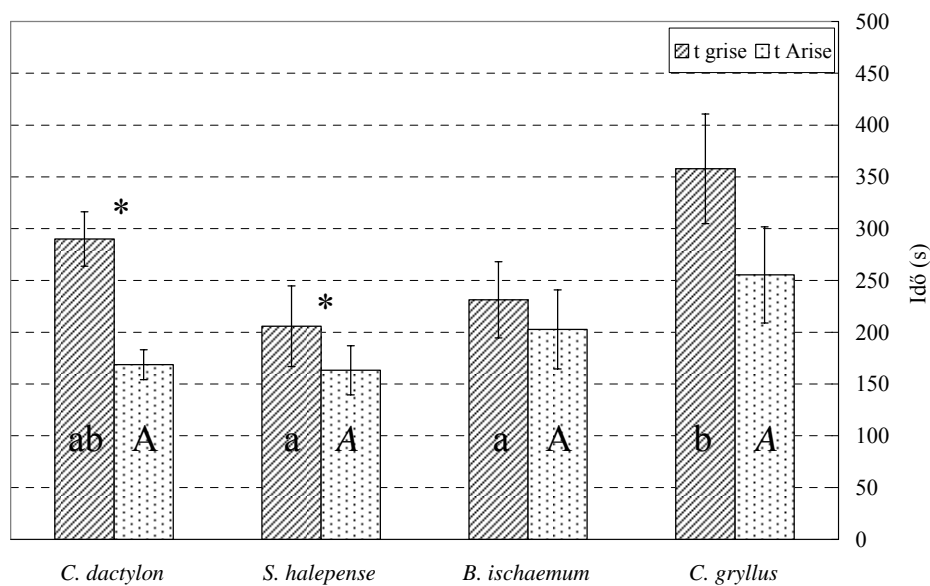


2. ábra. A fényintenzitás 1300-ról 270 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ csökkentésekor az új egyensúlyi érték beállításához szükséges idő a sztómás vízgáz konduktancia (t_{gdrop}) és a nettó fotoszintézis ütem (t_{Adrop}) esetében. Változónként az azonos betűt viselő oszlopok szignifikánsan nem különböznek. Az oszloppárok feletti csillag az adott fajnál a két változó szignifikáns különbségét jelzi.

Az alacsony fényhez inkubált leveleknél a fényintenzitás magas szintre emelésekor a fotoszintetikus indukció (t_{Arise}) nem volt gyorsabb az inváziós mint a nem inváziós fajoknál (4. ábra). Ugyanakkor az inváziós *C. dactylon*-nál és *S. halepense*-nél a sztómák nyitódása (t_{grise}) hosszabb időt vett igénybe mint a fotoszintézis fokozódása (t_{Arise}), míg a nem inváziós *B. ischaemum* és *C. gryllus* esetében nem volt szignifikáns különbség e két változóban (4. ábra). Ez az inváziós fűvek hatékonyabb vízhasznosítására utal a fényintenzitás növekedésekor is.



3. ábra. A két fényintenzitás-értékhez (1300 ill 270 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$) tartozó egyensúlyi levél gázcsere intenzitás különbsége (%) a sztómás vízgőz konduktancia (Delta gs) és a nettó fotoszintézis (Delta A) esetében. Változónként az azonos betűt viselő oszlopok szignifikánsan nem különböznek. Az oszloppárok feletti csillag az adott fajnál a két változó szignifikáns különbségét jelzi.



4. ábra. A fényintenzitás 270-ről 1300 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ emelésekor az új egyensúlyi érték beállításához szükséges idő a sztómás vízgőz konduktancia (t_{grise}) és a nettó fotoszintézis ütem (t_{Arise}) esetében. Változónként az azonos betűt viselő oszlopok szignifikánsan nem különböznek. Az oszloppárok feletti csillag az adott fajnál a két változó szignifikáns különbségét jelzi.

Eredményeink tehát megerősítik azt a feltételezésünket (H_1), miszerint egyes C_4 -es inváziós fűfajoknál – tömegben nem terjedő rokonukhoz képest – gyorsabb és hatékonyabb a gázcsere nyílások működésének szabályozása a rendelkezésre álló fény mennyiség csökkenésekor. Vizsgálataink alapján viszont nem támogatott (H_2), vagyis fényintenzitás hirtelen növekedésekor a fotoszintetikus fényindukció nem hatékonyabb a vizsgált inváziós fűveknél, mint a nem inváziósoknál. Ezek értelmezésénél fontos, hogy vizsgálati objektumaink C_4 -es pázsitfűvek voltak, melyek fényben gazdag élőhelyhez alkalmazkodtak. Ilyen élőhelyen változékony fényklímában a vízmegtakarítás fokozása (gyors környezeti

sztómaválasz) jobban megtérülő lehet, mint a fényhasznosítás hatékonyságának emelése (gyors fotoszintetikus indukció).

Publikációk: Az eredményekből készülő közleményünk #18 (Mojzes, A., Kalapos, T.: *Leaf gas exchange response to rapid change in irradiance for two invasive and two non-invasive C4 grass species*) folyóirathoz benyújtása várhatóan 2007 áprilisában. Konferencia absztrakt: #17 (Kalapos et al. 2007).

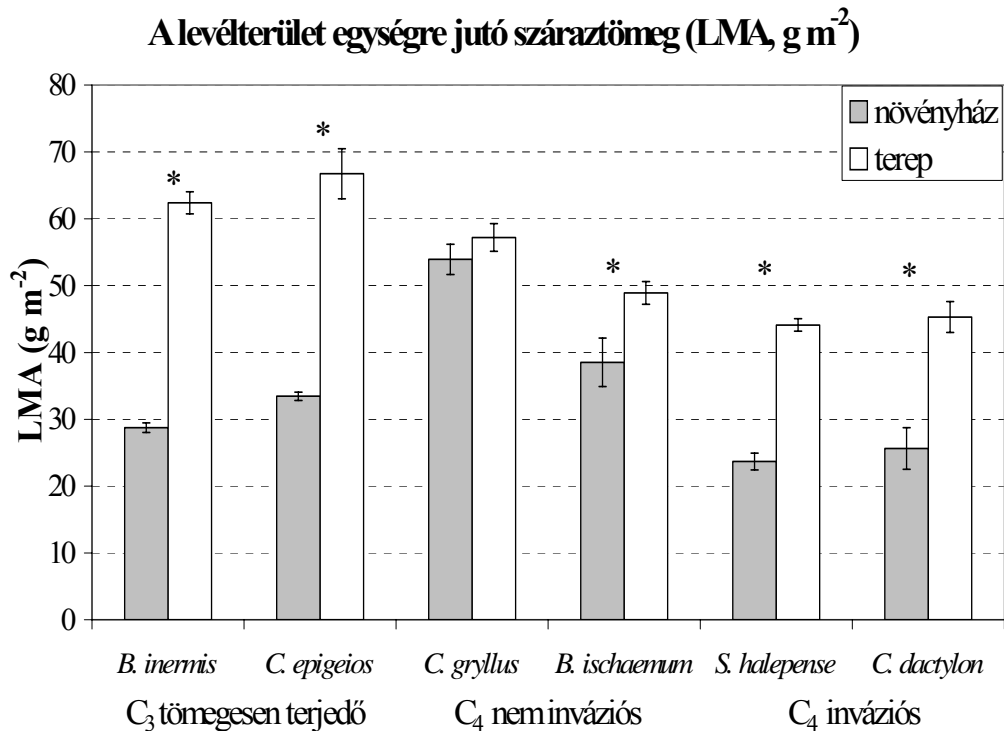
3.) Az alacsony fényintenzitáshoz idomulás képessége

Az új élőhelyeket sikeresen elfoglalni képes inváziós fajok gyakrabban szembesülnek az abiotikus környezeti tényezők széles skálájával, így a fényklíma térbeli vagy időbeli változékonyságával, mint a tömegben nem terjedő rokonaik, s ez megkövetelheti élettani folyamataik és a hozzájuk kapcsolódó struktúrák nagyfokú plasztikusságát. A levél morfológiájának és anatómiai szerkezetének módosulási képessége fontos eleme a növény eltérő fénykörnyezethez idomulásának. Jelen vizsgálatban hat évelő pázsitfűfajnál hasonlítottuk össze az eredeti, fényben gazdag termőhelyen ill. a növényházban alacsony fényintenzitáson nőtt növények levelének morfológiáját és szöveti szerkezetét. Feltételeztük, hogy (H₁) az inváziós C₄-es fűfajok mérsékelt fényintenzitással szemben mutatott plasztikussága nagyobb a nem inváziós C₄-esekénél, és (H₂) a tömegesen terjedésre képes (inváziós vagy őshonos) fűfajok közül, a C₄-esek plasztikussága alulmarad a rokon C₃-asokénak (a C₄-esek levélen belüli sajátos CO₂ sűrítő mechanizmusa a struktúra és funkció szoros egymásra utaltságát hordozza, ezért itt feltételezhető a struktúra kisebb plasztikussága).

Feltételezésünknek (H₁) megfelelően, a C₄-es fűvek közül, az inváziós *Sorghum halepense* és *Cynodon dactylon* nagyfokú plasztikusságot mutatott a levelek területében és textúrájában (fajlagos tömeg és vastagság) alacsony fényintenzitás hatására. A nem inváziós *Chrysopogon gryllus*-nál, mindezeket a sajátságokat tekintve, feltűnő állandóságot tapasztaltunk, a mezofillum részeseződésében és a parenchimatikus nyalábhüvely vastagságában bekövetkezett módosulások pedig kisebb mértékűek voltak, mint *C. dactylon*-é. Ám a két C₄-es inváziós fű plasztikussága, a levelek textúrájában és anatómiájában – hipotézisünkkel (H₂) ellentétben – nem maradt alul a C₃-as, tömegesen terjedő *Calamagrostis epigeios*-ének és *Bromus inermis*-ének. Sőt, a szállító- és szilárdító szövetek relatív mennyiségében *S. halepense* mutatta a legnagyobb variációt. A levelek vastagsága és fajlagos tömege mind a négy tömegesen terjedő fűfajnál nagymértékben módosult a fényklíma megváltozásával (5. ábra), ami megerősíti, hogy LMA és plasztikussága fontos meghatározója lehet egyes inváziós vagy tömegesen terjedő őshonos fajok sikerességének. *Bromus inermis* leveleinek a fényklímával szemben mutatott nagyfokú morfológiai és anatómiai plasztikussága összhangban van azzal, hogy a fűfaj eredetileg felnyíló lőszölgýeseinknek és szegélyeinek, tehát heterogén fényklímájú élőhelyeknek volt az egyik jellemző fűve. Ez a plasztikusság egyben hozzásegítheti *B. inermis*-t sikeres invázióvá válásához az Észak-amerikai mérsékletövi gyepekben. Az őshonos, tömegben nem terjedő C₄-es *Bothriochloa ischaemum* plasztikussága köztesnek bizonyult *C. gryllus*-é és a két inváziós C₄-es fűé között.

Eredményeink arra utalnak, hogy az inváziós C₄-es fűfajok mérsékelt fényintenzitással szemben mutatott plasztikussága, leveleik morfológiájában és szöveti szerkezetében, meghaladja nem inváziós C₄-es rokonaikét, ami hozzájárulhat tömegesen terjedésük sikerességéhez heterogén fényklímájú élőhelyeken. Mért adataink nem támogatják azonban azt a hipotézisünket, hogy az inváziós C₄-es fűvek ilyen plasztikussága alulmarad a térben változatos vagy időben változó élőhelyeket nagy tömegben elfoglalni képes C₃-asokénak.

(E vizsgálatban nemzetközi együttműködés keretében tevékenyen részt vett dr. Lijuan Han kínai vendégkutató, aki egyéves államközi ösztöndíjjal tanszékünkön tartózkodott.)



5. ábra. A levélterület-egységre jutó száraztömeg (LMA, fajlagos lavéltömeg) félszáraz pusztai termőhelyen és növényházban alacsony fényintenzitáson nevelt különböző inváziós hajlamú fűfajok leveleinél. Az oszloppárok feletti csillag az adott fajnál a két változó szignifikáns különbségét jelzi.

Publikációk: Az eredményinkből készült kéziratot #16 (Han, L., Mojzes, A., Kalapos, T.: *Leaf morphology and anatomy in two contrasting environments for C3 and C4 grasses of different invasion potential*) folyóirat visszautasította, átdolgozás alatt, közlésre benyújtás várhatóan 2007 májusában. Konferencia kiadvány: #15 (Kalapos et al. 2006); Konferencia absztrakt: #17 (Kalapos et al. 2007).

4.) Ozmótikus ill. szöveti képlékenységbeli idomulás

Itt arra voltunk kíváncsiak, hogy időszakos vízhiány hatására a levél vízállapotát meghatározó két jelentős komponens, az ozmótikumok mennyisége ill. a sejtfa elaszticitása eltérő mértékben változik-e inváziós és nem inváziós füveknél. Az 5. témánál bemutatott, klímaváltozást szimuláló terepi kísérletben végzett szárazság- és hőkezelésben 2 pázsitfű, a C₃-as nem inváziós *Festuca vaginata* és a C₄-es inváziós *Cynodon dactylon* szerepelt vizsgálatunkban. A május-július időszakban 2005-ben kétfő, 2006-ban három alkalommal mintavételeztünk és végeztük el laboratóriumban az ún. nyomás-térfogat (p-V) analízist (a vizét lassan vesztő levélben a víztartalom és a víz energiaállapotát jelző vízpotenciál szimultán sorozatmérését), melynek adataiból számítható, hogy a levél a csökkenő vízellátáshoz a sejtek ozmótikusan aktív anyagainak felhalmozásával és/vagy a sejtfa képlékenysége (elaszticitásának) módosításával válaszol-e. A méréseket elvégeztük az adatok statisztikai értékelésével a zárójelentés összeállításakor még nem végeztünk, az eredmények publikációja itt később várható.

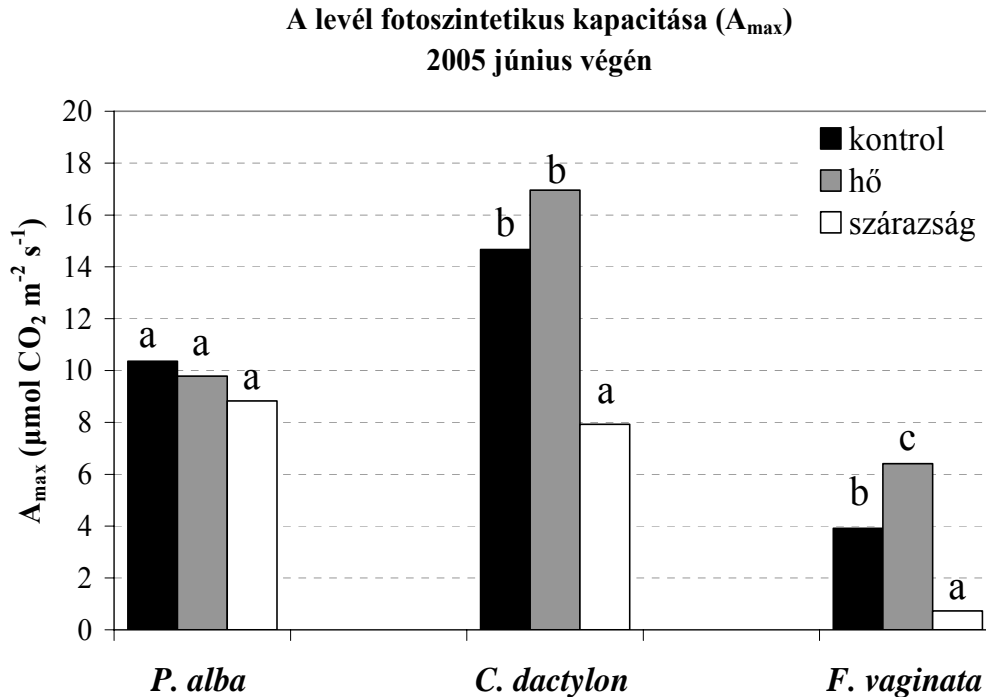
Egy módszertani részvizsgálatot is folytattunk. A p-V analízist hosszadalmassá teszi a levél vízpotenciál higrometriás mérése, mert a mintakamrában a szükséges páraegyensúly beállása akár 4-5 órát is igénybe vehet. Szakirodalmi ajánlások alapján megpróbáltuk ezt lerövidíteni a levél kutikulájának dörzsöléses felsértésével. Bár a páraegyensúly valóban gyorsabban beállt az így kezelt leveleknél (*C. dactylon*-nál pl. 1,5 óra alatt), ám a dörzsölés alatt már jelentős vizet veszített a levél, a pV-analízis 1/Pszi - WSD görbéinek lefutása a dörzsölt mintáknál nem volt szabályos, a kezdeti (turgorvesztéses) esés meredeksége kicsi, sokszor nem különíthető el élesen a második, laposabb szakasztól. Tehát a módszer nem alkalmazható, műtermékhez vezet.

Publikáció: Ebben a témakörben még nem publikáltunk. A problémával is foglalkozó konferencia kiadvány: #5 (Kalapos 2004).

5.) Az asszimilációs kapacitás megőrzése abiotikus stressz (pl. vízhiány) idején

Az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézetével együttműködésben zajló egy, a klímaváltozást szimuláló terepi kísérletben hasonlítottuk össze az inváziós *C₄*-es *Cynodon dactylon* és a *C₃*-as őshonos nem inváziós *Festuca vaginata* fűfajokat, ill. a gyepet gyökérsaraival kolonizáló fehér nyárat (*Populus alba*). Éjszakai 1 C fokos léghőmérséklet emelés (hőkezelés) ill. május-júniusi 60-160 mm csapadék kizárás (szárazság) voltak a kezelések a kontroll mellett.

Átlagos időjárású évben (2005) a kísérleti kezeléseknél mindhárom növényfajnál hasonlóan legtöbbször nem volt jelentős hatása a fotokémiai működésre: a maximális fotokémiai hatékonyság (F_v/F_m) értékek jelentősebb fénygátlástól mentes működést jeleznek. A rendkívüli, tavasszal aszályos 2003-ban *F. vaginata* működése esett vissza a legerősebben, amit a kísérletes szárazságkezelés tovább csökkentett: a júniusi F_v/F_m hajnalban is 0,6 alatt maradt, mutatva a tartós fénygátlást. Ugyanekkor *P. alba* ebben a változóban nem különbözött a 2005-ös korlátozásmentes mintázattól, míg *C. dactylon*-nál csak a szárazságkezelt parcellában volt gyenge csökkenés. A legtöbb faj növekedési csúcstevékenysége idején (május-júniusban) alkalmazott, mintegy két hónapos csapadékkizárás a levél fotoszintetikus kapacitását (A_{max}) 2005-ben legjelentősebben (70%-al) *F. vaginata*-nál fogta vissza, *C. dactylon* mérséklődése 53%-os volt, míg *P. alba*-nál nem volt szignifikáns változás (6. ábra). Ugyanekkor a hőkezelés szignifikánsan serkentette *F. vaginata* fotoszintézisét a kontrollhoz képest (6. ábra). A fotoszintézis molekuláris struktúráit a magas fényintenzitás károsításától védő karotinoid pigmentrendszer *F. vaginata*-nál tartósan magas szintű volt, míg a másik két fajnál ez a változó jelentős környezetfüggő varianciát mutatott. A hőigényes, fejlődését a *C₃*-as gyepalkotóké kb. egy hónapos késéssel (májusban) kezdő *C₄*-es *C. dactylon* fiatal hajtásainak fotokémiai működése érzékenynek mutatkozott az alacsony (fagyponthoz közeli) hajnali hőmérséklet hatására: 2004 májusában *C. dactylon* hajnali F_v/F_m értéke csak a hőkezelt parcellában volt fénygátlástól mentes 0,8 feletti, valamint 2005 májusban a karotinoid/klorofill pigmentarány szignifikánsan alacsonyabb maradt a hőkezelt parcellákban mint a kontrollban vagy a szárazságkezeltben, mutatva ezzel a fényvédő karotinoidok kisebb jelentőségét a hőkezelésnek köszönhetően.



6. ábra. A fotoszintetikus kapacitás (A_{\max}) terepi kísérletben hő- ill. szárazságkezelés hatására homokpusztagyepben az inváziós *Cynodon dactylon* és a nem inváziós *Festuca vaginata* fűfajoknál, valamint a gyepet gyökérsarjaival kolonizáló *Populus alba*-nál. Fajonként az azonos betűt viselő oszlopok (kezelések: hő, szárazság ill. kontroll) szignifikánsan nem különböznek.

Publikációk: Konferencia kiadvány: #14 (Kalapos et al. 2006); Konferencia absztrakt: #9 (Kalapos et al. 2005); Egyéb: #6 (Kalapos et al. 2004).

6.) A csírázás hőigényében eltérnek-e az invázós és nem invázós C4-esek?

Itt azt a hipotézist teszteltük, hogy a tömegesen terjedő (idegenhonos inváziós vagy őshonos lokális térfoglaló) fűfajok csírázását jobban serkenti-e a hőmérséklet napi ingadozása, mint a tömegben nem terjedő, hasonló élőhelyen jellemző rokonaikét. A hőingadozás a csupasz talajfoltokon fokozottabb mértékű egy zárt növényzettel borított talajfelszínhez viszonyítva, s ez szerepet játszhat az inváziósok sikeres megtelepedésében.

Első kísérletünkben inváziós képességében eltérő öt pázsitfűfaj csírázását vizsgáltuk állandó ill. napi ingadozó hőmérséklet hatására. Két C_3 -as fotoszintézisű fűfaj (egyik tömegesen terjedő, másik nem terjedő), valamint három C_4 -es fű (egy regionális léptékben tömegesen terjedő, egy bolygatásra lokálisan elszaporodó és egy tömegesen nem terjedő faj) csírázását hasonlítottuk össze $21 \pm 0,5$ °C-os állandó hőmérsékleten (kontroll) és hatnapos hőmérséklet-ingadozás (8 óra 30 ± 3 °C, 16 óra $21 \pm 0,5$ °C) hatására. A hőkezelés 43%-kal magasabb csírázási százalékot eredményezett a tömegesen terjedő, C_3 -as *Calamagrostis epigejos*-nál a kontrollhoz viszonyítva. A tömegesen nem terjedő, endemikus *Festuca vaginata* csírázását a hőkezelés nem serkentette, sőt trend jelleggel mérsékelte is. Az inváziós, C_4 -es *Eleusine indica* csírázását a hőmérsékletingadozás csak mintegy három hetes előnedvesítést követően indította meg, szignifikánsan lerövidítve a csírázás kezdetéig eltelt késlekedési (lag) periódus hosszát az állandó hőmérsékleten tartott magokéhoz viszonyítva. Hőkezelés hatására a tömegesen nem terjedő *Chrysopogon gryllus* háromszor, az *E. indica*

pedig 49%-kal nagyobb csírázási százalékot ért el, mint a kontrollban, de a hőkezelt *E. indica* magok csírázási sebessége kb. 3,6-szerese volt a *C. gryllus*-énak. A bolygatásra lokálisan dominánssá váló *Bothriochloa ischaemum* csírázását a hőmérsékletingadozás nem befolyásolta egyértelműen.

Második kísérletünkben újabb fűfajokat vontunk be és bővítettük a mérési protokollt: egy rövidebb (2 napos) és egy hosszabb (6 napos) hőkezelést alkalmaztunk. Összesen 8 fűfajt teszteltünk. A vizsgálatban négy C₃-as fotoszintézisű (az Észak-Amerikában inváziós *Bromus tectorum* és *Bromus inermis*, valamint a nem inváziós *Secale sylvestre* ill. *Bromus ramosus*) és három C₄-es fotoszintézisű (a nem inváziós *Chrysopogon gryllus*, az inváziós *Sorghum halepense* és *Tragus racemosus*) faj szerepelt. Annak eldöntésére, hogy a csírázást a napi hőmérsékletingadozás vagy csupán a magas hőmérséklet serkenti-e, a vizsgálat során két hőkezelt (napi 8 óra 30±3°C és 16 óra 21±0,5°C kettő illetve hat napon keresztül) csoport csírázását vizsgáltuk egy kontrollal (konstans 21±0,5°C) szemben. A hőkezelésnek csak néhány faj esetében volt hatása. A nem inváziós C₄-es *Chrysopogon gryllus*-nál a csírázás megindulásáig tartó késlekedési (lag) periódust mindkét hőkezelés markánsan csökkentette, viszont a csírázási százalékot csak a hatnapos hőkezelés emelte jelentősen, a kétnapos nem. A nem inváziós C₃-as *B. ramosus*-nál a nem hőkezelt kontroll tendenciózusan lassabban csírázott a hőkezeltéknél. Az inváziós C₄-es *S. halepense*-nél mindkét hőkezelés szignifikánsan emelte a csírázási százalékot a kontrollhoz képest, míg az ugyancsak inváziós *T. racemosus*-nál egyik csírázási változóra sem volt hatása a hőkezeléseknek. Csírázási százalék tekintetében a legjelentősebb különbség a fotoszintézis típusban mutatkozott, ugyanis a C₄-es fajok általában alacsonyabb csírázási százalékokat értek el, mint a C₃-as fűvek (kivéve *S. halepense* kétnapos hőkezelt csoportjai) és a hőkezelések (egyik v. mindkettő) jelentősen emelték a csírázási sikert, míg a C₃-as fajoknál nem volt jelentős hatása. Ezt a mintázatot a C₄-es fajok magasabb csírázási hőigénye magyarázza.

Eredményeink alapján a csírázás tekintetében jóval összetettebb a kép, mint amit hipotézisünkben megfogalmaztunk. A hőingadozás a C₄-es fűveknél általában serkentette a csírázást, a C₃-asoknál viszont nem (kivéve *C. epigeios*). Az inváziós képesség szerint nem váltak el C₄-es fajok: a hőkezelés egyaránt serkentette inváziós fűvek (*E. indica*, *S. halepense*) és a nem inváziós *C. gryllus* csírázását, míg az inváziós *T. racemosus* és a lokális térfoglaló *B. ischaemum* csírázására nem volt hatással. Általánosabb következtetések levonásához több faj bevonása szükséges és figyelembe veendő specifikus csírázásbiológiai sajátosságok is (mint pl. a nedves utóérés *E. indica*-nál).

Publikációk: Könyvfejezet: #11 (Csontos & Kalapos 2006); Folyóirat közlemény: #4 (Csontos 2004), #7 (Mojzes & Kalapos 2004); Konferencia absztrakt: #13 (Gröb et al. 2006).

7.) A gyökér mikorrhizáltsága inváziós és nem inváziós fűfajoknál

Az eredeti munkatervben ennek a kérdésnek a vizsgálata nem szerepelt, ám munkánk során merült fel fontossága. Bár a mikorrhiza-kapcsolat nem gazdaspecifikus, a növényfajok növekedésére különböző gombataxonok különböző hatással lehetnek. Mivel az általunk kiválasztott inváziós fajok az adott élőhelyen nem honosak kérdésként merülhet fel, vajon megtalálják-e a számukra kedvező gombapartneret egy idegen élőhelyen. Vizsgálatunkban az inváziós és nem inváziós fajok mikorrhizáltsága közti különbségeket határoztuk meg magyarországi szárazgyepekben. Olyan, közel rokon fajok esetében mértük meg a gyökerek mikorrhizáltságát, amelyek között van C₄-es és C₃-as fotoszintézisű, valamint inváziós (sokféle élőhelyen terjedő, idegenhonos faj), lokális térfoglaló (honos faj, mely élőhelyén

bizonyos hatásokra tömegesen elszaporodhat), és nem-inváziós (tömeges elszaporodást nem mutató őshonos) faj:

Fotoszintézis	Inváziós	Lokális térfoglaló	Nem inváziós
C ₄	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Bothriochloa ischaemum</i>	<i>Chrysopogon gryllus</i>
C ₃	<i>Calamagrostis epigeios</i>	<i>Brachypodium pinnatum</i>	<i>Bromus inermis</i>

A mikorrhizáltság gyakorisága az összes vizsgált faj esetében közel 100%-os volt, ami azt mutatja, hogy az inváziós fajok is tudtak találni olyan gombapartner(ek)e)t, amivel szimbiózist alakítottak ki. Ez nem meglepő, hiszen a legtöbb növényfaj vezikuláris-arbuszkuláris mikorrhiza asszociációt hoz létre. A mikorrhizáltság intenzitásában, és az arbuszkulumok gyakoriságában viszont különbség mutatkozott inváziós és nem inváziós fajok között. Mind a C₄-es, mind a C₃-as fajok esetében az inváziós, a vizsgált élőhelyen idegenhonos növényeket kevésbé kolonizálták vezikuláris-arbuszkuláris gombák. Az arbuszkulum-tartalom pedig nagyon alacsony, kevesebb, mint 10% volt az inváziós növényeknél. Bár a számukra idegen élőhelyen az özönnövények tudnak mikorrhiza kapcsolatot kialakítani az ottani gombafajokkal, az kisebb mértékű, mint a honos növényfajoknál. Az arbuszkulumok kis gyakorisága azt mutatja, hogy az anyagtranszport a növény és a gomba között igen csekély mértékű. Így a vizsgált közösségben valószínű, hogy a honos fajok jobban ki tudják használni a mikorrhiza nyújtotta előnyöket, mint az inváziós fajok.

Publikációk: Konferencia-kiadvány: #12 (Endresz et al. 2006).

Az itt felsoroltakon kívül az eredeti munkatervben még egy probléma vizsgálatát tűztük ki: a biomassza allokáció megoszlásának plaszticitását a növény fő részei (gyökér, szár, levél, reproduktív részek) között stresszhatásra inváziós és nem inváziós fűveknél. Ezt a problémát végül nem vizsgáltuk, helyette a nemzetközi szakirodalomban is újdonságnak számító, eredetileg nem terezett mikorrhizáltsági összehasonlítást (7. pont) végeztük (ill. a pályázat zárultával is folytatjuk).