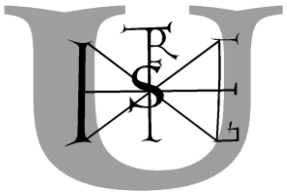
10.14751/SZIE.2019.027



SZENT ISTVÁN EGYETEM

GYOMÁLLOMÁNYOK KOMPLEX ÖKOFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA; AZ EGYES KLÍMAELEMEK HATÁSA AZ ÖKOFIZIOLÓGIAI PARAMÉTEREKRE

Doktori (PhD) értekezés

NÉMETH ZOLTÁN

Gödöllő
2018

10.14751/SZIE.2019.027

A doktori iskola

megnevezése: Biológia Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Biológia tudományok

vezetője: Dr. Nagy Zoltán
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar,
Növénytani és Ökofiziológiai Intézet

témavezető: Dr. Czóbel Szilárd
egyetemi docens, PhD
SZIE, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar,
Természetvédelmi és Tájökológiai Intézet

....

Dr. Nagy Zoltán
iskolavezető

Dr. Czóbel Szilárd
témavezető

10.14751/SZIE.2019.027

TARTALOMJEGYZÉK

1. JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE 4
2. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK 5
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 8
4. VIZSGÁLATOK OBJEKTUMAI ÉS MÓDSZEREI 14
4.1. Vizsgálatok objektumai 14
4.2. Vizsgálatok módszerei 18
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 26
5.1. Csírázási kísérletek 26
5.2. Meteorológiai vizsgálatok 27
5.3. Fenológiai vizsgálatok 30
5.3.1 Tőszám vizsgálatok 30
5.3.2 Hajtások átlagos magassága 32
5.3.3 Virágzás, terméskötés 34
5.5. NDVI adatok 36
5.6. Biomassza vizsgálatok 38
5.7. Pigment tartalom vizsgálat 42
5.8. Talajlégzés (R_{eco}) mérések 44
5.9. CH_4 és N_2O mérések 49
5.10. Nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) vizsgálatok 55
5.10.1. Az NEE fény-, hőmérséklet- és evapotranspiráció függése 60
5.11. Új tudományos eredmények 63
6. KÖVETKEZTETÉSEK 65
7.1. ÖSSZEFOGLALÁS 68
7.2. SUMMARY 70
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 72
9. IRODALOMJEGYZÉK 73

1. JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Ama ret: *Amaranthus retroflexus*

Art vul: *Artemisia vulgaris*

Che alb: *Chenopodium album*

ET: evapotranszspiráció

FAB: föld alatti biomassza

FFB: föld feletti biomassza

NDVI: normalizált vegetációs index (Normalised Difference Vegetation Index)

NEE: nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere (Net Ecosystem Exchange)

PAR: fotoszintetikusan aktív sugárzás (Photosynthetically Active Radiation)

R_{eco}: ökoszisztéma-respiráció (talajlégzés)

Sor hal: *Sorghum halepense*

SWC: talaj víztartalom (soil water content)

T_{air}: léghőmérséklet (Air Temperature)

T_{soil}: talaj hőmérséklet (Soil Temperature)

WUE: vízhasznosítási hatékonyság (Water Use Efficiency)

2. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban a nemzetközi ökoszisztéma kutatások egyik fő célkitűzése a kulcsfontosságú üvegházhatású gázok (CO_2, N_2O és CH_4) ciklusainak mérése eltérő élőhelyeken (pl. YAMUKI et al. 1997, MACDONALD et al. 1998, DONG et al. 2000, PAPEN et al. 2001, HEFTING et al. 2003, HORVÁTH et al. 2006). Az eddigi európai és hazai projektek jellemzően füves-, cserjés-, vízi- és vízparti-, illetve erdei ökoszisztémákat, azok növénytársulásait vizsgálták, pedig a mezőgazdasági ökoszisztémák fontos elemei a globális szénmérlegnek (GAO et al. 2017). A mezőgazdasági területek talajlégzése önállóan is fontos komponense bolygónk szénmérlegének (ZHANG et al. 2013). A gyomfajok megkerülhetetlen részei az agroökoszisztémáknak, valamint befolyásolják a termesztett növények produkcióját (NÉMETH et al. 2010). A klímaváltozás egyik győzteseiként (SINGH et al 2016) a gyomok térhódítása folyamatosan nő. Meglepő módon a gyomállományok üvegházhatású gáz fluxusai alig kutatottak, pedig széleskörű elterjedésük és folyamatos térhódításuk miatt befolyásolhatják egy adott terület szénmérlegét. Számos gyomfaj ökológiai jellegzetességei jól feltártak (pl. HOLZER & NUMATA 2013, ČEKIĆ & KOVAČEVIĆ 2015, KLEUNEN et al. 2015), azonban ökofiziológiai viszonyaik, különösen állományszinten alig vizsgáltak. Jelen munka egy nemzetközi- és hazai szinten egyaránt alapvetően új szemlélet- és közelítésmódot jelent a gyomállományok kutatásában. Eddig komplex jellegű (állományszintű CO_2-fluxus mérések, fenológiai és produkció vizsgálatok), több gyomfajt felölelő – manipulatív kísérleteket is magukba foglaló – párhuzamos szünfiziológiai és ökológiai vizsgálatokat még nem végeztek gyomfajok esetén. Az ilyen, több tudományterületet felölelő kutatások eredményeként az eddig igen kevés bizonyítékkal alátámasztott növényi szünfiziológiai folyamatok meglétének további igazolása és újabb állomány-fiziológiai jellemzők leírása is várható. A kiválasztott gyomfajok CO_2-, N_2O- és CH_4 fluxusainak vizsgálata révén becsülhetővé válik, hogy a parlagon hagyott területek, és felgyomosodott tarlók hogyan járulhatnak hozzá az agro-ökoszisztémák szénmérlegéhez, valamint az üvegházhatású gázok ciklusához

Eltérő fiziognómiájú és különböző növényi funkciós csoportot képviselő archeofiton és neofiton gyomfajok vizsgálata révén megismerhetjük ezen állományok és az általuk dominált növénytársulások szupraindividuális fiziológiai diverzitását és egyben általánosíthatunk a gyomvegetáció szünfiziológiai működésére. A vizsgálandó gyomállományok komplex ökofiziológiai feltárása és széndioxid-fluxusának mérése egyben kiindulási alapként szolgálhat a jövőben ezen állományok, illetve az általuk dominált növényközösségeknek a globális klímaváltozás hatására bekövetkező átalakulásának monitorozásához.

A gyomnövények ökofiziológiájának jobb megismerése elősegítheti olyan új védekezési stratégiáknak a kidolgozását is, ami meggátolja ezen taxonok terjedését, ezáltal elősegítve gazdasági- és népegészségügyi szempontból egyaránt kívánatos visszaszorításuk.

Fentiek miatt kutatásom fő célkitűzése öt Közép-Európában (LOSOSVÁ et al. 2006) jelentős elterjedésű gyomfaj, az *Amaranthus retroflexus, Ambrosia artemisiifolia, Artemisia vulgaris, Chenopodium album, Sorghum halepense* állományszintű teljes vegetációs időszakot lefedő, összehasonlító ökofiziológiai (üvegházhatású gázok fluxusai és azok fény, fotoszintetikusan aktív radiáció és hőmérséklet függése), szünfenetikai és produkcióbiológiai vizsgálata volt.

A növényfajok kiválasztásánál figyelembe lett véve, hogy egyaránt reprezentálva legyenek az archeofitonok, a neofitonok, a különböző növényi funkciós csoportok (C_3, C_4; therophyta, kryptophyta), valamint különböző rendszertani csoportokba tartozó taxonok (3 család, 5 nemzetség). Az őshonos gyomok mellett a vizsgálatban szerepelnek, özönfajok is, melyek biológiai inváziora képesek, és egyre nagyobb térhódításuk révén a biológiai sokféleség egyik legjelentősebb veszélyforrása lehetnek (BOTTA-DUKÁT 2012). A bolygatott területeken nemcsak az invazív, de az őshonos gyomfajaink is fontos természetvédelmi szerepet kapnak. A kultúrnövények termésének csökkentése révén a gyomfajok nemcsak fontos természetvédelmi veszélyforrást jelentenek, de jelentős gazdasági károkat is okozhatnak (CANNER et al. 2009).

A gyomfajok teljes vegetációs ciklusát lefedő kutatás az első évben (2008) 27, 2009-től 33 állományfolton (véletlen blokk elrendezésben), *ex situ* körülmények között történt Szent István Egyetem Gödöllői Botanikus Kertjében.

A kutatás egyik fő súlypontja a kiválasztott fajok CO_2 fluxusainak fajspecifikus mérése volt állomány szinten (NEE nyílt kamrás-, R_{eco} zárt kamrás technikával), annak megismerése, hogy miként járulhatnak hozzá az agro-ökoszisztémák szénmérlegéhez. A gyomállományok talajának N_2O és CH_4 fluxusainak vizsgálata (zárt kamrás techikával) révén a vizsgált taxonok által borított területek kulcsfontosságú üvegházhatású gázainak ciklusianak becslése. Az üveghézhatású gázok ciklusának vizsgálatával párhuzamosan folyamatosan cél volt a állományok tőszámának, átlgos és maximális magasságának, biomassza produkciójának valamint fenofázisa adatainak rögzítése is.

A globális felmelegedés következtében a szélsőséges éghajlati események regionális skálán bekövetkező gyakorisági vagy intenzitásbeli változásai lényeges szerepet játszanak az éghajlati rendszer ökológiai és társadalmi rendszerekre gyakorolt hatásaiban. Így a klimatológiai extrémumokban nyomon követhető módosulások alapvetően meghatározzák ezen rendszerek alkalmazkodó-képességét (BARTHOLY & PONGRÁCZ 2005). A Kárpát-medencére előre jelzett szélsőséges klímaévek hatásainak vizsgálatára az *Amaranthus retroflexus* (C_4) és a *Chenopodium album* (C_3) fajokkal manipulatív kísérleteket is végeztem. Ezen eltérő növényi

funkcionális csoportot reprezentáló gyomfajokból a kontroll állományok mellett taxononként és kezelésenként 3-3 ismétlésben részlegesen csapadékkizárt, illetve öntözött foltokat hoztam létre. A klímaváltozással együtt járó csapadékviszonyok változása befolyásolja az invazív fajok őshonosakra gyakorolt hatását is (DUKES 2000, HELLMANN et al. 2008), mely kihangsúlyozza a manipulatív kísérletek fontosságát is. Kutatásom másik fő célja a kezelt állományok példáján vizsgálni az eltérő fotoszintézis típusba tartozó gyomok reakcióit a jövőbeli szélsőséges csapadékviszonyok között. A különböző funkcionális csoportok jelen válaszai utalhatnak a jövőbeli különbségekre (WILSON et al. 2018), így az eredmények felhasználhatóak a növényvédelem jövőbeli tervezése számára is.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A kutatáshoz kiválasztott öt növényfaj jelenleg gyomnövénynek számít. A gyom fogalmának számos meghatározás ismeretes (PINKE & PÁL 2005). A legegyszerűbb definíció szerint azon növények, melyek ott fordulnak elő, ahol nem kívánatosak (HUNYADI 2000). Tudomásom szerint a disszertáció tárgyát képező gyomfajok teljes vegetációs ciklusát lefedő, állományszintű szünfiziológiai, illetve szünfenetikai vizsgálatokat eddig még nem végeztek, ezért az alább felsorolt irodalmak csak marginálisan – a gyomnövényzet vizsgálata révén – kapcsolhatók a kutatás témaköréhez, de egyben áttekintést adnak az elmúlt évek gyomnövényzethez kapcsolódó kutatásairól, az ökofiziológiai vizsgálatokra fókuszálva.

A hazánkban előforduló gyomfajok eredetéről, előfordulásáról és ökológiai jellegzetességeiről számos publikáció jelent meg az elmúlt években (pl. MIHÁLY & BOTTA-DUKÁT 2004, PINKE & PÁL 2005). Annak ellenére, hogy a hazai vegetációdinamikai vizsgálatok többsége gyepekhez köthető, egyes kutatók a gyomnövényzet szukcessziós folyamatait is tanulmányozták. BARTHA (2004) – többek között – meddőhányók kezdeti stádiumban gyomfajok dominálta szukcessziójának vizsgálata során megállapította, hogy a növénytársulások regenerálódásakor a degradációval ellentétes irányú folyamat játszódik le, így pl. a fajkombinációk diverzitása növekszik és a maximális diverzitáshoz tartozó karakterisztikus skála kisebb térléptékek felé való eltolódása következik be.

Hazánkban a gyomtársulások közül eddig kizárólag az *Elymus repens* dominálta, évelő, ruderális *Falcario-Agropyretum repentis* társulás állományaiban végeztek állományszintű nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere méréseket CZÓBEL és munkatársai (2005). A kutatók egyrészt térbeli léptékfüggő mérésekre alkalmas kamrasor (7,5 és 240 cm közötti átmérővel) kifejlesztésével vizsgálták az állományfiziológiai válaszok térbeli léptékfüggését, továbbá az egyes állományfoltok térbeli heterogenitását. Méréseik bebizonyították, hogy ezen növényközösségek CO_2-asszimilációjának variabilitása egyértelműen térbeli léptékfüggést mutat. Az NEE legkisebb variabilitását – mely feltehetőleg megegyezik az adott állomány szünfiziológiai minimi areájával – a kis-közepes skálán (d=60 cm) kapták. Tehát az adott időszakban a vizsgált állománynak ez volt az a karakterisztikus léptéke, ahol az állományszintű működés a legstabilabb volt (CZÓBEL et al. 2005). A vizsgált gyomállomány működése szempontjából legoptimálisabb kamraméretben (d=60 cm) a társulás 3 különböző faj dominálta – de heterogén fajösszetételű – állományaiban térbeli heterogenitás vizsgálatot is végeztek Licor6200-as IRGA segítségével, zárt rendszerű metodikával. A 2000. augusztus közepi mérésekből az *Artemisia vulgaris* uralta típusban 7,948-as NEE és 1,468-as WUE (Tair: 32,1°C, PAR: 1468), az *Elymus repens* dominálta foltokban 5,285-ös NEE és 1,031-es WUE (Tair:

31,6°C, PAR: 1275), míg a *Daucus carota* uralta típusban 3,602-es NEE és 0,932-es WUE (Tair: 31,4°C, PAR: 1477) átlagértékeket számítottak. Hazai gyom és termesztett növényállományokon, illetve ezek termesztett növényfajokkal kevert állományain SZENTE et al. (1993a, 1993b) végzett egyed, illetve – biomassza vizsgálatok révén – részben állományszintet is érintő ökofiziológiai vizsgálatokat. A vizsgálati évben 2 alkalommal végzett levélszintű CO_2-asszimilációs mérések alapján megállapították, hogy szárazságstressz ideje alatt a *Chenopodium album* fotoszintetikus rátája alig változott, továbbá a libatop WUE értéke nagyon magas volt – különösen az árnyékleveleknél – a napraforgóval összehasonlítva, ami az alacsony transzspirációs rátával magyarázható. Kultúrnövénnyel kevert állományokban a *Chenopodium* levélszintű fotoszintetikus rátája (a fényleveleknél) és WUE-ja meglepő módon nagyobb volt, mint a faj homogén állományaiban. A gyomfaj reproduktív allokációja nagyobb mértékű volt, mint a napraforgóé, valamint előbbi paraméter vegyes és homogén állományokban egyaránt jól korrelált a WUE-val (SZENTE et al. 1993a). *Amaranthus chlorostachys* esetén szintén nagyon alacsony transzspirációs értéket mértek, ill. ebből következően magas WUE-t számítottak a napraforgóval összevetve. A libatoppal elllentétben a karcsú disznóparéjnál levélexpozíciótól függetlenül minden esetben homogén állományokban volt magasabb a levélszintű nettó fotoszintetikus ráta. A föld feletti és a föld alatti biomassza aránya a disznóparéj homogén állományaiban mindkét vizsgált időszakban nagyobb volt, míg a gyökérzet tömege a két mérési időszakban megegyezett. *Amaranthus chlorostachys*-nál a biomassza össztömege 117 nappal a csírázás után 60g körül volt, melynek kevesebb mint egynegyede (kevert állomány), illetve alig egyhatoda (homogén állomány) volt a gyökérzet részesedése. A WUE és a reproduktív allokáció (vegetatív/reproduktív bimassza) szoros összefüggését ennél a gyomtaxonnál is kimutatták (SZENTE et al. 1993b).

KALAPOS (1991, 1994) és munkatársai (KALAPOS et al. 1997) számos hazánkban előforduló C_3-as és C_4-es taxon (beleértve a kutatásom során kiválasztott *Amaranthus retroflexus*-t, *Chenopodium album*-ot és *Ambrosia artemisiifolia*-t) környezeti igényeit, fenológiai és vízgazdálkodási jellegzetességeit (pl. levélszintű vízpotenciál és vízhiány értékek), szénfixációs stratégiáját és fotoszintetikus teljesítményét vizsgálták és határozták meg egyed-, illetve levélszintű vizsgálatok alapján.

Hazánkban *in situ* állományszintű manipulációs kísérletet eddig döntően gyepállományokban végeztek (pl. VIRÁGH 1982, 1992). Az elmúlt években azonban a vácrátóti ÖBKI kutatói és munkatársaik egy kiskunsági cserjés ökoszisztémában takarással szimulálták a melegedés, valamint – jelen dolgozat egyik manipulációs kísérletéhez hasonlóan, de eltérő metodikát követve – csapadékkizárással a szárazodás hatását a VULCAN elnevezésű, klímaváltozás hatását kísérletesen vizsgáló 5 éves (2000-2004) projekt keretében. Azt tapasztalták, hogy

Magyarországon az erdőssztyepp vizsgált két komponense eltérően reagált a kezelésekre. A *Populus alba* cserjés borításában és biomasszájában nem volt megfigyelhető különbség, ám a taxon hőkezelésre korábbi rügyfakadással és későbbi lombhullással reagált, míg szárazságkezelés hatására csökkent a levelek foszfor tartalma. A *Festuca vaginata* esetében a szárazságkezelt parcellákban és a 2003-as rendkívül aszályos évben kisebb tömegességet, jelentős mortalitást és csökkent regenerációs képességet tapasztaltak, valamint az egyes töveken belül megnőtt a holt részek aránya, jelentősen növelve a tűzveszélyt (KOVÁCS-LÁNG et al. 2003, KALAPOS et al. 2005). Egy másik manipulációs kísérletben (GreenGrass projekt) CZÓBEL és munkatársai (CZÓBEL 2007, CZÓBEL et al. 2008) éjszaka adagolt csapadéktöbblet szünfenetikai, produkcióbiológia és szünfiziológiai hatását vizsgálták *ex situ* löszgyep állományra 3 éven keresztül (2002-2004). Kutatásuk többek között bebizonyította, hogy a vizsgált abiotikus tényezők közül a PAR a léghőmérsékletnél és a talajnedvességnél jobban korrelált az állományszintű CO_2-fixációval, de az összes vizsgált abiotikus és biotikus paraméter közül a LAI determinálta legjobban a szünfiziológiai működést. Monodomináns állományokban is hasonló összefüggések tapasztalhatóak, valamint a levélfelület index és az NEE értékek közt sok esetben lineáris regresszió figyelhető meg (GAO et al. 2012). Öntözés hatására lecsökkent a fajszám, a diverzitás és a szociális-magatartástípusok száma, továbbá a kétszikűek relatív és abszolút arányai egyaránt lecsökkentek, az egyszikűek monodominánssá váltak, míg a pillangós fajok teljesen eltűntek a kezelt gyepből. Az öntözött gyep föld feletti biomassza mennyisége és potenciális növekedési rátája minden évben és vegetációs időszakban meghaladta a kontroll állomány értékeit. A 2003. évi aszály a kontroll állományban szignifikánsan csökkentette a löszgyep éves nettó primer produkcióját. Az aszály és a biomassza produkció mértéke között kétirányú is lehet a kapcsolat, hiszen utóbbi okozhat ökológia aszályt (WILSON et al. 2018).

Az eddigi gyomokhoz kapcsolódó, üvegházhatású-gázokkal történt vizsgálatok nemzetközi szinten is döntően nem a gyomnövények CO_2-fluxusait, hanem az emelt CO_2 koncentráció hatásait vizsgáltak. GARBUTT és munkatársai (1990) különböző C_3-as és C_4-es gyomfajoknál a növények emelt légköri CO_2 koncentrációra adott válaszreakcióját vizsgálták. A C_4-es *Amaranthus retroflexus* növekedési rátája mindig nagyobb volt emelt légköri CO_2-koncentráción (700 ppm). Az említett paraméter az *Ambrosia* esetén a vizsgálati időszak első felében szintén emelt légköri cc. alatt, míg a második felében jelenlegi légköri viszonyok (350 ppm) mellett volt nagyobb. Az *Amaranthus,* a *Chenopodium album* és az *Ambrosia artemisiifolia* esetén egyaránt növekedett a reproduktív biomassza tömege emelt légköri CO_2 koncentráción. AKERLY és kutatótársai (1992) *Abutilon theophrasti* és *Amaranthus retroflexus* fajoknak a hőmérséklet és a CO_2 levélfelületre, valamint a produkcióra gyakorolt hatását kutatva azt tapasztalták, hogy a

levélfelület változása és a biomassza akkumulációja között szoros összefüggést figyelhetők meg. A léghőmérséklet növelésével, valamint emelt CO_2 koncentráció hatására egyaránt felgyorsult a levelek kifejlődése.

SINGH és munkatársai (2016) szintén az emelt széndioxid koncentráció a C_3-as és C_4-es gyomfajok, valamint kultúrfajok biomassza produkciójára, hogy modellezzék a klímaváltozás légköri gázkoncetrációban várható változását. Megállapításaik szerint a C_3-as fotoszintézis típusú fajokra kedvezőbb hatással van az emlkedő légköri széndioxid koncentráció, ezért az ebbe a típusba tartozó gyomfajok jelentősége növekedhet, különösen C_4-es termesztett növényi kultúrákban.

Más kutatók nemcsak az emelt, hanem a csökkentett széndioxid koncentráció hatását is vizsgálták, többek között C_3-as és C_4-es gyomfajoknál (DIPPEREY et al. 1994.). C_4-es taxonoknál a csírázástól számított 35 napig a CO_2 cc.-nek sem a növekedési rátára, sem az összbiomasszára, sem utóbbi aránya nem volt hatása, ellenben C_3-as taxonoknál a biomassza pozitívan korrelált a nagyobb CO_2 cc.-vel.

WARD és mtsai (1999) az előbbiek mellett a szárazság hatását kutatva megállapította, hogy jó vízellátottságú, kifejlett C_4-es növények fotoszintetikus rátája nőtt emelt légköri CO_2 cc. hatására, de levélfelületük és a biomasszájuk nem változott. Ezzel szemben a C_3-as taxonok levélszintű CO_2-megkötése és biomasszája egyaránt növekedett 700 ppm cc. alatt. Szárazság hatására a C_3-as növények levélfelülete nagymértékben csökkent és ennek következtében a megmaradt levelek vízpotenciál értéke relatíve nagy volt, míg a C_4-es növények LAI-ja kisebb mértékben csökkent és utóbbiaknál alacsonyabb vízpotenciált mértek. BERNACCHI és munkatársai (2000) az emelt CO_2 szint biomassza allokációra gyakorolt hatását vizsgálta. Nem limitáló tápanyagellátottságú körülmények között C_3-as taxonok egész növényegyedei jelentősen növekedtek emelt CO_2 cc. hatására, míg a C_4-es fajok egyedeinél kisebb mértékű növekedést tapasztaltak. Limitáló körülmények között egyik típusnál sem volt szignifikáns a növekedés. Emelt CO_2 cc. mellett a hajtás-gyökér arány nem változott vagy csökkent a vizsgált taxonoknál.

Egy adott terület szénmérlege szempontjából meghatározó tényező a talajlégzés (CHAPPELL et al. 2016). Az egyes ökoszisztémák talajlégzésének karakterisztikája, és például a szárazságra adott válasza eltérő, ezért érdemes az egyes növényközösségekben külön vizsgálni (WANG et al. 2014). Ugyanakkor nem csak az adott területen előforduló különböző gyomfajok eltérő válaszai lehetnek fontosak az eltérő csapadékellátottságra, hanem nagy biomasszát elérve a növények maguk is befolyásolhatják a talaj vízellátottságát jelentős evapotranszspirációjukkal (OHKOBU et al. 2015). A vegetációs periódusban a növényi légzés lehet döntően felelős a terület CO_2 kibocsájtásáért, és aránya kiteheti a természetes emisszió akár 60%-át is (GAO et al. 2017). A

fitomassza és a LAI növekedésével az NEE értékek diurnális mintázata kifejezettebbé válik és a variabilitás nő (PATEL et al. 2011).

Gyomkísérleteknél is fontos a megfelelő tőszám kialakítása, mert pl. a *Chenopodium album* eltérő állománysűrűség mellett, eltérő növekedési görbét mutatott (DAMGAARD et al. 2002.). Az állománysűrűség növekedésével, csökken a tövek átmérője, a fő elágazások száma, valamint az egyes növények levélfelülete és tömege. ERVIÖ (1971) azt tapasztalta, hogy a tőszám növekedésével három vizsgált évből kétszer nőtt a szárazanyag hozam, azonban csak 576db növény/m^2-es sűrűségig. Ezen hatások kiküszöbölésére fontos a parcellákba vetendő magmennyiség meghatározása, valamint a megfelelő csírázási feltételek biztosítása, mely az egyes gyomfajok esetén eltérő (SZÁRNYAS 2000.).

Amaranthus retroflexus esetében az állománysűrűség nem befolyásolja számottevően az élettani folyamatokat (KNEZEVIC 1999.). A gyomok között vegyes állományokban jelentős kompetíció léphet fel (ROUS & RADOSEVICH 1985). A kompetíció hatására megváltozhat a föld feletti- és föld alatti biomassza tömege, valamint a növények habitusa is (BAZZAZ et al. 1989). Az egyes fajok egymásra hatása nem csak az erőforrásokért való versengésben jelentkezik. A vizsgált gyomok közül például az *Artemisia vulgaris* allelopatikus tulajdonságokkal rendelkezik (BARNEY et al. 2005.) Vegyes állományokban az egyes fajok nem csak negatívan befolyásolhatják a másik taxon növekedését. A magasabb növésű növények alatt fejlődő gyomok, a megnövekedett szórt fény hatására nagyobb hatékonysággal tudják hasznosítani az abszorbeált fotoszintetikusan aktív radiációt (APAR) (GRAMIG et al. 2006.)

Az invazív növények fotoszintetikus kapacitása általában nagyobb szokott lenni (NIELSEN et al. 1993, PATTERSON et al. 1998), de elsősorban nem ezen tulajdonságuknak köszönhetik tömeges térhódításukat (BRODERSEN et al. 2008.)

A *Chenopodium album* és az *Amaranthus retroflexus* eltérő módon reagál a különböző N ellátottságra (SAGE & PEARCY 1987), ezért is fontos, hogy vizsgálatukkor megfelelő izolációs távolságot hagyjunk az állományok között.

A klímaváltozása hatásaként egyre nő az időjárási szélsőségek gyakorisága (COUMOU & RAHMSTORF 2012), melyekre az egyes taxonok eltérő válaszokat adnak. A szélsőséges csapadékviszonyokhoz való alkalmazkodás sikerességének vizsgálata segíthet az egyes gyomfajok jövőbeli elterjedésének, előrejelzésében is. Több kutatás igazolta, hogy az eltérő fotoszintézis típusok befolyásolhatják a növények vízhasznosítási hatékonyságát (NIU et al. 2005, SHARKAWY 2009). Monodomináns állományokban taxonspecifikusan lehet vizsgálni (BORJIGIDAI et al. 2008) a manipuláció hatását. A föld feletti és föld alatti fitomassza elkülönített vizsgálata is indokolt, hiszen egyes taxonok esetén e két növényi rész eltérő módon reagál az eltérő csapadékviszonyokra (GRECO & CAVAGNARO 2002).

Az egyes fajok és élőhelyek üvegházhatású gáz-fluxusainak mérésekor a CO_2 mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a CH_4 és a N_2O vizsgálata is. Nemzetközi kutatások kiterjednek a sarkvidéki területektől (pl. CHRISTENSEN et al. 2000., HUTTUNEN et al. 2002.), a trópusi esőerdőkig (pl. KELLER et al. 1986, YUICHIRO et al. 2008). Hazánkban is feltárták ezen két üvegházhatású gáz fluxusait eltérő élőhelyeken. Bugaci homok- és isaszegi löszgyepek mellett (HORVÁTH *el al*. 2008b, 2010, CZÓBEL et al. 2010), nedvesebb élőhelyeken – Bodrogközben – is végeztek méréseket (HORVÁTH et al. 2008a, CZÓBEL et al. 2010) hazai kutatók. A különböző élőhelyek és talajtípusok karakterisztikája mellett a manipulációk hatását (legeltetés, műtrágyázás, eltérő talajművelési módok) is vizsgálták hazai (pl. HORVÁTH et al. 2008b, HORVÁTH et al. 2010) és külföldi kutatók (pl. MOISER et al. 1997, FLESSA et al. 2002) egyaránt. Ezen kutatások azonban a gyomállományokat csak marginálisan érintették, önálló fajspecifikus vizsgálataikra eddig nem került sor.

4. VIZSGÁLATOK OBJEKTUMAI ÉS MÓDSZEREI

4.1. Vizsgálatok objektumai

4.1.1. *Amaranthus retroflexus* L. – szőrös disznóparéj

Amaranthaceae – disznóparéjfélék családja

A veszélyes gyomfajok II. csoportjába tartozik. Inváziós neofiton.

Eredete, elterjedése: Észak-amerikai származású, Magyarországon a XVIII. században honosodott meg.

Morfológiája: 15-100 (150) cm magas, szára felálló, vastag, húsos, pelyhesen szőrös. Nagytestű, igen erős gyökérzetű faj. Levelei tojásdadok ép szélűek. A levélnyél és az erek sűrűn szőrözöttek. Fehéres zöld virágai tömött, vaskos gomolyos füzért alkotnak. Termése tok. Apró magvai lencse alakúak, fekete, néha vöröses színűek.

Ökológiája: Kozmopolita, tág ökológiai amplitúdójú növény. Talajokban nem válogat. Savanyú és meszes talajokon egyaránt előfordul. Nitrofil növény. A lazább talajokat kedveli, de a kötöttebbeken is megél. A vegyszeres gyomirtásnak egyes populációi ellenállnak. Cönoszisztematikailag *Chenopodietea* elem.

Életformája, szaporodása: T4-es életformájú, tehát a nyárutói egyéves fajok közé tartozik, melyek 0^{o}C alatti hőmérsékleten csak mag formájában képesek túlélni. Ezen taxonokra továbbá általánosságban igaz, hogy alkalmazkodtak a nyári szárazsághoz és nagy meleghez, de a legkisebb hidegre is elfagynak (VINCZE 2001). Júliustól szeptemberig virágzik. Kizárólag magról szaporodik. Magprodukciója igen nagy, általában 10000-40000 (500000) db/növény. Magvai áprilistól kezdenek csírázni, de a talaj nedvességtartalmától függően őszig bármikor kikelhetnek. A csírázási optimum 30-40^{o}C. A csírázást stimulálja a fény (SIMON 1992, 2000, PERCZE 2002, BÉRES et al. 2005, CZÓBEL et al. 2007).

4.1.2. *Ambrosia artemisiifolia* L. – ürömlevelű parlagfű

Asteraceae – fészekvirágzatúak családja

Asteroideae – őszirózsafélék alcsaládja

A veszélyes gyomfajok I. csoportjába tartozik. Inváziós neofiton.

Eredete, elterjedése: Észak-Amerikában őshonos. Igazán gyakorivá a fehér ember letelepedésével, a nagyarányú erdőirtással és talajbolygatással vált (BASSETT & CROMPTON 1975). Hazánkban elterjedése még az első világháború környékén indult meg az Osztrák-Magyar Monarchia kikötői felől. Robbanásszerű terjedése a második világháború után figyelhető meg (SZIGETVÁRI & BENKŐ 2004).

Morfológiája: 20-150 (200) cm magas, (jó tápanyag ellátottságú területeken akár 2m-t is meghaladó egyedek) felálló szárú dúsan elágazó, terebélyes növény. Levelei keresztben átellenesek, tojásdad háromszög alakúak, kétszeresen szárnyaltak. Színük sötétzöld fonákjuk sötétszürke. A levelek vastagon tompán szőrözöttek. Csak csöves virágokkal rendelkezik. A porzós virágzat halványsárga a hajtáscsúcson végálló fürtöt alkotnak. A termős virágok a levélhónalji csomót alkotnak, illetve a porzós virágok alatt helyezkednek el.

Ökológiája: A talajjal szemben különleges igénye nincs. Elsősorban a gyengén savanyú vályogtalajokat kedveli. Zavart helyeken, gyomtársulásokban helyenként tömeges, veszedelmes allergén. Cönoszisztematikailag *Chenopodietea* elem.

Életformája, szaporodása: T4-es életformájú. Csak magról szaporodik. Júniustól októberig virágzik. A növények 95%-a egylaki. Sűrű állományban a porzós virágzatok száma nagyobb. Júniustól októberig virágzik, de tömeges virágzása júliustól augusztusig tart. Maghozam 3000-4000 (60000) db/növény. A primér nyugalmi állapot 6-12 hétig tart. Fő csírázási időszak április-május. A magvak a talaj felső 0,5-6,5 cm-es rétegéből csíráznak. A mélyebb rétegekben (35-45cm) a magvak akár 30-40 évig is elfekszenek. (SIMON 1992, 2000, PERCZE 2002, BÉRES et al. 2005, CZÓBEL et al. 2007).

4.1.3. *Artemisia vulgaris* L. – fekete üröm,

Asteraceae – fészekvirágzatúak családja

Asteroideae – őszirózsafélék alcsaládja

Eredete, elterjedése: Hazánkban őshonos, cirkumpoláris (mediterrán) elterjedésű faj.

A veszélyes gyomfajok III. csoportjába tartozik.

Morfológiája: Magas (50-100 (220) cm), ágas. Többfejű gyökértörzzsel rendelkezik. Szára vörösesbarna, hengeres, érdes, pelyhesen szőrözött. Alsó levelei karéjosak vagy hasogatottak, a felsők pedig szeldeltek. A levélfonák fehér, molyhos. Fészkei kicsik, csak csöves virágokat tartalmaznak, amelyek nagy végálló bugavirágzatba szerveződnek.

Ökológiája: Leggyakrabban elhanyagolt területeken és szántóföldek szegélyében található meg. Félszáraz és üde gyomtársulásokban közönséges. Cönoszisztematikailag *Chenopodietea* elem. A gyakori talajmunkát nem tűri.

Életformája, szaporodása: H5-ös életformájú, azaz ferde gyöktörzses faj. Júliustól októberig virágzik. Magról és vegetatív úton egyaránt szaporodik. A magról kelt egyedek az első évben csak levélrózsát fejlesztenek (SIMON 1992, 2000, PERCZE 2002, CZÓBEL et al. 2007).

4.1.4. *Chenopodium album* L. – fehér libatop

Amaranthaceae – disznóparéjfélék családja

A veszélyes gyomfajok II. csoportjába tartozik.

Eredete, elterjedése: Hazánkban őshonos, kozmopolita elterjedésű faj.

Morfológiája: 20-150 (250) cm magas. Szára felálló, tompa élekkel barázdált, dúsan ágas. Levelei változatosak, általában deltoid, tojásdad alakúak, hosszú nyelűek. Fonákjuk erősen lisztes. Virágzata gomolyos-fűzéres-fűrt. Toktermésssel rendelkezik.

Ökológiája: Melegigényes. Talajokban nem válogat, de előnyben részesíti a meszes típusokat. Nitrofil gyom. Gyakori szántókon, kertekben, ültetvényekben, mindenütt ahol bolygatott a talaj. A különböző éghajlat és csapadékviszonyokhoz jól alkalmazkodik. Cönoszisztematikailag *Chenopodietea* és *Secalietea* elem.

Életformája, szaporodása: T4-es életformájú. Öntermékenyülő, de kereszt beporzás is lehetséges. Kizárólag magról szaporodik. Júniustól októberig virágzik. Magtermése pár ezertől akár hetvenezer darabig terjedhet növényenként. Heterokarpia jellemzi, azaz kétféle maggal rendelkezik. A fekete magok kisebbek, vastagabb héjjal rendelkeznek, míg a barnák, nyugalmi állapot nélküliek, könnyebben csíráznak. Csírázási mélység 3-5cm (SIMON 1992, 2000, PERCZE 2002, CZÓBEL et al. 2007).

4.1.5. *Sorghum halepense* L. – fenyércirok

Poaceae – pázsitfűfélék családja

Panicoideae – kölesfélék alcsaládja

Eredete, elterjedése: Dél-eurázsiai elterjedésű növényfaj.

A veszélyes gyomfajok I. csoportjába tartozik. Inváziós neofiton.

Morfológiája: Évelő, 60-100 (250) cm magasra növő, tarackos, felálló szárú növény. Levélhüvelye sima, apró szőrös nyelvecskével. Erősen ágas bugája körülbelül 30 cm-es. A toklászok lehetnek szálkások vagy szálkátlanok. Termése tojásdad, változatos színű, világossárgától egészen a sötétbarnáig.

Ökológiája: A Föld melegebb országaiban mindenütt jelen van. A tőlünk északabbra eső területeken már nem találja meg az életfeltételeit. Hazánkban a hideghez jól alkalmazkodó ökotípusai terjedtek el. A szárazságot jól tűri. Gyakorlatilag minden talajtípuson megél. Cönoszisztematikailag *Chenopodietea* elem.

Életformája, szaporodása: G1-es életformájú, tehát vízszintes földalatti szárral telel át. A szártarack a raktározó funkción túl, vegetatatív szaporodó képességgel is rendelkezik. A föld feletti részek pusztulása után, új hajtások létrehozásával regenerálódhat a földalatti raktározó képletekből. Három héttel a csírázás, vagy a kihajtás után már megindul a bokrosodás szakasza, valamint a rizómaképzés. Júliustól szeptemberig virágzik. Magprodukciója igen nagy, akár 80 000 db/növény. A kemény szemek aránya 20-40%. Magvai 0-8 cm-es mélységből csíráznak. A

fő csírázási időszaka május-június. A terjedés elsősorban a szemterméssel történik, de a stabilitást, illetve az agresszivitást a rizómarendszer okozza. A rizómák aktivitása szezonális eltérő (SIMON 1992, 2000, PERCZE 2002, CZÓBEL et al. 2007).

4.1.6. A vizsgálat helyszíne, természeti adottságai:

A vizsgálatokat a Szent István Egyetem Gödöllői Botanikus Kertjének Kísérleti Terén (Gödöllő 19°14'E, 47°25'N, 250m tszf. magasság) (SZENTE et al. 1993a). végeztem. A terület évi átlaghőmérséklete 10,5°C, míg az évi átlagos csapadékösszeg 500 mm. A kísérleti tér talaja laza, mérsékelten meszes homok (SZENTE et al. 1993b).

A kísérleti területeken korábban szántóföldi kultúrnövények voltak bemutatva. A botanikus kert dolgozóinak munkája révén a bemutató parcellák gyommagvakkal való szennyezettsége a kérdéses területen viszonylag kicsi volt. A nem faj azonos csírákat heti rendszerességgel eltávolítottam a kísérleti parcellákból. A kísérletben szereplő fajok jelentős propagulum készlettel nem rendelkeztek a talajban, mert az eltávolított növények közt nem, vagy elvétve szerepeltek. A kijelölt területen 2008-ban 27 homogén állományfoltot alakítottam ki 120 x 120 cm alapterülettel, melyekben 100 x 100 cm-es méretű parcellák lettek kialakítva, fajonként és vizsgálatonként 3-3 ismétléssel (1. ábra).

A talaj előkészítés során igyekeztem a szántóföldi talajmunkákhoz hasonló körülményeket teremteni. Talajmarózást követően hengereltem, majd simítóztam a parcellák kijelölése előtt a területet.

A kiszórt magmennyiség a következőként alakult fajonként (g/m^2):

Amaranthus retroflexus:	4,408
Ambrosia artemisiifolia:	10,566
Artemisia vulgaris:	3,403
Chenopodium album:	11,764
Sorghum halepense:	31,823

A vetett magok az előző évben Gödöllő környéki szántóföldeken lettek begyűjtve (kivéve a *Sorghum halepense* magjait, melyek Szigetcsép határában kerültek begyűjtésre). Az egyes gyomfajok esetén parcellánként azonos magtömeg lett kiszórva. A kiszórt magmennyiség a természetes körülmények utánzása érdekében úgy lett meghatározva, hogy az megegyezen a terepi körümények közt tapasztalt monodomináns állományok m^2-re vonatkoztatott mennyiségével.

2008 év végén az évelő fajok föld alatti képleteit bolygatatlanul a parcellákban hagyva a következő évben lehetőség nyílt az új foltokban magról kelő állományokkal való összehasonlításra (2. ábra). Mind az öt vizsgált faj esetén 2009-ben is újra magvetés történt. A kijuttatott tömeg megegyezett az előző évivel.

4.2. Vizsgálatok módszerei

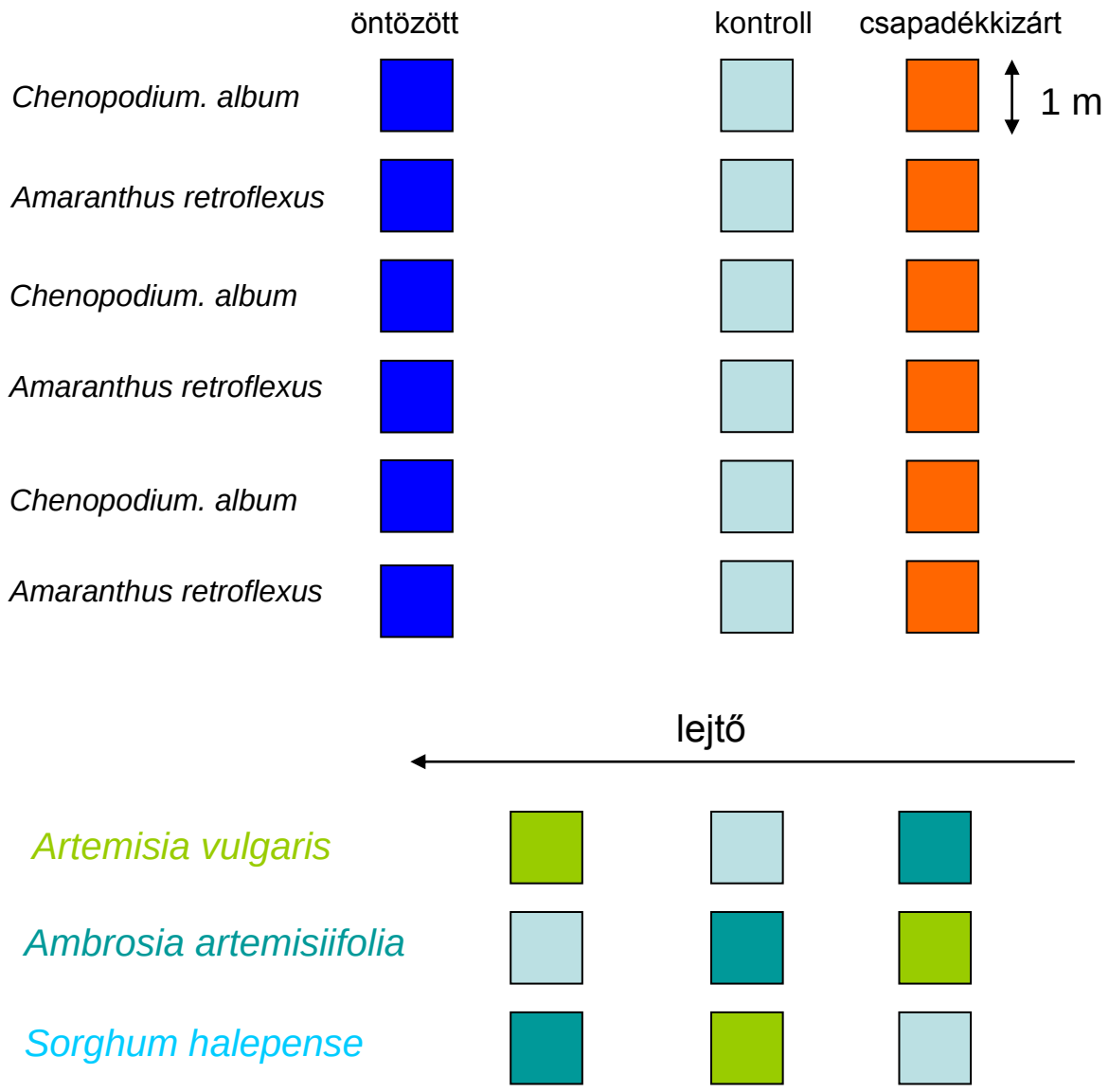
4.2.1. Manipulációs kísérletek:

Amaranthus retroflexus, illetve *Chenopodim album* fajokkal manipulatív kísérleteket is végeztem. 3-3 ismétlésben részleges csapadékkizárt, illetve öntözött foltokat hoztam létre. A manipulatív kezeléseket a vizsgált növények teljes vegetációs periódusa során alkalmaztam A terület enyhe (délkeleti irányú) lejtése miatt jelen esetben nem a véletlen blokk elrendezés volt a legmegfelelőbb. Az öntözött foltokat az esetleges felszín alatti elfolyás többi állományfoltra gyakorolt hatását kiküszöbölendő, a terület alacsonyabb részén helyeztem el, továbbá háromszoros izolációs távolságot tartottam.

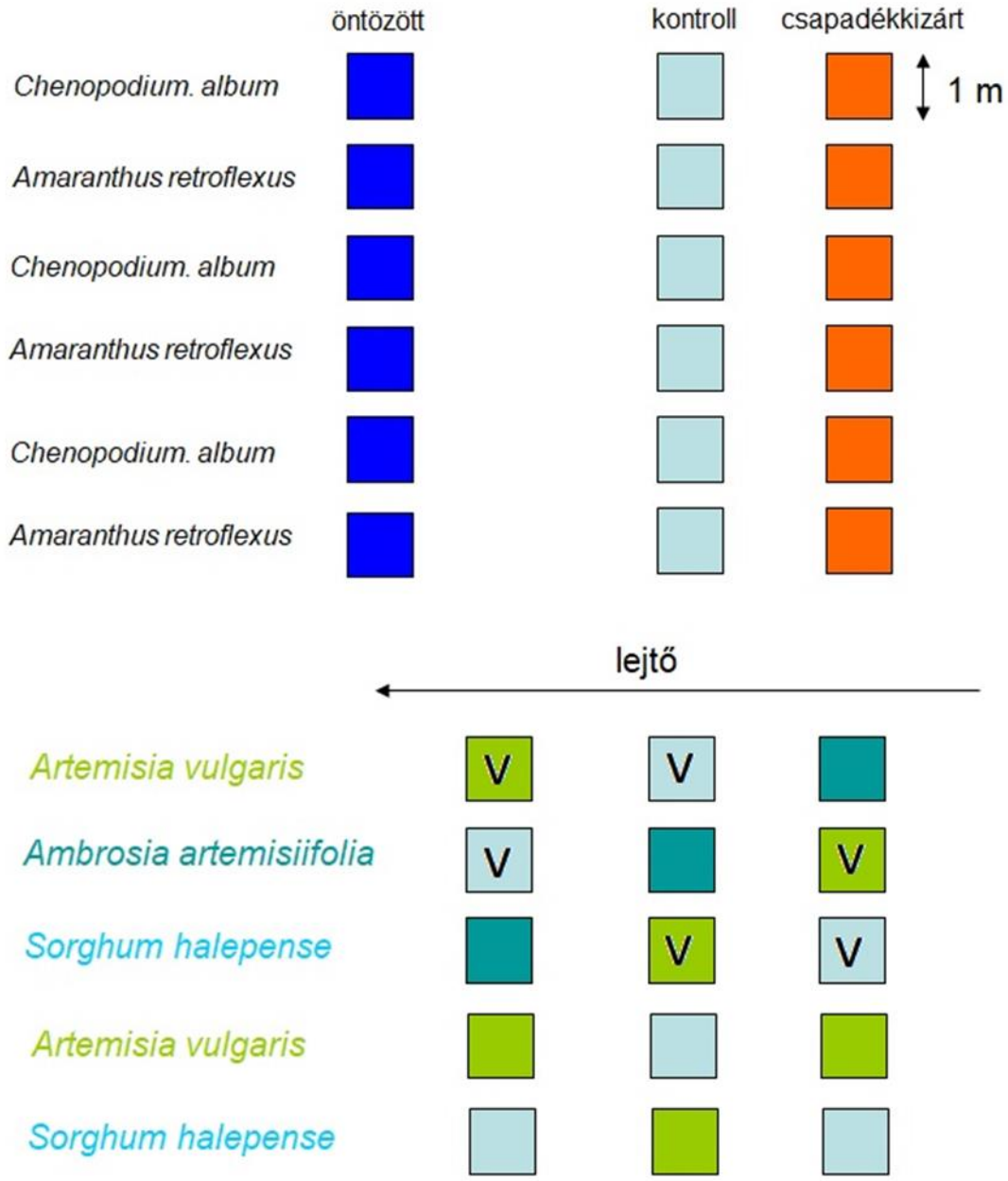
Öntözés: Az öntözővíz hetente kétszer 5-5 mm adagban lett kijuttatva. Esőszerű öntözést alkalmaztam, melynek intenzitása megfelelt a talaj vízvezető képességének. Ez különösen a csíra állapotban volt fontos. 2008 március 11 - október 24. között parcellánként 325 mm, 2009 március 10. október 24. között 330 mm csapadéktöbblet lett kijuttatva.

Részleges csapadékkizárás: Minden második héten történt csapadékkizárás (2008 március 11. - október 24., 2009 március 10. - október 24.). Az állományok fölé 120 x 120 cm-es felületű, fényáteresztő fóliát feszítettem ki. A fólia oldalról nem határolta a növényeket, így a természetes légmozgást és fényviszonyokat csak minimálisan befolyásolta. Mérete a terepi tapasztalatok alapján elegendő volt a sikeres csapadékkizárás biztosításához.

A felszíni odafolyás, illetve elfolyás kiküszöbölése végett 5 cm magas sánccal vettem körül a manipulált foltokat.



1. ábra: A kísérleti parcellák területi elrendezése 2008-ban



2. ábra: A kísérleti parcellák területi elrendezése 2009-ben

4.2.2. Előzetes csírázási kísérletek:

A vizsgált gyomfajok magjait 2007 őszén gyűjtöttem. Igyekeztem a taxonok szaporító anyagát a SZIE Gödöllői Botanikus Kert környékéről begyűjteni. Egyedül a *Sorghum halepense* magjait gyűjtöttem távolabbi élőhelyről (Szigetcsép). A primer dormancia megszüntetése érdekében a magokat 12 héten keresztül 4°C-os hőmérsékleten tartottam. Fajonként 100-100 begyűjtött gyom magvat két szűrőpapír közé helyezve, a megfelelően nedves környezetet és fényt biztosítva, szobahőmérsékleten végeztem a csíráztatást. A megjelenő új csírák számát naponta ellenőriztem.

3 faj esetén (*Chenopodium, Amaranthus, Ambrosia*) a kísérletet meg kellett ismételnem, mert a csíráztató tálcák egymásra csúszása miatt a magok bepenészedtek.

4.2.3. Meteorológiai vizsgálatok:

A kutatáshoz kapcsolódó meteorológia vizsgálatokat folyamatos és időszakosan elvégzett mérésekre bonthatjuk. A folyamatos mérések HOBO (MicroStation, Onset, Massachusetts, USA) mikrometeorológiai állomás szenzorjainak és automata adatrögzítőjének segítségével történtek. A műszert a vizsgált állományfoltok mellé telepítettem, és ott napi 24 órán keresztül működve (5 percenkénti mintavételezési gyakorisággal), így a gyomfajok teljes vegetációs periódusa során biztosította a meteorológiai adatsorokat. Az automata állomás ötpercenként rögzíti az aktuális fotoszintetikusan aktív radiációt (40 cm-es magasságban), talajhőmérsékletet és a talajnedvességet mind a kontroll mind a manipulált foltokban (mindkettőt 5 cm-es mélységben, 1-1 kiválasztott foltban). A talajnedvesség mérő szenzorokat az *Amaranthus retroflexus* állományaiban helyeztem el. Egyet a vizsgálati ciklus teljes ideje alatt a kontroll állományban, míg a másikat 2008. március 12-től július 1-ig a disznóparéj egyik öntözött állományában, majd ezt követően az egyik csapadék-kizárásos foltjában helyeztem el.

2009-ben az előző évben is használt mikrometeorológiai állomás egyik szenzora a vegetatív-, míg másik a generatív eredetű *Artemisia vulgáris* foltban volt elhelyezve március 10. és július 1. között. A vegetációs periódus második felében a szenzorok át lettek telepítve a *Sorghum halepense* eltérő eredetű állományaiba.

2009-ben a talajnedvesség mérése minden foltban minden mérési alkalommal, az NEE és R_{eco} mérésekkel párhuzamosan hordozható PCE-SMM 1 talajnedvesség-mérő (Soil Moisture Meter PCE-SMM 1, PCE-Instruments) segítségével is megvalósult (10 cm-es mélységben).

A CO_2-fluxus adatok pontos kiértékelése érdekében a fotoszintetikusan aktív radiációt (PAR) és léghőmérsékletet közvetlenül a vizsgált állományokban és talajfoltokon is mérjük időszakosan, hordozható infravörös gázanalizátorok /CIRAS-2 (PP Systems, Hitchin, UK); LiCor-6400 (Lincoln, Nebrasca, USA)/ és kézi Ceptométer (Decagon, Washington, USA) segítségével.

A csapadékot ARG 100 talajszinten elhelyezett csapadékmérő segítségével mértem melynek adatait CR21X automata adatrögzítő tárolta.

4.2.4. Fenológiai vizsgálatok:

A fenológiai mintavételezések heti rendszerességgel történtek (2008 március 11. - október 24., 2009 március 10. - október 24.). A vizsgált foltokban mértem a tövek és a megjelenő új csírák számát. A fenológiai vizsgálatok során feljegyeztem az aktuális fenofázist (virágok,

termés megjelenése), valamint regisztráltam a különböző kezelések hatására jelentkező eltéréseket. Heti rendszerességgel mértem az összes vizsgált foltban az állományok maximális és átlagos magasságát. Minden egyes foltból 10 reprezentatív tő (magasabb és alacsonyabb egyedek egyaránt) lett kiválasztva, továbbá az állományokban található legmagasabb egyed és a magassága mérve.

4.2.5. NDVI mérés

A levélfelületet növekedését NDVI (DYCAM, ADC) kamerával vizsgáltam heti, kétheti rendszerességgel (az eszköz elérhetőségének függvényében). A műszer meghibásodása miatt nem sikerült a teljes vegetációs ciklusról felvételeket készíteni, illetve a LAI kiszámításához szükséges kalibrációt elvégezni. A kalibráció hiánya miatt az NDVI kamera adatsorait csak az állományok dinamikájának vizsgálatára lehetett felhasználni. A teljes fejlettség elérésekor Ceptométer (Decagon, Washington, USA) segítségével mértem az állományok levélfelületét.

4.2.6. Biomassza vizsgálatok:

Biomassza vizsgálatokat 2008-ban és 2009-ben végeztem. A biomassza vizsgálatokhoz a mintákat a vizsgálati foltokon kívül lévő egyedekből gyűjtöttem, mely növényegyedek megfeleltek az állomány aktuális fejlettségi állapotának (fenológiai fázisának). A mintavételezés során ügyeltem, hogy a teljes föld alatti biomasszát (gyökereket, raktározó és szaporító képleteket) begyűjtsem, és az esetleges szennyeződéseket eltávolítsam. A vizsgált fajok föld feletti- (hajtás + reproduktív képletek) és föld alatti biomasszájából 3-3 mintát vettem fajonként, illetve kezelésenként, mely során teljes növényeket gyűjtöttem be. A föld feletti, illetve föld alatti képletek friss tömegét külön-külön lemértem, majd papírzacskókba csomagoltam. A gyűjtött mintákat szárítószekrénybe helyezve 80^{o}C-on, minimum 48 órán keresztül légszáraz (tömegállandósági érték) állapotra szárítottam.

Az egyes növényi egyedek biomasszájának vizsgálatán túl teljes állományra kiterjedő biomassza vágást végeztem a kutatás első két évében azonos időpontban, 2008. és 2009. szeptember 1-én, hogy a teljes biomassza produkciót elérő állományokat, még a szeneszcencia jelentős beindulása előtt lehessen vizsgálni. A vizsgált foltok föld feletti biomasszáját a teljes fejlettség elérését követően 30 cm-es föld feletti magasságban vágtam, majd a biomassza tömeget az előbbiekben ismertetett módon mértem. Az aktuális tőszámok és parcellaméret ismeretében számítottam ki a föld feletti biomassza (FFB) és föld alatti biomassza (FAB) tömegét négyzetméteres felületre vetítve (mely kalkulációt a közel teljes szeptemberi biomassza vágás értékeivel is egybevetettem).

A biomassza mérése 2009-ben az előző évivel megegyező módon történt. A vizsgált évelő fajok esetén (*Artemisia vulgaris, Sorghum halepense*) az 2008-as parcellák föld alatti részei bolygatatlan formában maradtak, lehetővé téve a vegetatív szaporodást. 2009-ben e két taxon esetén a generatív és a vegetatív eredetű állományfoltok biomassza produkciója is összehasonlításra került a 2009. szeptember 1-i fitomassza vágás adatai alapján.

4.2.7. Pigmentek meghatározása:

A fotoszintetikus pigmentek (klorofill-a, -b valamint a karotinoidok) meghatározása LICHTENTHALER (1987) módszere alapján történt. A vizsgált növényfajokból, valamint azok eltérő kezelési foltjaiból mintát vettem a teljes fejlettség elérésekor. A gyűjtött minták tömegét lemértem, majd folyékony nitrogénben lefagyasztottam. A fagyasztott növényi mintát hűtött dörzsmozsárban, extrahálószerként hideg aceton (100 %-os) felhasználásával, fénymentes helyiségben dörzsöltem el a fotoszintetikus pigmentek nagy fény- és savérzékenysége miatt. Az extraktumot a kicsapódott fehérjéktől való elválasztás végett 20 percig, 4000-es percenkénti fordulatszámon lett centrifugáltam. A felülúszót 10 ml-re feltöltve, UV-1601 (Shimadzu) spektrofotométerrel az abszorpciót 662 (klorofill-a), 644 (klorofill-b), 440.5 (karotinoidok) és 750 (zavarási fok-szennyezések kiszűrése) nm-en határoztam meg.

4.2.8. Talaj CO_2-fluxus (R_{eco}) mérés:

A méréseket LiCor-6400 (Lincoln, Nebrasca, USA) hordozható, infravörös gázanalizátor segítségével ún. „zárt kamrás módszerrel” végeztem. A gázanalizátor 6400-09-es típusú talajlégzés-mérő adapterének kamra térfogata 991 cm^3, alapterülete 71,6 cm^3. Heti rendszerességgel mérjük a CO_2-fluxust. Minden faj minden kezelésében 3-3 mérést végeztem. A talajhőmérséklet-mérő segítségével folyamatosan mértük a talajhőmérsékletet (5 cm-es mélységben) az aktuális folt közvetlen közelében.

A talajnedvesség-mérő meghibásodása miatt, a talajnedvesség-tartalom adatokat a vizsgált állományok között elhelyezett HOBO mikrometeorológiai állomás talajnedvesség mérő szenzorjai szolgáltatták.

4.2.9. Állományszintű széndioxid-gázcsere (NEE) mérés:

Az állományszintű széndioxid-gázcsere mérések 2008 és 2010 között, 3 éven keresztül, a vegetációs időszakban heti-kétheti rendszerességgel történtek. Az NEE mérésekre 2008-ban május 9-től október 19-ig, 2009-ben április 29-től október 17-ig, míg 2010-ben május 9-től szeptember 29-ig került sor.

Az állományfoltokban CIRAS-2 infravörös gázanalizátort használva (PP Systems, Hitchin, UK), ún. „nyílt kamrás” technikával végeztem a méréseket, heti-kétheti rendszerességgel, az állomány aktuális magasságának megfelelő méretű áttetsző, víztiszta plexikamrák segítségével. A kezdeti időszakban használt kamra 60 cm átmérőjű hengerpalástból és a tetején légmentesen rögzített félgömb alakú átlátszó részből áll (CZÓBEL et al. 2004). Az állományok aktuális magasságával harmonizálva, másodikként 70cm-es magasságú kamrát használtam 2008. június 16-tól, míg a harmadik, 2 m-es magasságú plexi hengerből felépített kamrát 2008. július 31-től alkalmaztam. A biomassza levágása (2008.09.01.) után a vegetációs időszak hátralévő részében ismételten a félgömb tetejű kamrát használtam a mérések során. A levegő kamrán belüli egyenletes keveredését és a légcserét külső ventillátor biztosította. Kamramérettől függetlenül a mérési technika minden esetben megegyezett. Az adatok rögzítése minden egyes folt esetében – gyomfajonként és kezelésenként – minimum 35 perc volt. A műszer percenként 10 mintavételezéssel mérte a CO_2 fluxus differenciáját (a kamra bemenő és kimenő csövén), továbbá a kamrával fedett állomány evapotranszspirációt (ET), valamint a fotoszintetikusan aktív radiációt (PAR) és a léghőmérsékletet (Tair). Az adott állomány hőmérsékleti átlagait használtam fel a CO_2 fluxus számításoknál. A fluxus számításokhoz a következő differenciál egyenletet használtam:

$$F=\Delta c * Q/A$$

ahol F az állományszintű fluxus - CO_2-fluxus esetén a növényállomány CO_2-megkötése, valamint a növényzet- és talajlégzés, míg epapotranszspiráció esetén a növényzettel fedett talajfelszín párolgásának együttes eredője - (mol m^{-2} s^{-1}), Δc a bemenő és kilépő koncentráció /CO_2 vagy H_2O/ különbsége (mol m^{-3}), Q a térfogatáram (m^{-3} s^{-1}), A a kamra által lefedett talajfelszín (m^2).

A nyers adatok minőség ellenőrzés után manuálisan lettek szűrve, melynek során a negatív evapotranszspirációs értékek, továbbá a mérés kezdeti és záró szakaszának kiugró értékei (humán respiráció miatt) nem lettek figyelembe véve.

4.2.10. CH_4, N_2O mérések:

A metán és a dinitrogén-oxid fluxusának vizsgálatát 2008 és 2010 között, 3 éven keresztül végeztem. A mintavétel 2008-ban és 2009-ben átlagosan kétheti rendszerességgel, míg 2010-ben havonta történt zárt kamrás technikával. 2008-ban április 18-tól október 20-ig, 2009-ben március 16-tól december 5-ig, míg 2010-ben március 25-től július 1-ig történtek mintavételezések. Az állományfoltokban a metán és a dinitrogén-oxid akkumulációját légmentesen záró, felülről egy

gumigyűrű révén fecskendőtűs mintavételi lehetőséggel ellátott, nem átlátszó műanyag (80 cm^2 alapterületű, 400 ml térfogatú) hengerrel végeztem, gyomfajonként 3-3 ismétlésben. A mintavételezési technika megegyezett a GreenGrass (HORVÁTH et al. 2010) és a NitroEurope-IP (CZÓBEL et al. 2010) Európai Uniós projektek hazai mintaterületein használt módszerrel. A szőrös disznóparéj esetén a részleges csapadékkizárású és öntözött foltokban is történt mintavétel. Közvetlenül a henger elhelyezését követően kontroll mintát (T0) vettem 6 ml-es fecskendővel, amit 20 perc elteltével (T1) megismételtem. A metán és a dinitrogén-oxid fluxusok számításának alapját a két mintavételi időszak között, a kamrán belül 20 perc alatt bekövetkező CH_4 és N_2O fluxus koncentráció-változás adta.

A gyomállományokban vett minták analízisét az Országos Meteorológiai Szolgálat laboratóriumában végezték GC FID (metán), ECD (dinitrogén-oxid) módszer szerint (NOAA standarddal (N_2O: 313 ppb, CH_4: 1,2 ppm kalibrációval, N_2O: 1.3 μgN/m 2 h, CH_4 : 10 μg/m 2 h pontossággal).

4.2.11. Statisztikai kiértékelés és ábrázolás:

Az ábráknál mindig csak a szignifikáns összefüggéseket tüntettem fel, jelölve az egyes paraméterek közti korreláció erősségét. Több szignifikáns illesztés esetén minden esetben csak a legerősebb összefüggést tüntettem fel. A regresszió értékeit SigmaPlot 8.0 programmal számítottam.

Az egyes taxonok és évek közötti különbségeket, valamint a kezelések hatását varrianciaanalízissel ellenőriztem. Idősorok esetén a korrelációs értékek szignificancia szintjét, az egyes manipulációs kísérletek hatásait, valamint az egyes taxonok közötti különbségeket egyaránt T-próbával ellenőriztem. Az ábrákon feltüntetett szórások a standard deviancia (SD) értékeket jelölik.

Az ábrák SigmaPlot 8.0 program segítségével készültek. Az egyes fajok valamint a mainpulációs kísérlet kontroll és a kezelt állományok adatainak összehasonlításakor a szignifikancia szintet azonos időpontok és egy-egy adatsor esetén T-próbával, míg idősoroknál, illetve időbeli változásnál variancia analízist egy faktoros ANOVA eljárással ellenőriztem.

10.14751/SZIE.2019.027

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Csírázási kísérletek

A 2007-2008 telén végzett előzetes csírázási kísérletek eredményei:

Amaranthus retroflexus – 19%-os csírázási ráta (cs. r.)

Ambrosia artemisiifolia – 4%-os cs. r.

Artemisia vulgaris – 14%-os cs. r.

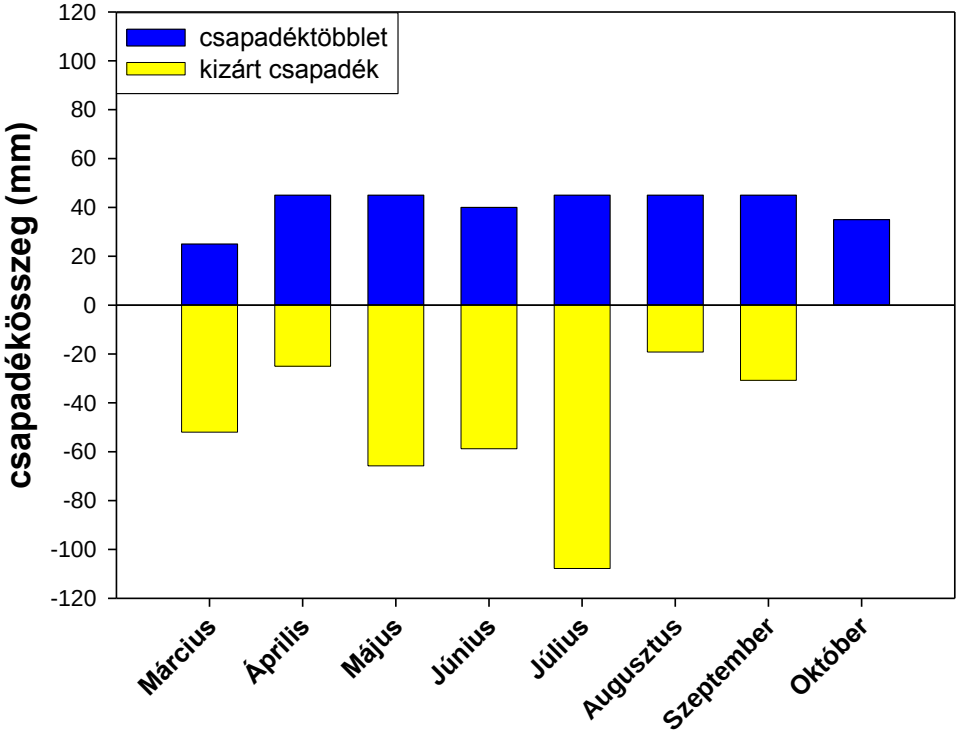
Chenopodium album – 11%-os cs. r.

Sorghum halepense – 13%-os cs. r.

Mind az öt taxon magjaira jellemző volt a csírázási idő elnyúlása, mely tulajdonság általánosságban jellemző a gyommagvakra (CSONTOS 2001). Leggyorsabban, hidegkezelés utáni első héten belül a fekete üröm és a szőrös disznóparéj magvai csíráztak. A csírázási ráta a szőrös disznóparéjnál volt a legmagasabb, míg – meglepő módon – a parlagfűnél a legalacsonyabb mértékű. Utóbbi faj csírázási képessége jelentősen elkülönült a többi taxontól és egyben magyarázatot ad az *ex situ* kísérlet során tapasztalt tőszámbeli eltérésre is. Az *Amaranthus retroflexus*, valamint az *Ambrosia artemisiifolia* csírázási rátája elmaradt az irodalmi adatokétól (SZÁRNYAS 2000, SZIGETVÁRI & BENKŐ 2004).

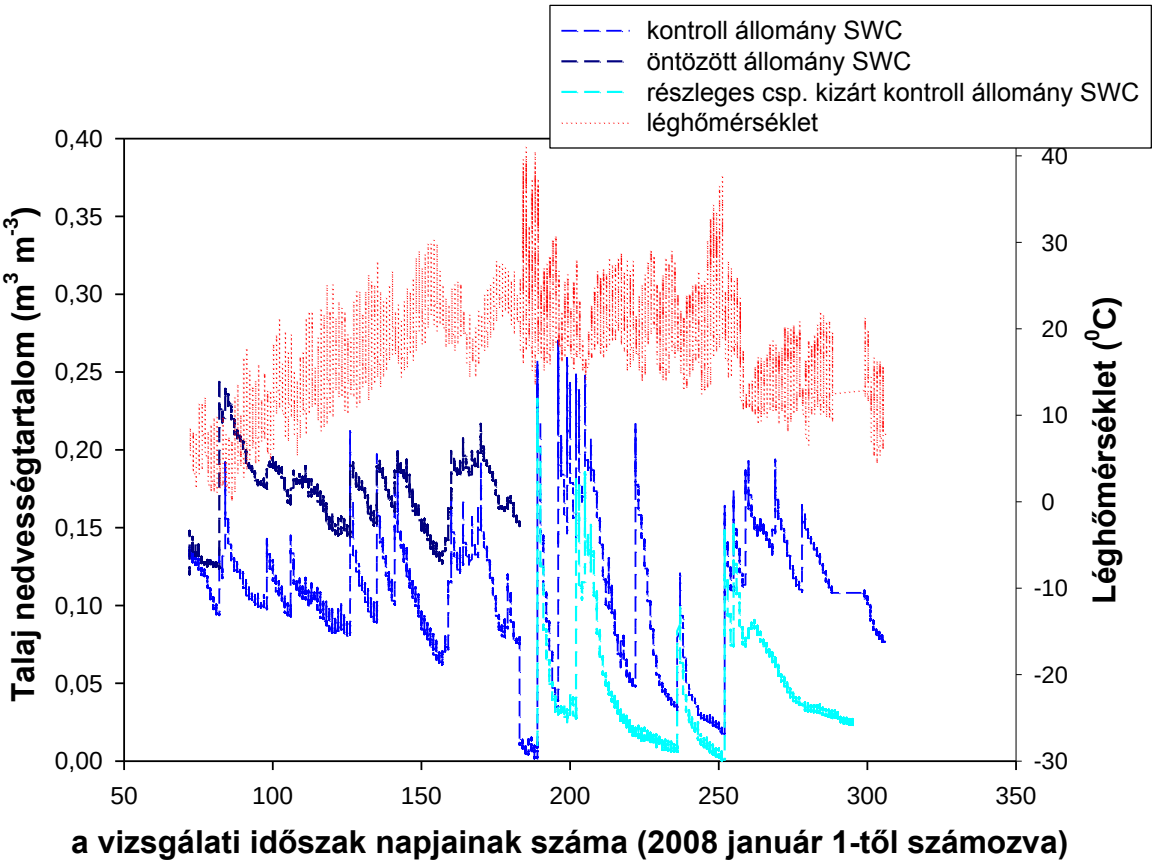
A nem megfelelően (levegőtlen nedves környezetben) tárolt, és emiatt enyhén penészedett magvak korábban és nagyobb arányban csíráztak (*Amaranthus* 36%, *Chenopodium* 24%, *Ambrosia* 21%).

5.2. Meteorológiai vizsgálatok



3. ábra: Az öntözött állományok csapadéktöbblete, valamint a részleges csapadékkizárt foltok vesztesége a vizsgálati időszak alatt /2008. március 11. - 2008. október 24./

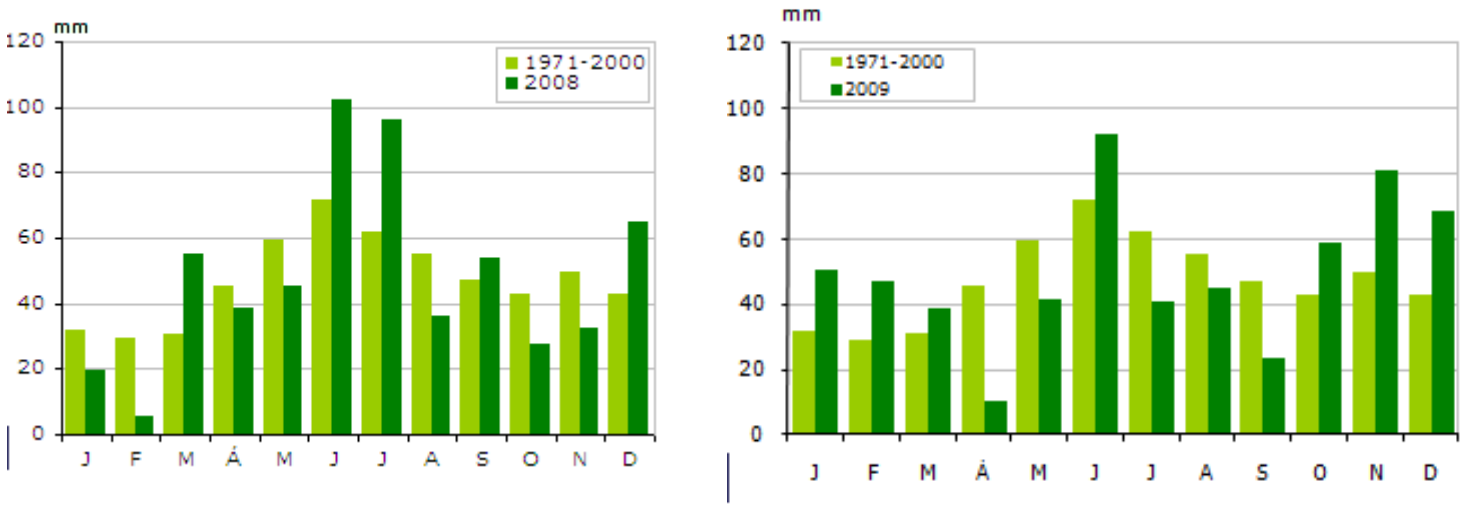
A 2008. március 11-től október 24-ig terjedő vizsgálati időszakban az összcsapadék mennyisége 682,4 mm volt a kísérleti területen. A havi csapadékeloszlás nem volt egyenletes a tavaszi hónapokban 181,2mm, a csapadékosabb nyári időszakban 415,8mm, míg a száraz őszi periódusban mindössze 85,4mm eső hullott. A legcsapadékosabb júliusi hónapban több mint 260mm eső hullott. Ezzel szemben októberben a vizsgálati időszakban nem hullott csapadék, míg augusztusban mindössze 26,2 mm esett. Részleges – minden második heti – csapadékkizárással összesen 323 milliméterrel (47,3%) lett csökkentve az érintett állományok csapadékösszege, míg a heti kétszeri öntözéssel biztosított csapadéktöbblet 325 mm (47,6%) volt a vizsgálati ciklusban. A fenti adatok alapján jól látható, hogy közel azonos mennyiséggel lett csökkentve, illetve növelve a két manipulált típus csapadékmennyisége (3. ábra). A heti rendszerességgel kijuttatott öntözés következtében a havi plusz csapadék mennyisége kiegyenlített volt, míg a csapadékkizárás értéke nagyobb mértékében ingadozott (július hónapban több mint 100 mm, míg augusztusban kevesebb, mint 20 mm csapadék lett kizárva).



4. ábra: A manipulált és kontroll állományok talaj víztartalom, valamint a léghőmérséklet változása a vizsgálati időszak során, az *Amaranthus retroflexus* állományaiban mérve /2008. március 12. - október 22./

A 2008. március 12-től július 1-ig tartó időszakban a kontroll állományfolt átlagos talajnedvesség tartalma (SWC) 11,1%, míg az öntözött foltban 17,2% volt, azaz átlagosan 53,7%-al haladta meg a kontrollét (4. ábra). A vizsgálati időszak második periódusában (július-október) a kontroll állományfoltban. 11,2%, míg a részleges csapadékkizárt foltban mindössze 4,9% volt az SWC. A fenti számadatok igazolták a manipulációs eljárások hatékonyságát. Március végén alakult ki jelentős különbség a kontroll és az öntözött állomány között, majd ezt követően közel párhuzamosan mozgott a két SWC érték, megfelelően követve a természetes csapadék-utánpótlást. Július hónapban relatív kis különbség észlelhető a kontroll és a részleges csapadékkizárt folt SWC-je között, a jelentős csapadékmennyiségnek köszönhetően. Augusztusban a szárazság következtében nőtt a különbség a két típus között, de markáns eltérés csak a szeptember eleji biomassza vágás és hőség után, azok következményeként alakult ki. A vizsgálati időszak alatt két hőségperiódus volt. A július elején észlelt kiugróan magas hőmérsékleti periódus csak rövidtávon befolyásolta az SWC értékeit az ezt követő csapadékos időszak miatt. Ezzel szemben a szeptemberben jelentkező hőhullám SWC-re gyakorolt negatív

hatását – felerősítve a biomassza vágással -, az azt követő kevésbé csapadékos időszak már nem volt képes kompenzálni.

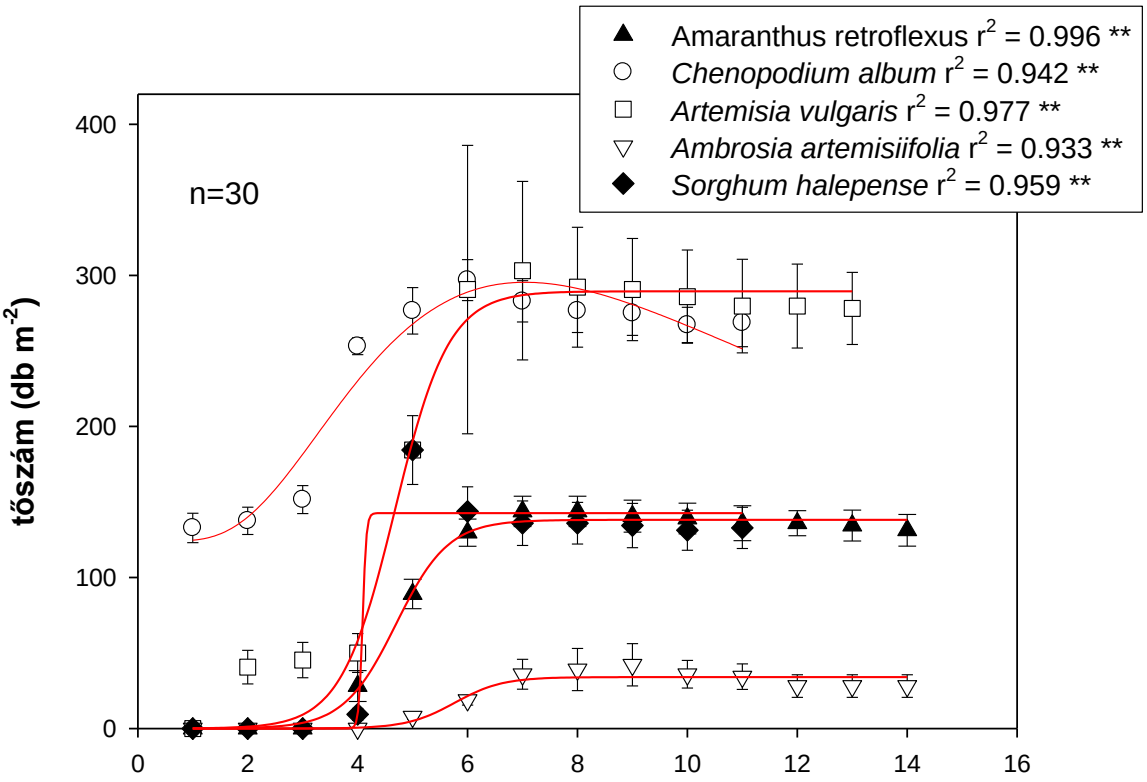


5. ábra: A 2008-as és 2009-es év havi csapadékösszegei a 30 éves (1971-2000) bázisidőszakhoz viszonyítva (az OMSZ gödöllői mérőállomás adatai alapján)

Annak ellenére, hogy 2009-ben a csapadékösszeg Gödöllőn nagyobb volt, mint az azt megelőző évben, a csapadék eloszlása kedvezőtlenebb volt (5. ábra). 2009-ben a vegetációs periódusban jóval kevesebb eső esett, mint az előző évben. A hulló csapadék is inkább intenzívebb, a talajba kisebb mértékben beszivárgó, rosszabbul hasznosuló zivatarok formájában jelentkezett. A csírázást követő kritikus időszakban (a vizsgált gyomfajok esetén jellemzően áprilisban) a sokéves átlag csupán 23%-a hullott. A szokásosnál kedvezőbb vízellátottságú júniust három, a sokéves átlagnál jóval szárazabbnak számító hónap követett.

5.3. Fenológiai vizsgálatok

5.3.1 Tőszám vizsgálatok

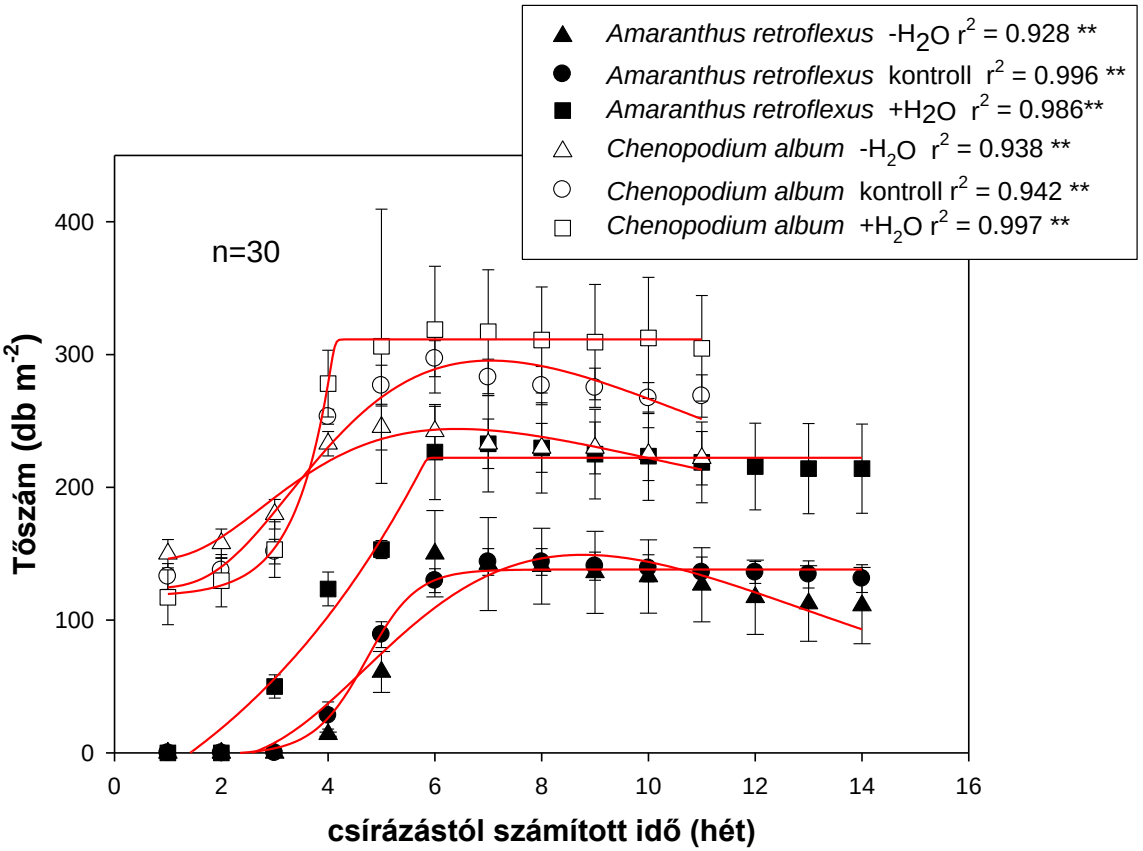


6. ábra: A vizsgált gyomfajok tőszámának alakulása
/2008. március 28.- szeptember 7./

A tőszámok változását vizsgálva az öt gyomfaj közül 4 esetén szigmoid típusú (P<0,001), míg a *Chenopodium album*-nál a lognormal típusú (P<0,001) görbe adta a legerősebb regressziót (6. ábra). A legerősebb korreláció az *Amaranthus retroflexus* (r^2=0.996), míg a leggyengébb az *Ambrosia artemisiifolia* (r^2=0.933) állományában volt tapasztalható. A tőszám változás tekintetében a C_4-es fajok elég egységesek, eltérő habitusuk és viszonylag nagy taxonómiai távolságuk ellenére. A C_4-es típusú taxonok tőszáma jelentősen eltért a C_3-as fajoktól. Utóbbi csoportban *Chenopodium album* és az *Artemisia vulgaris* egyaránt magas tőszámmal, míg az *Ambrosia artemisiifolia* meglepően alacsony tőszámmal volt jellemezhető. Utóbbi a legkisebb csírázási rátával magyarázható. Legkorábban a fehér libatop csírái jelentek meg, két és fél héttel a magszórás után. A legintenzívebb tőszámnövekedést (4-6. hét) a fekete üröm mutatta.

A fekete üröm egyedei jelentek meg másodikként, a fehér libatop után egy héttel. Egyedei kezdetben foltszerűen, majd a negyedik héttől tömegesen borították a parcellákat. A legkisebb tőszámmal végig az *Ambrosia artemisiifolia* állományai rendelkeztek, és a maximális tőszámot is ennek a fajnak az állományai érték el legkésőbb. A maximális tőszám elérését követően mindegyik taxon esetében minimális egyedszám-csökkenés következett be, feltehetően az

intraspecifikus kompetíció miatt. Meglepő módon a három inváziós taxon érte el a legkisebb tőszámot egységnyi területen.



7. ábra: A tőszám változása egy C_3-as és egy C_4-es gyomfaj esetén /2008. március 28.- szeptember 7./

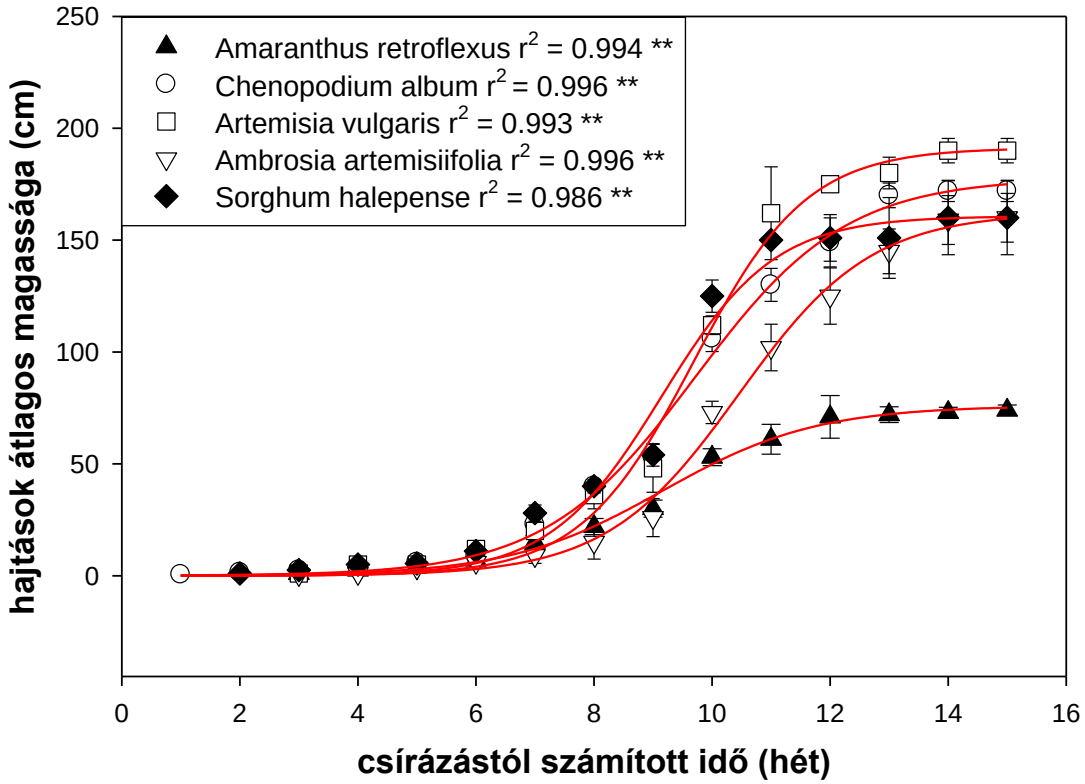
A tőszámok változására a *Chenopodium album* kontroll, valamint mindkét manipulált faj részleges csapadékkizárt állományai esetén egyaránt 4 paraméteres lognormal típusú görbe adta a statisztikailag legerősebb, szignifikáns ($P<0,001$) regressziót (7. ábra). Az *Amaranthus retroflexus* kontroll, illetve mindkét taxon öntözött állományaiban szigmoid típusú illesztés volt a legerősebb ($P<0,001$). Ez az eltérés abból adódott, hogy az utóbbi foltokban csak kisebb mértékű tőszámcsökkenés következetett be.

Az *Amaranthus retroflexus* állományaiban az öntözött foltok tőszáma minden mérési időpontban szignifikánsan ($P<0,05$) meghaladta a kontroll és részleges csapadékkizárt foltokét, továbbá nagyobb tőszámnövekedés volt megfigyelhető. Csökkentett vízellátottság hatása a kontroll állapothoz képest kevésbé nyilvánult meg a tőszám esetében.

A *Chenopodium album* állományokban kezdetben a részleges csapadékkizárt foltok rendelkeztek nagyobb tőszámmal, és ezt az előnyüket a csírázástól számított 3 hétig meg is tartották. Az öntözött foltokban a csírázás és az ezzel összefüggő tőszám-növekedés elnyújtottabb volt. A vizsgált időszakban a két faj közötti elkülönülés is megfigyelhető volt. A

C_4-es taxonnál csak a részeges csapadékkizárt, míg a C_3-as gyomnál a kontroll típusban is jelentősebb tőszámcsökkenés volt megfigyelhető.

5.3.2 Hajtások átlagos magassága

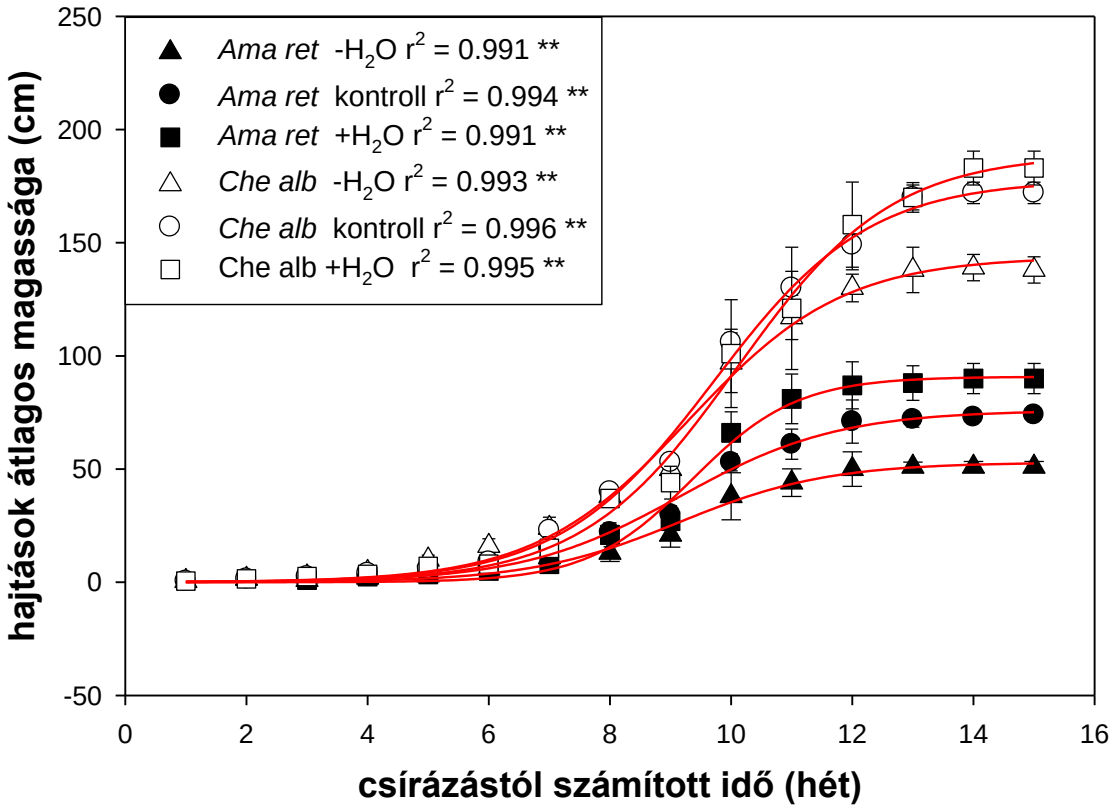


8. ábra: A kontroll állományok átlagos magassága a vegetatív képletek teljes kifejlődéséig /2008. március 28.- augusztus 26./

A hajtások átlagos magasságának dinamikája mind az öt vizsgált gyomfaj esetén 3 paraméteres szigmoid típusú illesztéssel adta a statisztikailag legerősebb, szignifikáns ($P<0,001$) regressziót (8. ábra). Legerősebb összefüggés az *Ambrosia artemisiifolia* ($r^2=0,996$), míg leggyengébb a *Sorghum halepense* ($r^2=0,986$) állományaiban volt.

A vegetatív képletek teljes kifejlődésekor az *Artemisia vulgaris* jellemezhető a legnagyobb átlagos magassággal. Az *Amaranthus retroflexus* állományok átlagos magassága szignifikáns mértékben ($P<0,05$) elmaradt a többi vizsgált fajhoz képest. A C_3-as taxonok növekedése és átlagos magassága hasonló jellegű volt. A C_4-esek közül a *Sorghum halepense* szintén ilyen karakterisztikával jellemezhető. A vizsgált fajok közül az *Ambrosia artemisiifolia* érte el legkésőbb a maximális átlagmagasságát. Az egyes fajok közötti különbségek kevésbé nyilvánultak meg, mint az állományok legmagasabb egyedeinek mérete alapján. Az *Ambrosia artemisiifolia* és az *Artemisia vulgaris* esetén a szakirodalomban leírt maximális magasságnál is (PERCZE 2002) nagyobb egyedeket mértem a kedvező csapadékviszonyok következtében.

Utóbbi indokolta a 2m magas állománymérő kamra kifejlesztését és használatát, illetve az előre nem tervezett biomassza vágást.



9. ábra: *Amaranthus retroflexus* és *Chenopodium album* manipulált állományainak átlagos magassága a vegetatív képletek teljes kifejlődéséig /2008. március 28.- augusztus 26./

A hajtások átlagos magasságánál mindkét faj kezelt és kontroll állománya esetén a 3 paraméteres szigmoid illesztés adta a legerősebb regressziót ($P<0,001$). Kezelésektől függetlenül mindkét faj hasonló dinamikával rendelkezett (9. ábra). A teljes fejlettség elérésekor az állományok átlagos magasságának sorendje tükrözte a csapadékellátottságot. A részleges csapadékkizárás hatása jobban megnyilvánult a C_3-as taxon esetén, mint a C_4-es gyomnál. A részleges csapadékkizárás statisztikailag igazolható, szignifikáns átlagos állománymagasság csökkenést okozott mind a C_3-as ($P<0,05$), mint a C_4-es ($P<0,001$) faj esetén. Az öntözés hatására szignifikánsan nagyobb ($P<0,05$) átlagmagasság növekedés volt tapasztalható az *Amaranthus retroflexus* állományaiban, mint a *Chenopodium album* foltokban a kontrollhoz képest. A szőrös disznóparéj növekedési görbéje – a későbbi csírázás ellenére – korábban ellaposodott, mint a fehér libatopé, azaz állományai korábban elérték maximális magasságukat. Az átlagos állománymagasság maximumának elérésekor, a tőszámhoz hasonló, de kifejezettebb különbség volt a két faj állományai között a manipulációs kísérletek ellenére. A *Chenopodium album* minden állományának átlagmagassága az összes mérési alkalommal meghaladta a C_4-es gyomét.

2009-ben az *Artemisia vulgáris* generatív eredetű állományaiban jelentek meg először a friss hajtások (2009. március 28.) megelőzve a vetett magvak közül ekkor is először csírázó *Chenopodium album* állományait. A ferde gyöktörzsről fejlődő feketeüröm egyedek megjelenése egy héttel előzte meg az azonos taxonba tartozó vetett növényekét. Ez a fenológiai lemaradás megmutatkozott a *Sorhum halepense* vetett állományaiban is, a vegetatív eredetűekhez képest. Az egy hetes csúszás miatti különbség az állománymagasság tekintetben egészen júliusig fenn is maradt mindkét évelő gyomfaj esetén.

5.3.3 Virágzás, termésérés

Az első virágok az *Amaranthus retroflexus*-nál jelentek meg 2008. május 22-én. Ezt követően a *Chenopodium album* és a *Sorghum halepense* (06.05.), majd az *Artemisia vulgaris* (06.15.) virágzott, míg legkésőbb az *Ambrosia artemisiifolia* (06.22.) generatív képletei jelentek meg. Az *Amaranthus*, *Artemisia* és *Sorghum* nemzetségeknél a virágzás korábban következett be a szakirodalomban jelzett időszaknál (SIMON 1992, 2000).

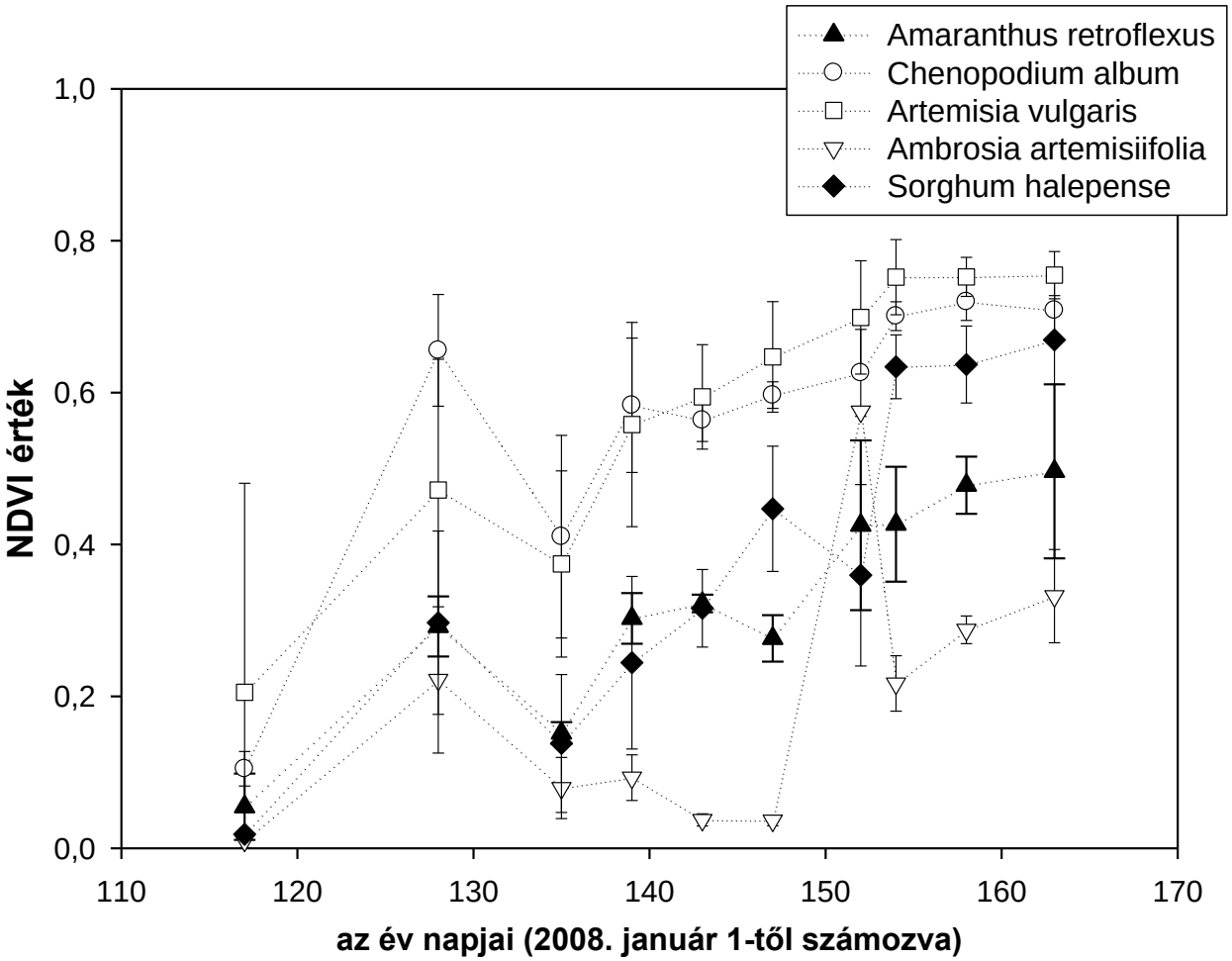
A manipulációs állományok esetében az *Amaranthus*-nál a részlegesen csapadékkizárt és kontroll állományok egyedei korábban kezdtek virágozni (05.22.), mint az öntözött állomány növényei (06.05.). A C_3-as *Chenopodium* állományait vizsgálva az előző taxonnal ellentétben a részlegesen csapadékkizárt típusban öt nappal később (06.10.) jelentek meg a virágzó egyedek, mint a másik 2 állományban. A kontrollhoz képest a libatop öntözött foltjában kezdeti stádiumban kétszeres volt a virágzó egyedek aránya.

A termések először a *Sorghum* állományaiban (06.22.) jelentek meg, majd ezt a taxont a legkorábban virágzó *Amaranthus* (06.29.) és, *Chenopodium* (07.05.) követte. Az *Artemisia*-nál július második felében (07.20), míg a szintén az *Asteraceae* családot képviselő *Ambrosia*-nál csak augusztus elején jelentek (08.07.) az első termések. A vizsgált C_4-es taxonok tehát korábbi terméséréssel jellemezhetők.

A manipuláció hatásait vizsgálva azt tapasztaltam, hogy mindkét fajnál a kontroll állományokban jelentek meg először a termések (*Ama ret*: 06.29.; *Che alb*: 07.05.). Az *Amaranthus* állományai közül ezt követték a csapadékkizárt folt egyedei (07.05.), míg legkésőbb – a virágzáshoz hasonlóan – az öntözött parcellák egyedei (07.28.) kezdték el termésüket érlelni. A libatopnál másodikként – 6 nappal később – az öntözött állománynál jelentek meg a termések (07.11.), míg a csapadékkizárt foltokban majdnem egy hónappal később csak augusztus elején (08.07.) figyeltem meg először terméseket. Utóbbi típusban a késői terméséré a termések tömeges egyidejű megjelenésével társult.

2009-ben annak ellenére az *Artemisia vugaris* vegetatív eredetű foltjában az első tövek egy héttel korábban megjelentek, mint a vetett parcellákban, a virágok mégis 9 nap késéssel, csak július 5-én jelentek meg az évelő állományban. A fenyércirok eltérő eredetű állományaiban meglepő módon ellenkező irányú tendencia volt mefigyelhető a virágok- és az első hajtások megjelenése közt, mint az a fekete ürüm esetén volt tapasztalható. Bár a vegetatív eredetű hajtások egy héttel megelőzték a vetett magok csírázását, utóbbi állományokban a virágzás, és termésérés 8 nappal korábban kezdődött el. A föld alatti raktározó képletek és az előző évről maradt nagy tápanyag- és nedvesség felvevőfelület jelentős előnyt biztosított az induláskor a frissen csírázó magvakkal szemben.

5.5. NDVI adatok

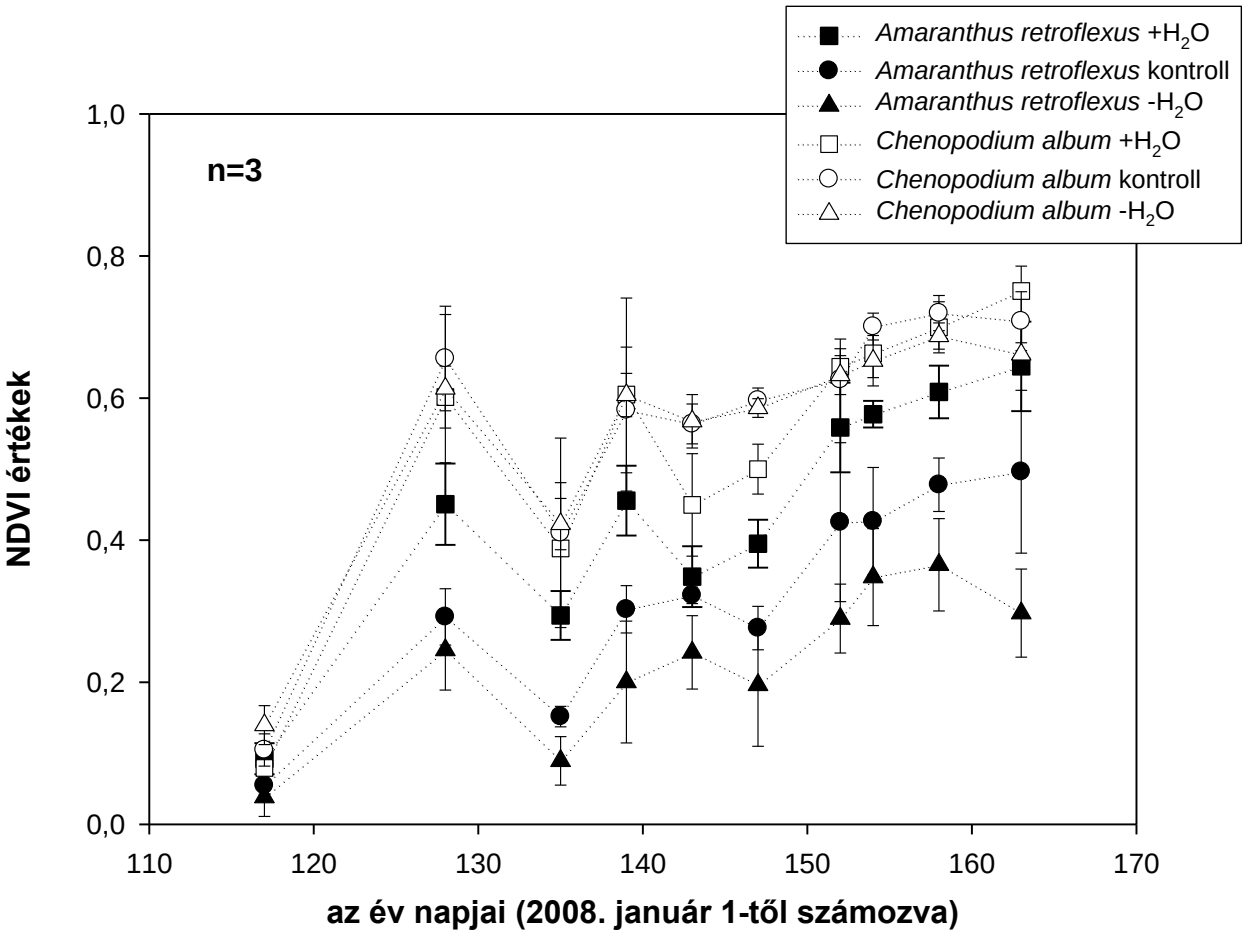


10. ábra: A vizsgált gyomfajok NDVI értékeinek időbeli alakulása (2008. április 25. - június 2.)

Az NDVI értékek dinamikája telítődés jellegű volt mindegyik állománynál (10. ábra). A kiugró NDVI értékeket a felhősödés okozta az eltérő fényviszonyok miatt. Ez különösen a 2. és 3. mérési időpont értékeinek összevetése esetén szembetűnő. A parlagfű esetén később sikerült egyértelműen elkülöníteni és eltávolítani más taxonok csíranövényeit, ezért figyelhető meg a kezdeti stádiumban a hullámzó NDVI érték. A jelentős biomassza gyarapodással és lombozat kifejlődésével csak a későbbi – döntően nyári – időszakban jellemezhető *Ambrosiá*t figyelmen kívül hagyva feltűnő, hogy a C_3-a taxonok magasabb NDVI értékkel jellemezhetők a mérési periódusban. Ez a C_4-es fajok közismerten magasabb hőigényével (pl. KALAPOS et al. 1997), illetve ezzel összefüggő – általunk is igazolt (7. ábra) – későbbi csírázásával és hajtás gyarapodásával magyarázható. A C_4-es fajok értékei a 7. mérési időpontig jelentős hasonlóságot mutattak.

Az összes mérési alkalommal a *Chenopodium album*, valamint az *Artemisia vulgaris* állományok rendelkeztek a legnagyobb, míg egy kiugró értéktől eltekintve az *Ambrosia artemisiifolia* a legkisebb NDVI értékekkel a mérési periódusban (a viszonylag nagy

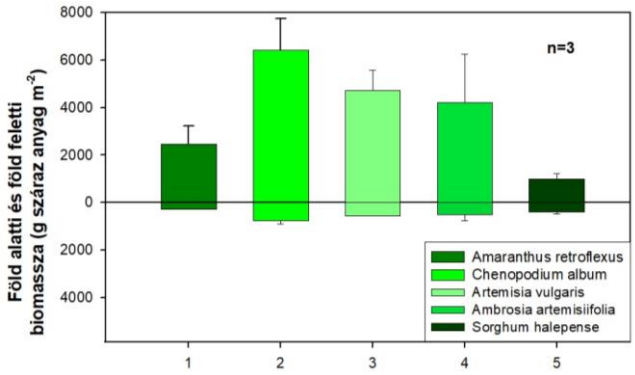
szórásértékek miatt az eltérés nem volt szignifikáns). Az egyes funkcionális csoportok elkülönülése az említetten kívül nem volt egyértelmű.



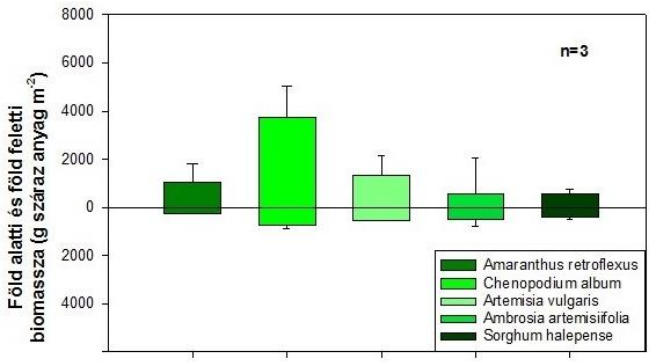
11. ábra: Az NDVI értékek időbeli alakulása egy C_3-as és egy C_4-es gyomnövény manipulált és kontroll állományaiban (2008. április 25. - június 2.)

Az idő előrehaladtával az NDVI értékek növekedtek mindkét manipulált faj állományaiban a mérési periódus alatt (11. ábra). A kiugró és a trendtől eltérő értékek a már említett felhős mérési időpontokkal függnek össze. A C_4-es fajnál az egyes kezelések hatása egyértelműen megmutatkozott az NDVI értékek alakulásában, mivel a kezelések közötti sorrend minden mérési alkalommal tükrözte a vízellátottságot. Mindkét kísérletes faj esetén az öntözött foltokban magasabb, míg a részleges csapadékkizárt foltokban alacsonyabb NDVI értékek voltak mérhetőek. A C_3-as faj esetén az egyes kezelések NDVI értékei között kisebb különbségek adódtak. A vízellátottság eltérése nem vonta maga után egyértelműen az NDVI értékek növekedését vagy csökkenését. A *Chenopodium album* állományainak értékei minden alkalommal és foltban meghaladták az *Amaranthus retroflexus* állományok NDVI értékeit. A szőrös disznóparéj öntözött állományainak dinamikája nagyfokú hasonlóságot mutatott a fehér libatop öntözött állományaival.

5.6. Biomassza vizsgálatok



12a. ábra: A vizsgált gyomfajok maximális biomasszája 2018-ban /2008.09.01./



12b. ábra: A vizsgált gyomfajok maximális biomasszája 2019-ban /2009.09.01./

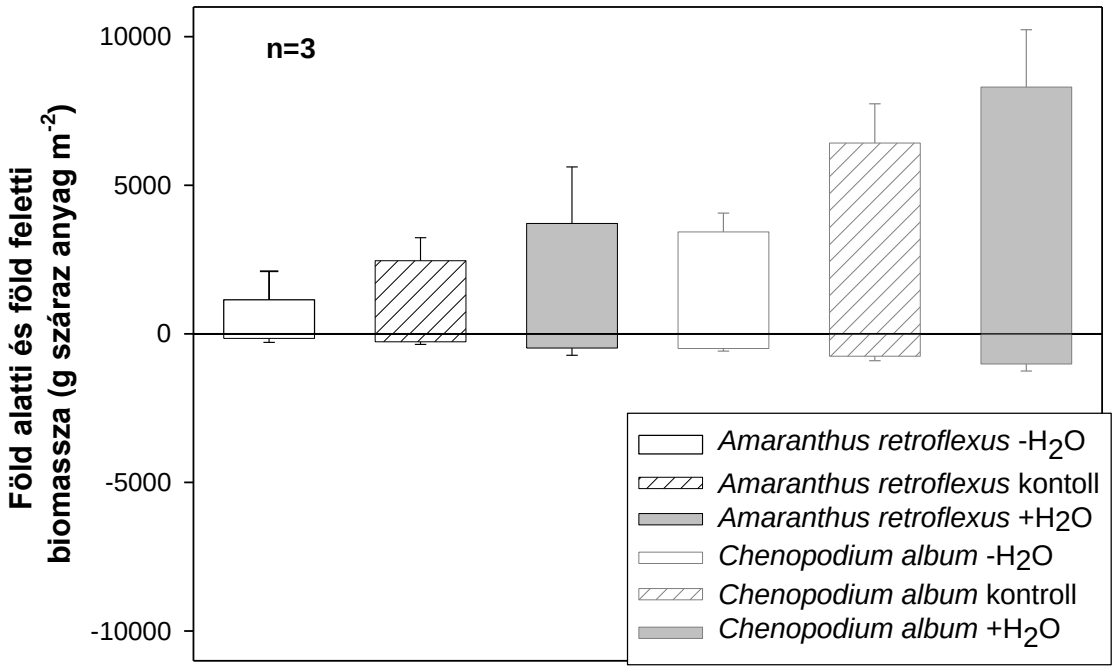
Mindegyik vizsgált taxon jelentős biomassza értékeket ért el maximális fejlettségi stádiumában (12a. és 12b. ábra). A *Sorghum halepense* kivételével a többi faj föld feletti biomasszája 2008-ban többszörösen meghaladta a hazai gyepekben és gyomokban eddig mért (pl. CZÓBEL 2007, SZENTE et al. 2003a) adatokat (12a. ábra). A magas föld feletti produkciót (FFB) a kedvező csapadékellátottság mellett, a magas tőszám, állománymagasság, továbbá feltehetőleg a gyengébb intraspecifikus kompetíció, illetve az interspecifikus kompetíció hiánya együttesen okozhatta. A gyepekhez képest szembeötlő eltérés, hogy a föld feletti biomassza tömege többszörösen (átlagosan 7,3 szorosa) meghaladta a föld alatti biomassza tömegét, amit korábbi vizsgálatok (SZENTE et al. 2003b) is igazoltak. A mért fitomassza értékek az azonos klimatikus viszonyokon termesztett egyes kultúrnövények biomassza produkcióját is többszörösen meghaladták, mint pl. az őszi búzáét (OHKOBU et al 2015), azonban elmaradtak a kifelyezetten tömegtakarmány növények produkciójától. A parlagfű föld feletti biomassza produkciója többszörösen meghaladta az üvegházi kísérletben tapasztaltakat (SIMARD & BENOIT 2011), mely összefügghet előcsíráztatásom eredményeivel, miszerint e faj esetén kölönösen fontosak az *in situ* vizsgálatok.

2008-ban a C_4-es fajok szignifikánsan kisebb biomasszával rendelkeztek a teljes fejlettség elérésekor, mint a C_3-as taxonok (12a. ábra). A különbség a C_4-es fajok és a fehér libatop, valamint a fekete üröm között szignifikáns ($P<0,05$). A legnagyobb biomassza tömeget mindkét évben a *Chenopodium album* állományai értek el, míg a legkisebbet a fenyérciroknál tapasztaltam. A föld feletti hajtásokat és a föld alatti képleteket (FAB) vizsgálva előbbi esetben megegyező sorrendet, míg utóbbinál eltérést tapasztaltam, mert a legkisebb gyökérzet tömeggel a disznóparéj rendelkezett mindkét évben.

2009-ben az előző évihez képest jóval kedvezőtlenebb csapadékellátottsága miatt (5. ábra), mind az 5 taxon átlagos bioamassza produkciója jelentősen elmaradt a 2008-ban mért értékektől

(12b. ábra). A C_3-as fajok esetében ez a különbség szignifikáns is volt ($P<0,05$). A szárazabb évben tapasztalható jelentős csökkenés a biomassza produkcióban egybevág az irodalmi adatokkal (pl. MONTAGNANI et al. 2017, ONEN et al. 2017). A visszaesés a C_4-es fajok esetén is jelentős volt (pl. *Sorghum halepense* 2009-ben csak az előző év biomassza produkciójának csak 56,3%-át, míg az *Amaranthus retroflexus* mindössze 51,4%-át érte el), azonban a nagy szórás értékek miatt az eltérés nem volt szignifikáns a két év között.

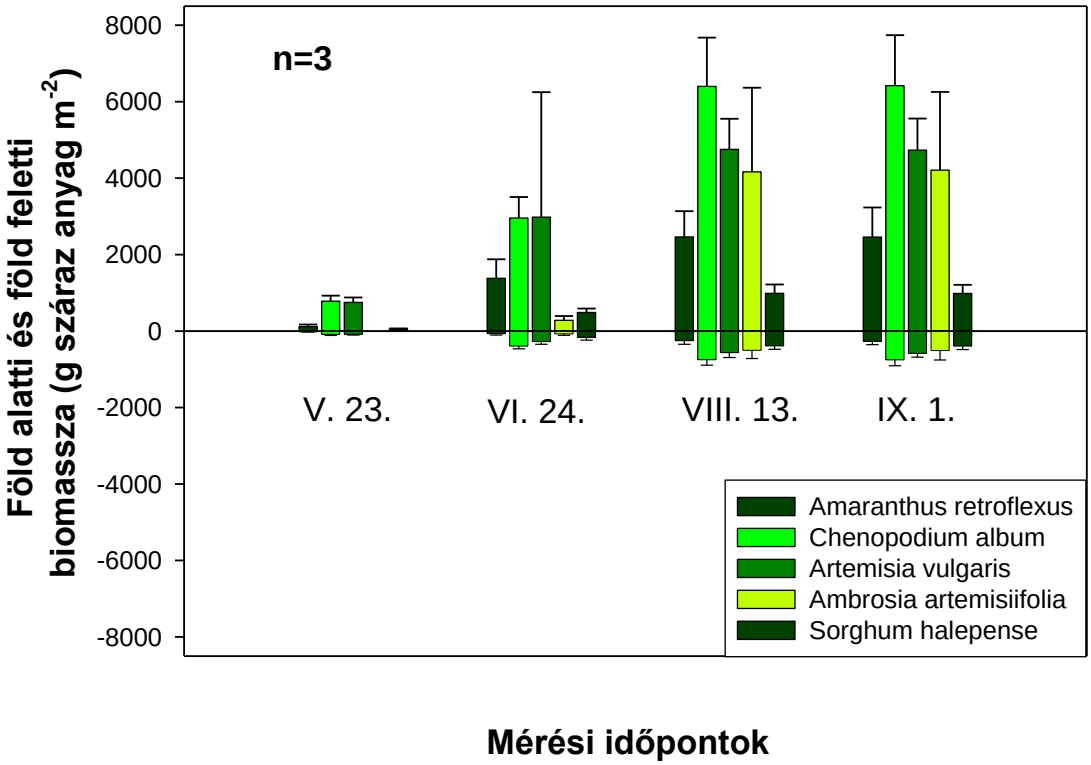
A rendszertani egységeket összehasonlítva az *Asteraceae* családba tartozó vizsgált taxonok állományai hasonló FAB és FFB értékeket értek el, míg a jelentős állománymagasság ellenére, az eltérő habitusú *Poaceae* faj állományai rendelkeztek a legkisebb biomasszával és FFB szórással. Az évelő fenyércirok FFB/FAB aránya volt a legalacsonyabb (2,5) a jelentős tarackmennyiség miatt. A szintén évelő *Artemisia vulgáris* föld feletti és föld alatti biomassza aránya (8,16) nem tért el ilyen mértékben a többi egyéves fajétól (*Amaranthus retroflexus* 9,12; *Chenopodium album* 8,54; *Ambrosia artemisiifolia* 8,26).



13. ábra: Az eltérő csapadékmennyiség hatása egy C_4-es és egy C_3-as gyomfaj produkciójára /2008. szeptember 1./

A fitomasszában jelentős különbségek voltak tapasztalhatóak az egyes kezelések között, mindkét faj esetén (13. ábra). A biomassza a vártnak megfelelően változott a rendelkezésre álló talajnedvesség függvényében. A különböző csapadékmennyiségek hatása azonos tendenciát mutatott mind a FFB mind a FAB esetén. A C_4-es faj részlegesen csapadékkizárt állományának biomassza csökkenése nagyobb mértékű volt (53,5%), mint a C_3-as taxon esetében (46,6%), ami

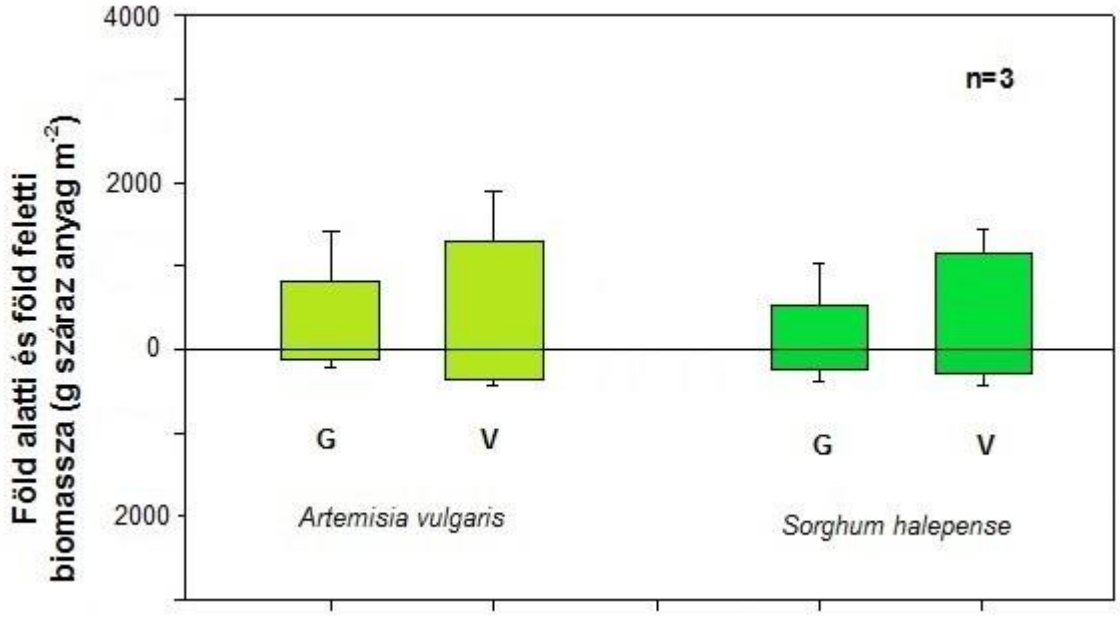
ellentétes WARD et al. (1999) megfigyeléseivel. LEE (2011) fehér libatop esetén a kontrollhoz képest 4°C-os hőmérséklet emeléssel nagyon hasonló hatást ért el, ugyanis a kezelés 47,3%-os biomssza csökkenést okozott. A föld feletti biomassza tömege mindkét faj minden kezelésnél jelentősen meghaladta a föld alatti biomasszáét. A részlegesen csapadékkizárt állományok rendelkeztek mindkét taxon esetén a legkisebb FFB/FAB aránnyal (*Ama ret*:7,32; *Che alb* 6,97). Az *Amaranthus retroflexus* állományok közül a kontroll rendelkezett a legkisebb szórással. A *Chenopodium album* állományokban a biomassza növekedésével nőtt az SD érték is. A C_3-as gyomfaj esetén kontroll állományok biomassza-tömege szignifikánsan különbözött a részlegesen csapadékkizárt állományoktól ($P<0,05$). Utóbbi fajnál az átlagos állománymagasságtól (9. ábra) eltérően jobban elkülönültek biomassza alapján a kontroll és öntözött foltok.



14. ábra: A vizsgált gyomfajok biomasszájának alakulása a vegetációs periódus során (2008. május 23. – szeptember 1.)

A vizsgált C_4-es fajok biomasszája minden alkalommal jelentősen elmaradt a C_3-as taxonokétól (14. ábra). Az első két mérési alkalommal a *Chenopodium album*, valamint az *Artemisia vulgaris* igen hasonló tömegeket ért el, és a korai gyors növekedésükből adódóan, jelentős előnyük volt a többi taxonnal szemben. Az *Ambrosia artemisiifolia* viszonylag későn kezdett tömegesedni, emiatt az első két időpontban a legkisebb FFB-vel és FAB-val rendelkezett. Az azonos családba tartozó parlagfű és fekete üröm az eltérő dinamika ellenére

hasonló biomassza értékeket ért el. A maximális fitomassza mennyiség mindegyik faj esetében már augusztus közepére kialakult.



15. ábra: Az évelő gyomfajok generatív és vegetatív eredetű állományainak maximális biomasszája /2009.09.01./

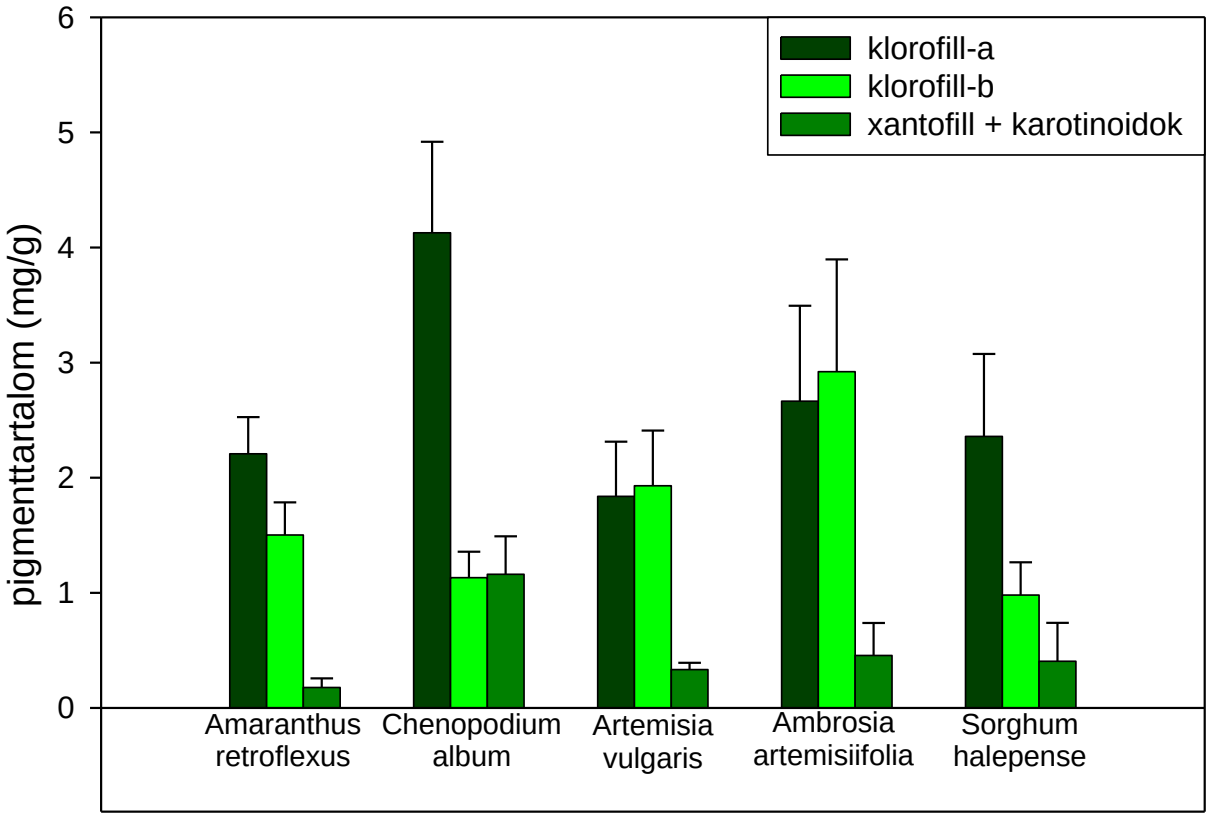
A 2009-es mérési adatok alapján a *Sorghum halepense* vegetatív eredetű állományainak biomassza produkciója több mint kétszerese volt, a magról kelt állományokéhoz képest (15. ábra). A nagyobb produkció mellett, a föld alatti képletekből fejlődött, évelő állományok biomassza értékei jóval kiegyenlítettebbek voltak. A fenyércirok állományfoltok magtermésének négyzetméterre vetített tömege kevésbé tükrözi az össz föld feletti biomassza tömegének alakulását. Az egyes buga virágzatokra vonatkoztatott magtermés tekintetében fordított tendencia figyelhető meg, hiszen a generatív eredetű állományok (0,665 g termés/buga) közel kétszeres értékeket értek el a földalatti képletekből fejlődött hajtásokhoz képest (0,377 g termés/buga).

Az előző évről földben maradt vegetatív képletekből fejlődött és a magról csírázott állományokat összehasonlítva az *Artemisia vulgaris* esetén is a vegetatív eredetű foltok értek el nagyobb biomassza produkciót (15. ábra). Annak ellenére, hogy a ferde gyöktörzsről fejlődött fekete üröm tövek mért négyzetméterre vetített tömege több mint 46%-al meghaladta a vetett állományfoltok produkcióját, a jelentős szórásértékek miatt a különbség nem volt szignifikáns.

Mindkét faj esetén indokolhatja a vegetatív eredetű állományok fölényét, az előző évben felhalmozott tartalék tápanyagok mennyisége, valamint a fejlett gyökérzet megléte. Az áttelelő

képletek miatt a növekedés is gyorsabban indulhatott meg tavasszal, így közel egy héttel hosszabb vegetációs periódussal rendelkeztek a vetett egyedekhez képest.

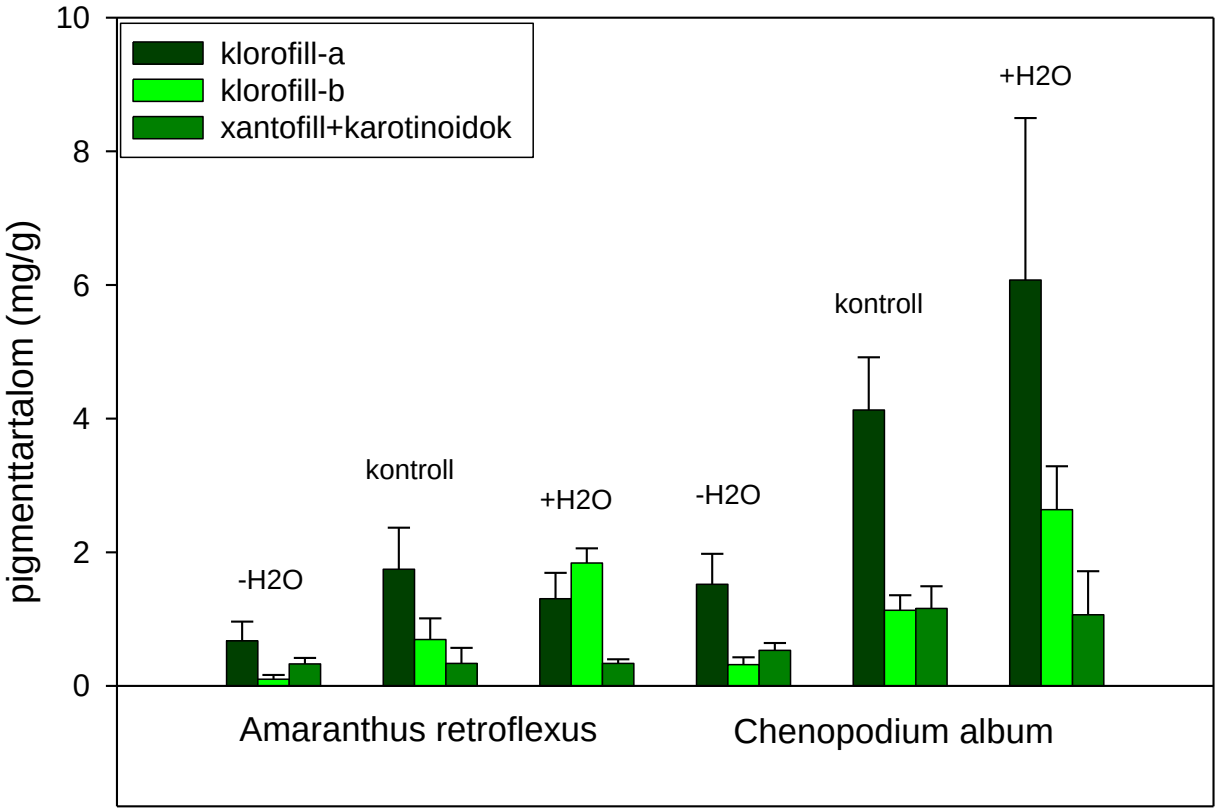
5.7. Pigment tartalom vizsgálat



16. ábra: A vizsgált gyomfajok leveleinek pigment tartalma a teljes fejlettség elérésekor (2008. augusztus 13.)

Pigment tartalom tekintetében az egyes funkciós csoportok nem különülnek el egymástól, de a C_4-es növények színanyag tartalma szűkebb tartományban mozgott (16. ábra).

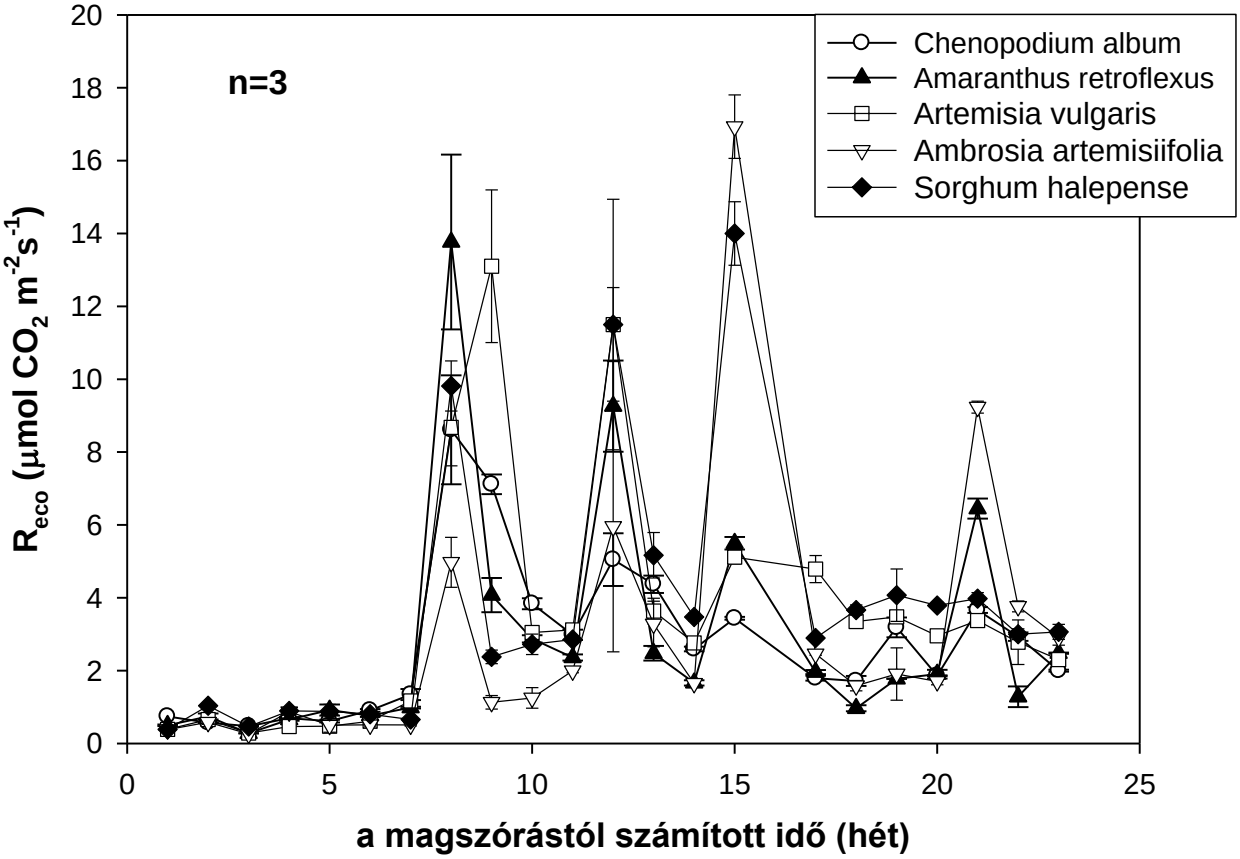
A *Chenopodium album* klorofill-a, valamint xantofill és karotinoid tartalma szignifikánsan ($P<0,05$) meghaladták a többi fajét. A legmagasabb klorofill-b tartalom az *Ambrosia artemisiifolia* leveleiben volt mérhető, azonban össz-klorofill tartalma elmaradt más kutatások során tapasztalt értékektől, melyet kedvező csapadékviszonyok mellett mértek (LEIBLEIN & LÖSCH 2011). A legkisebb klorofill-a átlagértékkel az *Artemisia*, míg a legalacsonyabb klorofill-b átlaggal a *Sorghum* jellemezhető. Az egyéb vizsgált pigmentek mennyisége tekintetében a disznóparéj rendelkezett a legkisebb értékekkel. A legkisebb szórásértékek az *Amaranthus retroflexus*-nál figyelhetők meg. A fészkesek közé tartozó két taxon hasonló arányban tartalmazta az egyes pigmenteket.



17. ábra: Egy C_4-es és egy C_3-as gyomfaj leveleinek pigment tartalma a teljes fejlettség elérésekor (2008. augusztus 13.)

Az összpigment tartalom összhangban volt az adott folt csapadék-ellátottságával (17. ábra). Az *Amaranthus retroflexus* manipulált állományai között kisebb különbség volt mérhető. Mind a részleges csapadékkizárás, mind az öntözés hatására szignifikáns ($P<0,05$) eltérés volt tapasztalható a szőrös disznóparéj leveleinek klorofill-b tartalma esetén. A C_4-es faj esetén a növekvő csapadékellátottság hatására nőtt a klorofill-b tartalom az összpigmenttartalom mellett. A *Chenopodium album* pigment tartalma a részleges csapadékkizárt foltot kivéve meghaladta a szőrös disznóparéjét. Az azonos kezeléstípusokat összehasonlítva minden esetben a libatop értékei voltak magasabbak. A kezelések hatására a C_3-as taxon manipulált állományai között nagyobb különbségek adódtak. A részleges csapadékkizárás mindegyik vizsgált pigmentre, míg az öntözés csak a klorofill-b koncentrációjára volt szignifikáns hatással ($P<0,05$). A klorofill-a tartalom végig meghaladta a többi pigment mennyiségét. A fehér libatop levelek klorofill-a és klorofill-b tartalma egyaránt pozitív korrelációt mutatott a csapadékmennyiséggel, utóbbi pigment összmennyisége a C_4-es taxon esetében is pozitívan korrelált a vízellátottsággal.

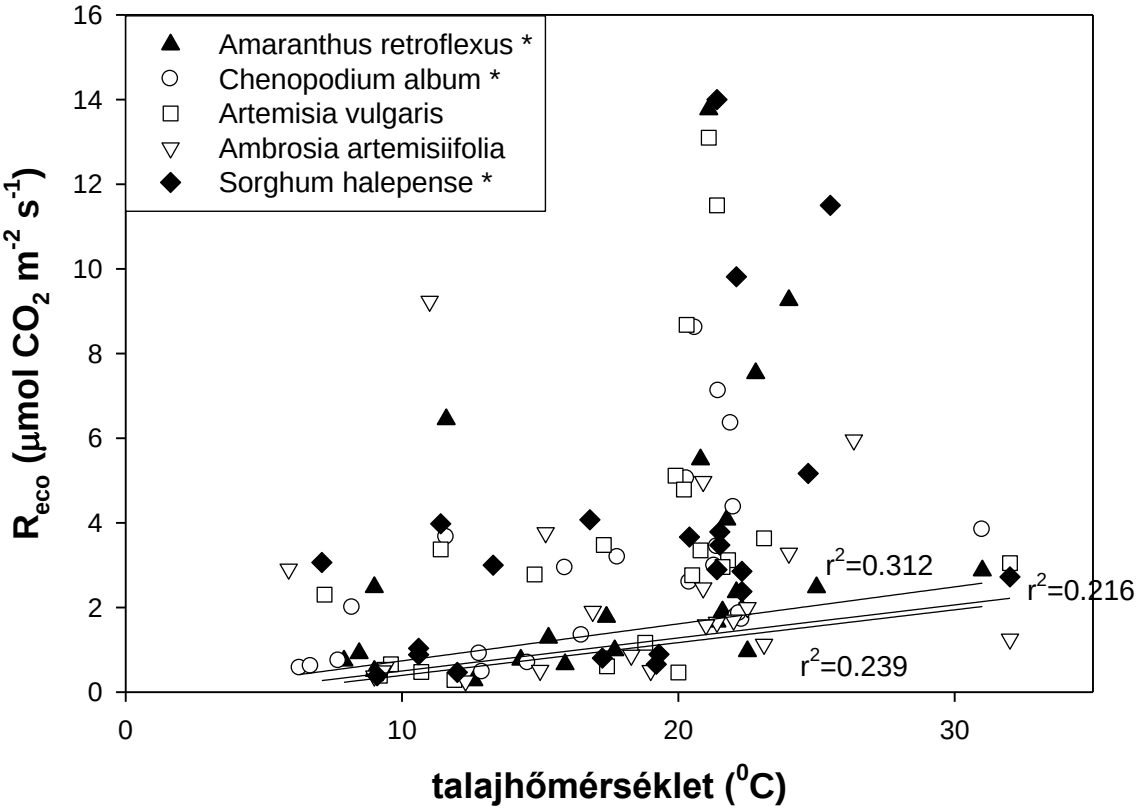
5.8. Talajlégzés (R_{eco}) mérések



18. ábra: Az ökoszisztéma-respiráció alakulása a vizsgált gyomfajokban a vegetációs periódus alatt (2008. március 21. – október 18.)

Az egyes fajok ökoszisztéma-respirációjának időbeli dinamikájában se szignifikáns, se trendszerű eltérés nem volt tapasztalható. Az első 7 hétben alacsony talajhőmérséklet értékek mellett alacsony talajlégzés intenzitás jellemezte az állományokat. Az egyes időpontokban megfigyelhető kiugró értékek más-más fajokhoz köthetők (18. ábra). Az egyes funkciós csoportok között szignifikáns eltérés nem tapasztalható. A vágást követő egy hónapon belül az évelő taxonok R_{eco} értékei magasabbak voltak. A tavaszi periódus mért időpontjai alapján a legnagyobb átlagos R_{eco} értékkel az *Artemisia vulgaris* (2,89 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) állománya rendelkezett, melyet az *Amaranthus retroflexus* (2,56 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) és a *Chenopodium albu*m (2,49 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) foltjai követtek. Ebben az időszakban a *Sorghum halepense* állományok átlagos R_{eco} értéke 2 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ volt, míg az *Ambrosia artemisiifolia* parcelláké a többi fajtól viszonylag elkülönülve mindössze 1,1 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$-os átlagértéket ért el, mely a kései megjelenéssel párhuzamosan időben eltolódott intenzív gyökérlégzés hiányával magyarázható. A nyári időszakban az ökoszisztéma respiráció minden taxon állományában intenzívebbé vált, és a

sorrend megváltozott. Nyáron a legintenzívebb talajlégzés a fenyércirok állományaiban (5,95 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), míg a legalacsonyabb a fehér libatop foltjaiban (3,14 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) volt mérhető. A parlagfű R_{eco} értéke – az intenzív fitomassza növekedéssel párhuzamosan – több mint négyszerese nőtt (4,47 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) a tavaszi átlaghoz képest. Ősszel minden faj állományában csökkent az R_{eco} intenzitása. Az időben később fejlődő *Ambrosia artemisiifolia* állományaiban volt ebben az időszakban is a legmagasabb a talajlégzés értéke (4,40 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$). A legnagyobb biomassza tömeg ellenére a *Chenopodium* foltjaiban volt a legalacsonyabb (2,61 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) a talajlégzés.

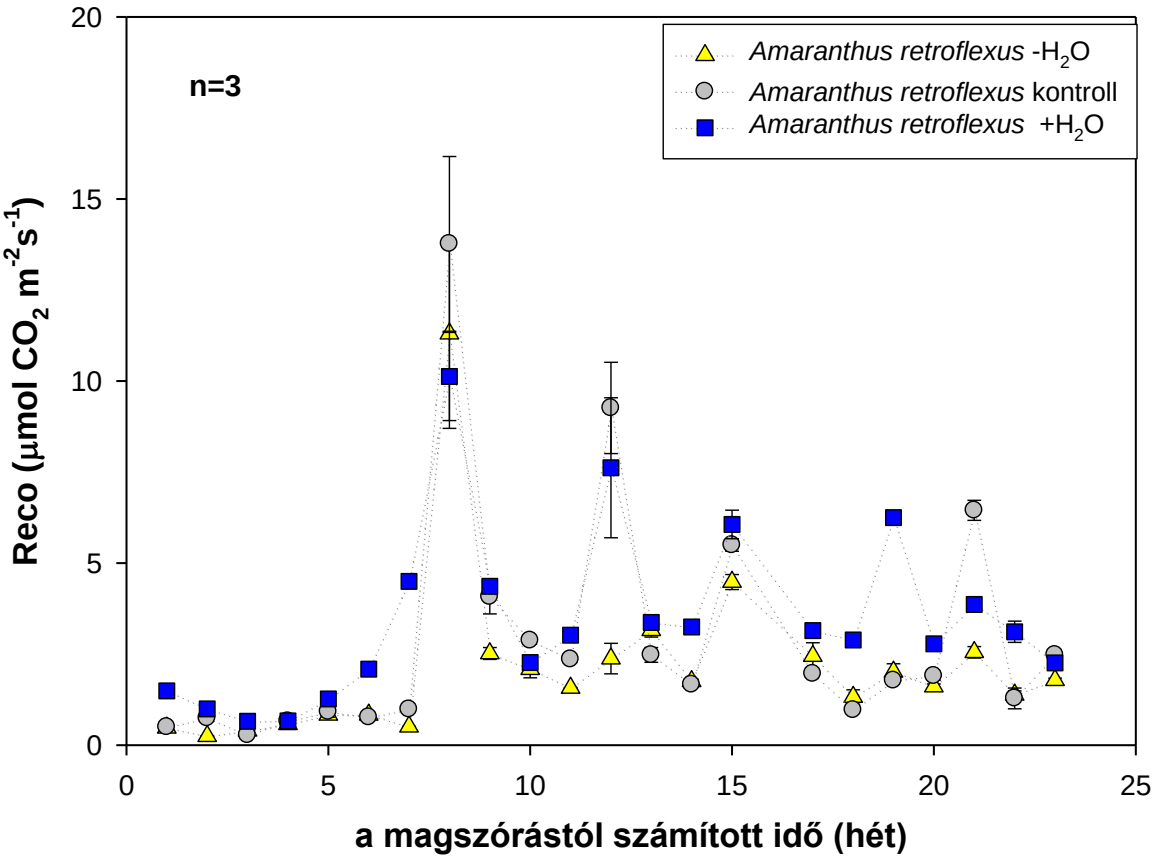


19. ábra: Az ökoszisztéma-respiráció (R_{eco}) talajhőmérséklet függése a vizsgált gyomfajok homogén állományaiban (2008. március 21. - október 18.)

A vizsgált gyomfajok R_{eco} értékei pozitív korrelációt mutattak a talajhőmérséklettel (19. ábra). Az *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* és *Sorghum halepense* állományaiban a lineáris összefüggés szignifikáns volt ($P<0,05$).

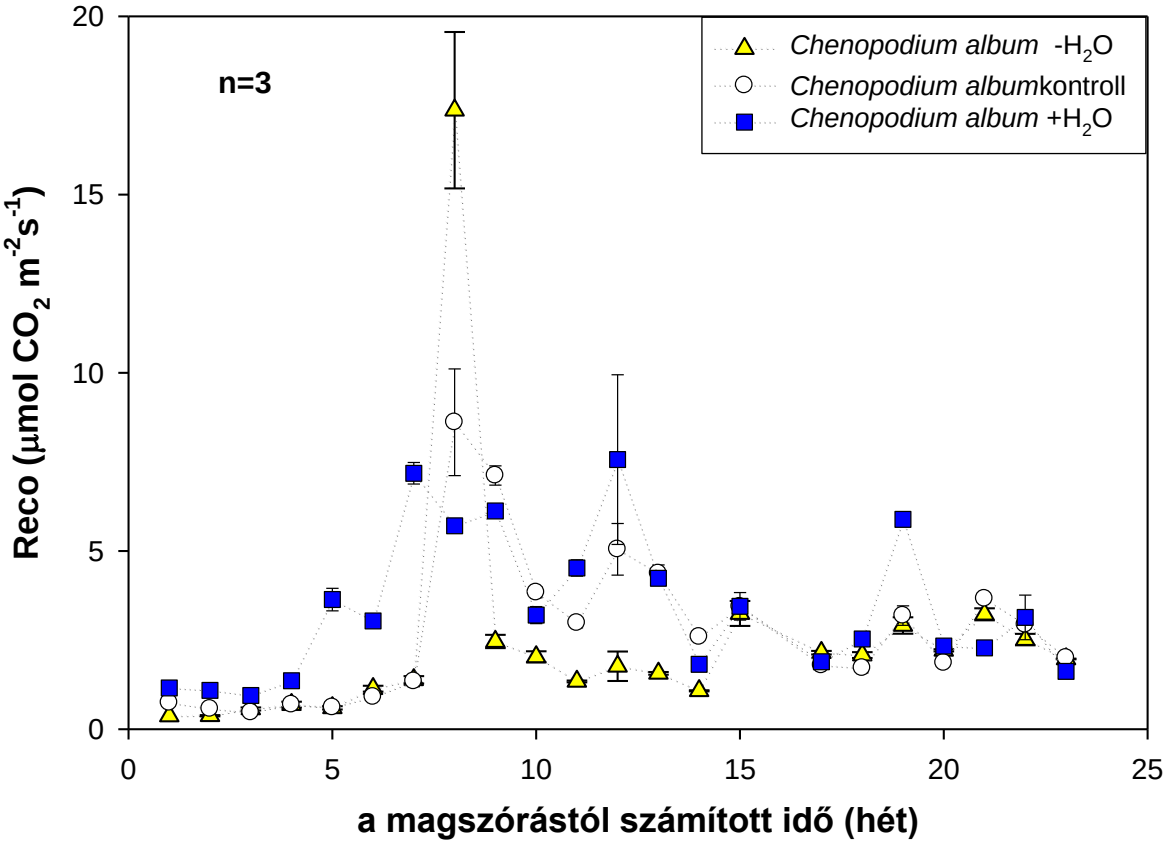
2009-ben sor került a talajlégzés mérésére kontroll gyommentes folton is, ahol a talaj növényektől független R_{eco} értékei is vizsgálhatóak voltak. Egyes irodalmi adatok alapján (KARHU et al. 2014) az ilyen mérési pontokon, a növények hiányában és a mikrobiális légzés dominanciája miatt, a hőmérséklet emelkedésével a széndioxid kibocsájtás exponenciális növekedése várható. A kontroll parcellában mértek ezt nem támasztották alá. A talajhőmérséklet

jelentős emelkedése nem okozott szignifikáns mértékű növekedését a talajlégzés intenzitásában, sőt bizonyos esetekben ellenkező tendencia volt megfigyelhető. A növénymentes parcellában 22,35°C talajhőmérsékletnél 1,74 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ Reco érték volt mérhető, míg egy időben későbbi szárazabb, de jobban felmelegedett (33,56°C-os) talaj esetén mindössze 1,38 CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ fluxus volt tapasztalható.



20. ábra: Az ökoszisztéma-respiráció alakulása *Amaranthus retroflexus* manipulált és kontroll állományaiban a teljes vegetációs periódus során (2008. március 21. - október 18.)

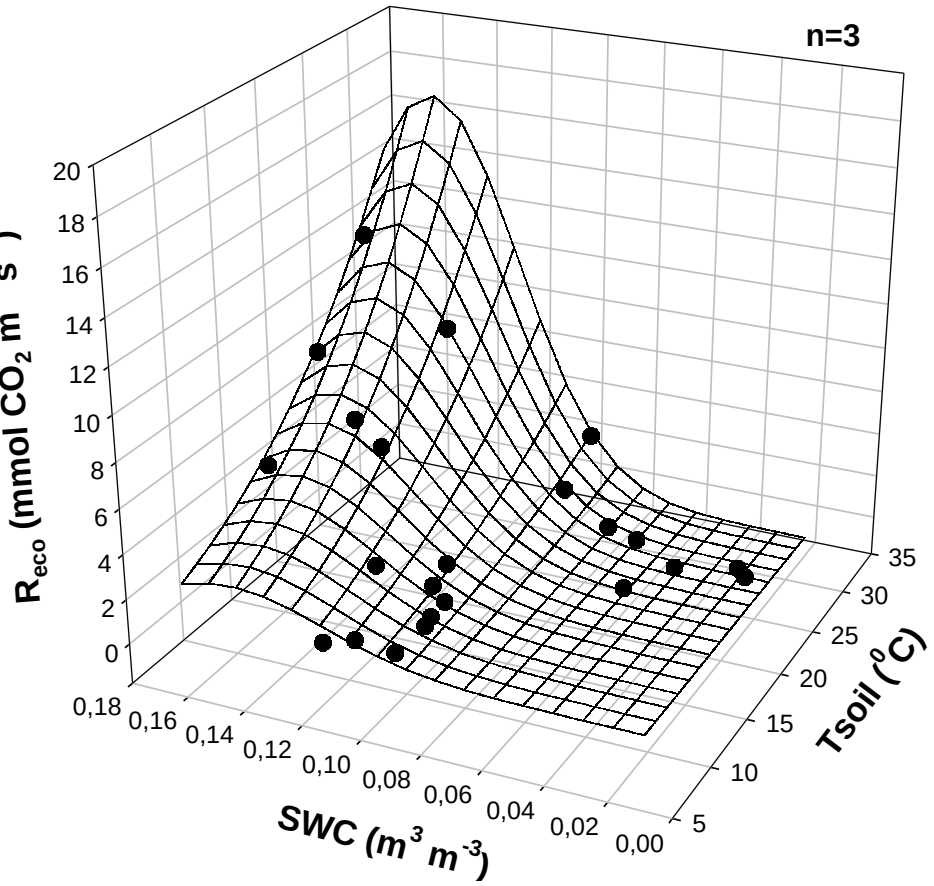
Az egyes kezelések talajlégzése között több esetben szignifikáns különbség volt mérhető (20. ábra). A mérési időpontok többségében az öntözött foltok ökoszisztéma respirációja intenzívebb volt, hasonlóan a sztyeppei füves területeken tapasztaltakhoz (LIU et al. 2018). A különböző kezelések ellenére a talajlégzés dinamikája hasonló volt mindegyik típusban. A tavaszi és nyári periódusban a talajlégzés intenzitása a csapadékellátottságnak megfelelő sorrendet tükrözött, míg az őszi periódusban a kontroll állományok R_{eco} átlagértéke kismértékben meghaladta az öntözött foltokét. A szezonális átlagértékeket összevetve mind a kezelt, mind a kontroll parcellákon a nyári időszakban volt a legintenzívebb a talajlégzés.



21. ábra: Az ökoszisztéma-respiráció alakulása *Chenopodium album* manipulált és kontroll állományaiban a teljes vegetációs periódus során (2008. március 21. - október 18.)

A teljes vegetációs periódust vizsgálva a manipuláció nem volt szignifikáns hatással egyik taxon R_{eco} értékére sem. A libatop foltoknál az egyes kezelések között nagyobb különbségek voltak mérhetőek, mint a C_4-es gyomállományokban (21. ábra). A *Chenopodium album* állományok közül is az öntözött állományok R_{eco} értékei voltak a legmagasabbak a mérési időpontok többségében. WANG és mtsai (2013) megfigyelései szerint a csapadékesemények után intenzívebb a talaj CO_2 kibocsájtása, amelynek hatása az általam vizsgált állományok közül a részleges csapadékkizárt foltokban volt a legkifejezőbb.

Az R_{eco} szezonalitását vizsgálva az egyes állományok talajlégzés intenzitása tükrözte a csapadékellátottság mértékét. A részleges csapadék-kizárású foltot kivéve a nyári periódusban volt a legmagasabb az állományok CO_2 kibocsátása. A szezonális átlagértékeket összevetve az öntözött és a kontroll parcellákon a nyári időszakban, míg a csapadékkizárt foltokon tavasszal volt a legintenzívebb a talajlégzés.



22. ábra: Az ökoszisztéma-respiráció (R_{eco}) talajhőmérséklet és talajnedvesség függése *Amaranthus retroflexus* állományban (2008. március 21. - október 18.)

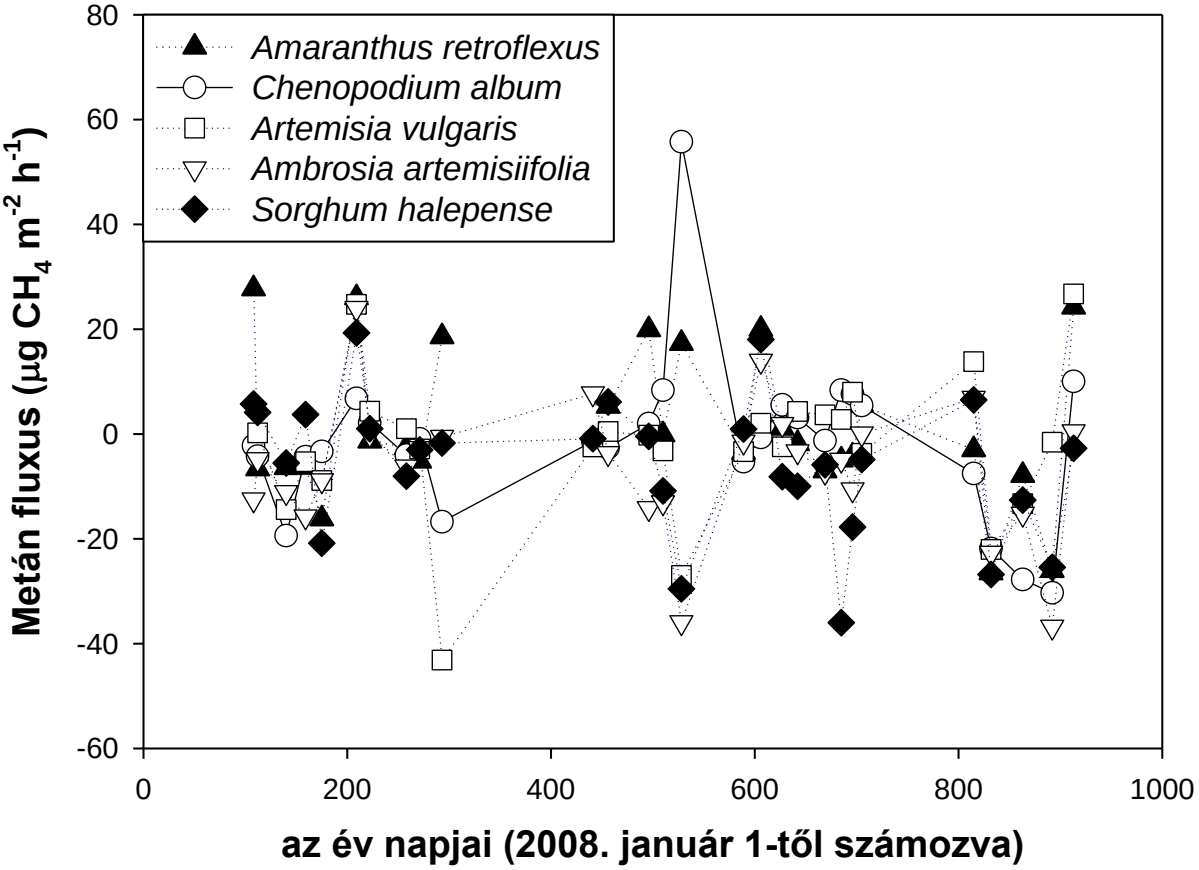
Az *Amaranthus retroflexus* kontroll állományában a talajnedvesség adatok is rendelkezésre álltak, így ez esetben elvégezhető volt az ökoszisztéma respiráció talajnedvesség és talajhőmérséklet függésének együttes vizsgálata. A két változó és a talajlégzés együttes vizsgálata esetén haranggörbe adta a legerősebb, statisztikailag szignifikáns ($P<0,05$) összefüggést (22. ábra). A talajhőmérséklet és talajnedvesség emelkedésével nőtt a talajlégzés intenzitása, hasonlóan más kutatók gyepekben (FÓTI et al. 2008), illetve erdei aljnövényzetben (NÉMETH et al. 2008) tapasztalt megfigyelésével. A két tényező együttes vizsgálatának fontosságát támasztja alá WANG és munkatársai (2013) őszi búzában mért adatai, mely kultúrában erős korrelációt a talajlégzés és a talajhőmérséklet között csak bizonyos talajnedvesség tartományon belül (0,15-0,21 m^3 m^{-3}) tapasztaltak.

2009-ben lehetőség nyílt két faj esetén is a vegetatív és generatív eredetű állományfoltok talajlégzésének összehasonlítására. A nem mag eredetű állományfoltokban már a föld feletti képletek megjelenése előtt intenzív talajlégzés volt megfigyelhető, mind a *Sorghum halepense*, mind az *Artemisia vulgaris* esetén, mely megerősíti a gyökérlégzés fontosságát a talajlégzésen belül (LIU et al. 2016). A több mint kétszeres különbség az eltérő eredetű állományok R_{eco}

értékei közt minden mérési időpontban megfigyelhető volt egészen június végéig. Ebben az időszakban az eltérés szignifikáns (P<0,05) volt az azonos gyomtaxonok generatív és vegetatív eredetű parcellái közt. 2009-ben föld alatti képletekből fejlődő állományok talajlégzése már a föld feletti képletek megjelenése előtt szignifikánsan (P<0,05) meghaladta mind az üresen hagyott kontroll, mind a vetett foltokét.

5.9. CH_4 és N_2O mérések

5.9.1. Metán mérések

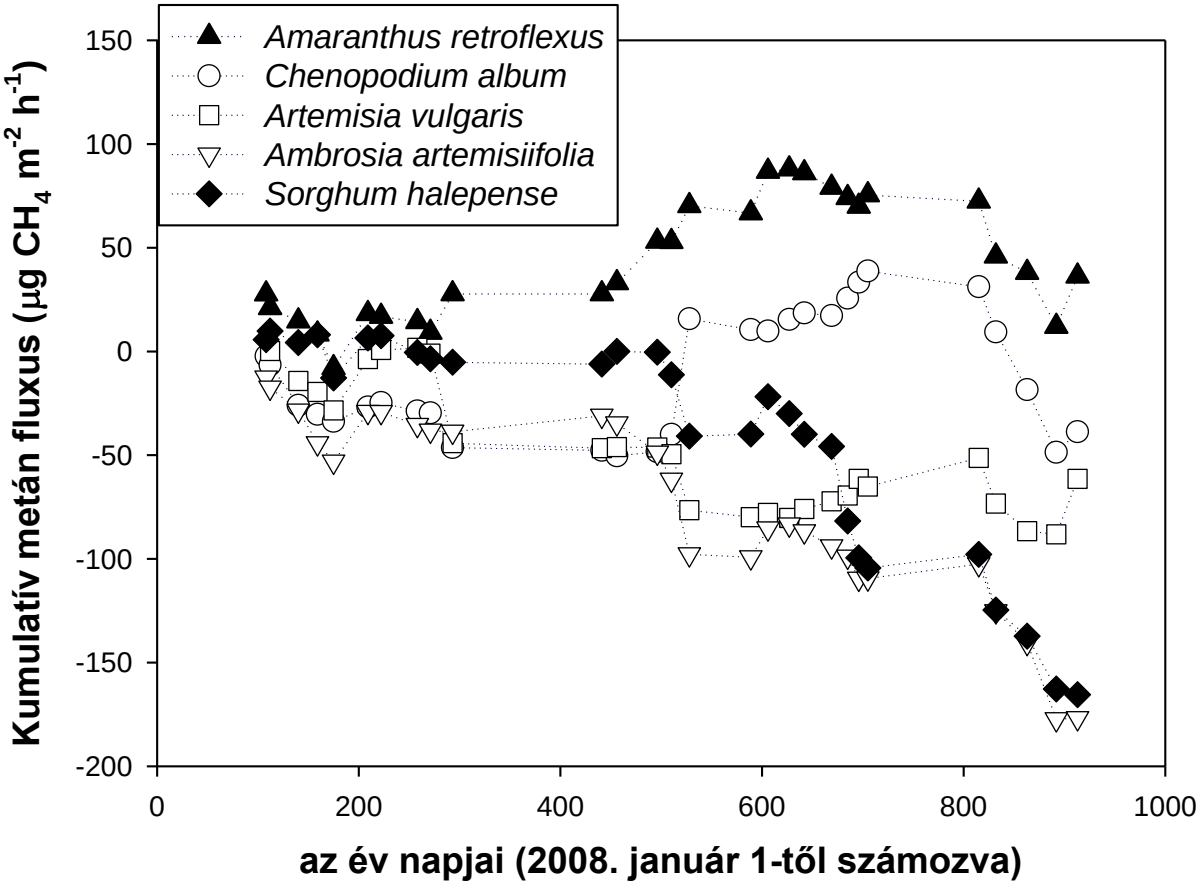


23. ábra: A vizsgált gyomfajok talajának CH_4-fluxusainak évek közötti és szezonális dinamikája a teljes vizsgálati ciklus (2008-2010) során. A negatív értékek metán megkötést, a pozitívak metán kibocsájtást jeleznek.

A vizsgált gyomállományok talaján mért metán fluxus tartománya (23. ábra) megegyezik a bugaci homoki legelőn és az isaszegi löszgyepen (HORVÁTH *el al.* 2008b, 2010, CZÓBEL et al. 2010), illetve bodrogközi vizes élőhelyeken (HORVÁTH *el at.* 2008a, CZÓBEL et al. 2010) mért értékekkel, továbbá nem mutat eltérést mezőgazdasági területeken mért értékektől (ZHANG et al. 2017). Egyes időszakokban az 5 különböző gyomfaj dominálta állomány fluxusai nagyon hasonló tendenciákat mutatnak, így 2008. és 2009. nyarán nagyon minimális metán

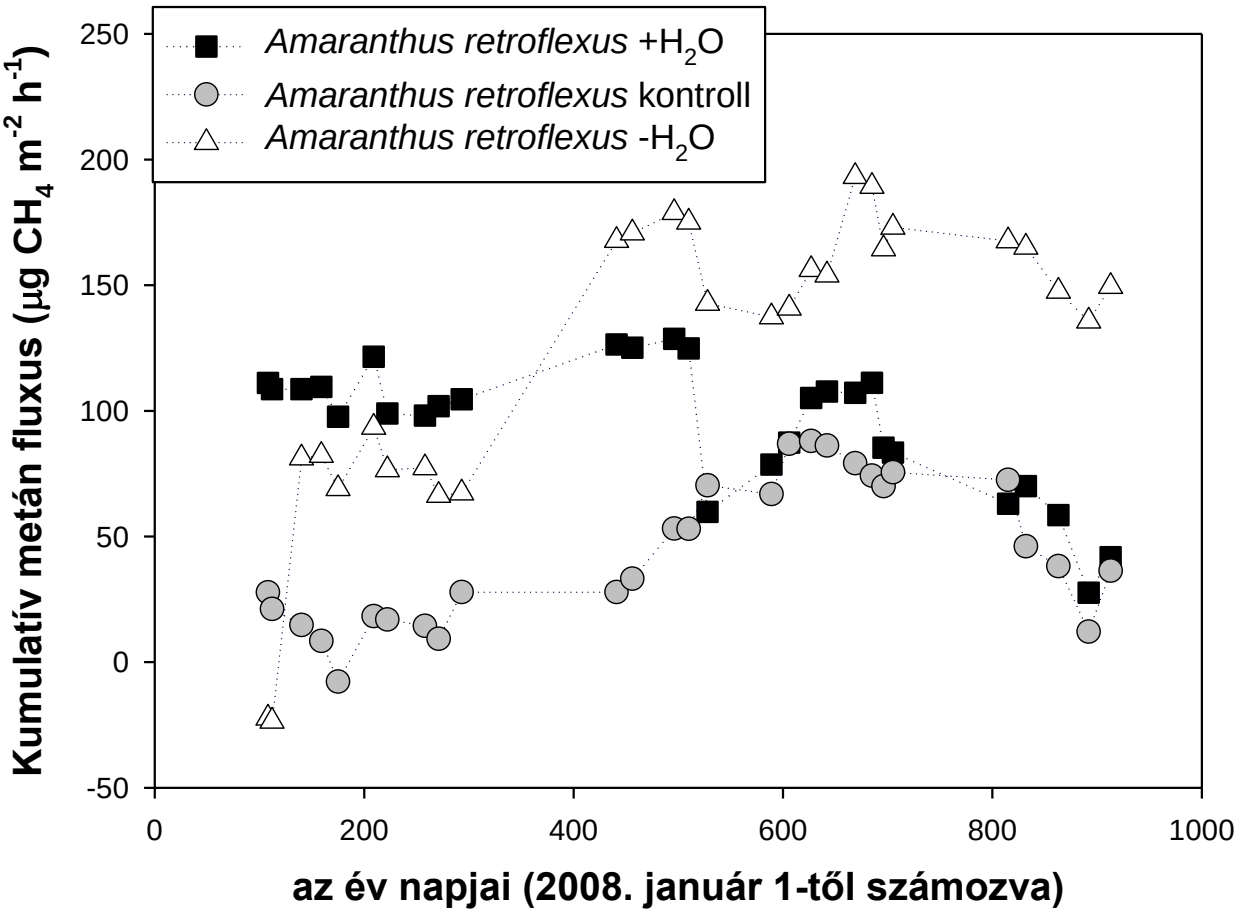
fluxusok jellemző mind az 5 típusban. Az egyes funkciós csoportok között egyértelmű és szignifikáns különbségek nem figyelhetők meg (23. ábra). Egy-egy kiugró értéktől eltekintve a talajok metán fluxusai szűk tartományban mozogtak mind az 5 taxon állományaiban.

A teljes vizsgálati időszak metán fluxusainak átlagolása alapján az *Amaranthus* állományok talaja volt a legnagyobb mértékű metán kibocsájtó (2,56 μgCH_4 m^{-2} h^{-1}), míg az *Ambrosia* állományoké a legnagyobb mértékű metán elnyelő (-7,6 μgCH_4 m^{-2} h^{-1}). Az egyes évek fluxusait külön értékelve csak a *Sorghum* és az *Ambrosia* állományok talaja volt mindhárom évben egységesen metán megkötő, míg a többi taxon talaja esetében metán kibocsájtás és megkötés egyaránt előfordult a fluxus értékek éves átlagolásakor.



24. ábra: A vizsgált gyomfajok talajának kumulatív CH_4-fluxusai a teljes vizsgálati időszakban (2008-2010). A negatív értékek metán megkötést, a pozitívak metán kibocsájtást jeleznek.

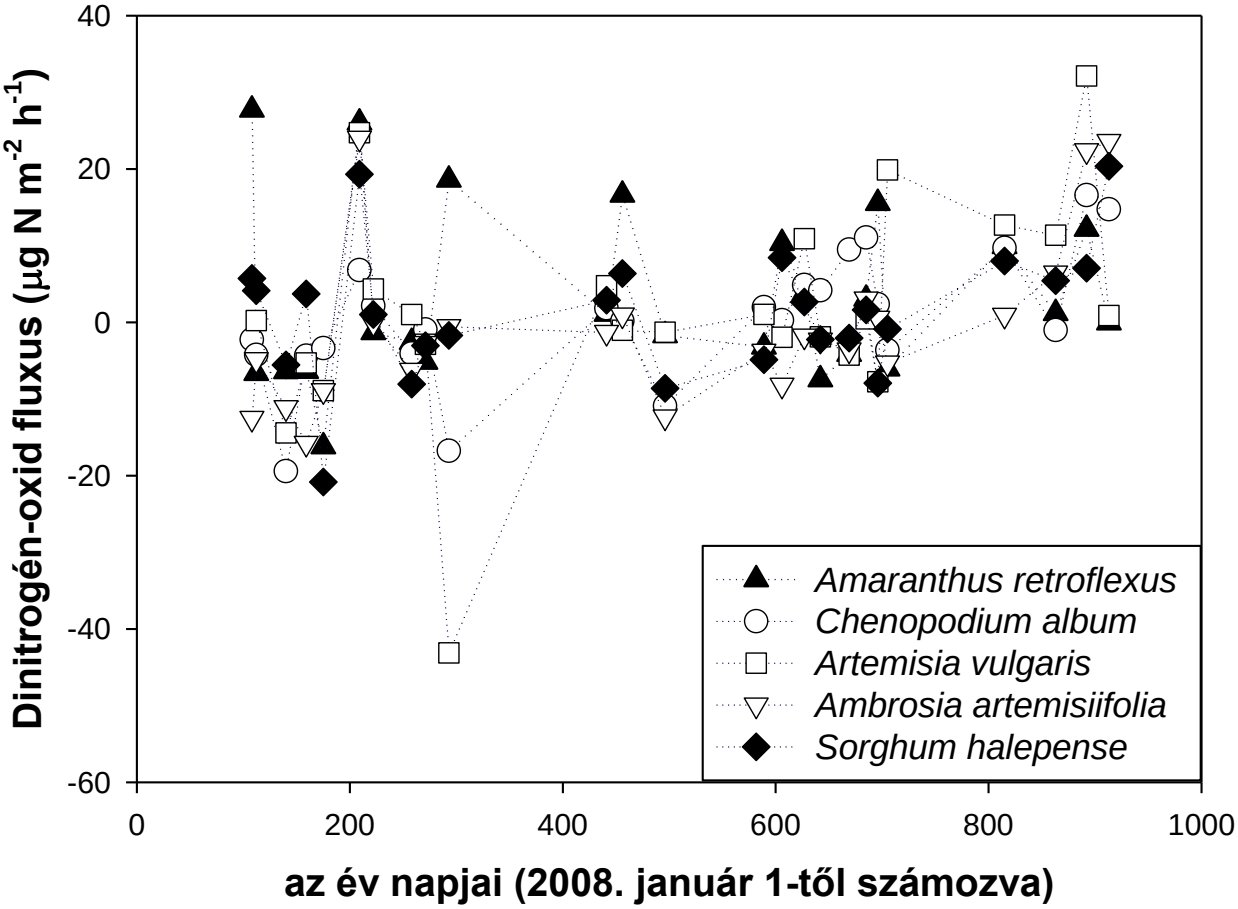
A teljes vizsgálati időszak kumulatív metán fluxusai alapján egyedül az *Amaranthus* állományok talaja tekinthető metán kibocsájtónak, míg a többi taxon esetén a talajok kismértékű metán megkötést jeleznek (24. ábra). A legnagyobb mértékű megkötés az *Ambrosia* állományok talaján mérhető, de hasonló kumulatív értékek jellemzik a *Sorghum* állomány talaját is. A szárazabb és némileg melegebb 2009-es évben a CH_4-fluxus értékek nőttek, de az eltérés a magasabb szórás miatt nem szignifikáns.



25. ábra: A manipulált *Amaranthus retroflexus* állományok talajának kumulatív metán fluxusai a teljes vizsgálati időszak alatt (2008-2010). A negatív értékek metán megkötést, a pozitívak metán kibocsájtást jeleznek.

A manipulált *Amaranthus retroflexus* állományok talajának kumulatív metán fluxus értékeit vizsgálva jól látható, hogy csak az első vizsgálati év végére különültek el az egyes kezelések (25. ábra). A kumulatív értékek alapján mindhárom típus talaja kismértékű metán kibocsájtónak tekinthető. A teljes vizsgálati időszak adatai alapján a metán kibocsájtás mértéke a kontroll állományok talajában volt a legkisebb, míg a részleges csapadékkizárt állományok esetén a legnagyobb. Az öntözött foltok talajának kumulatív metán fluxusa a második év nyári időszakában hasonló lett a kontroll állományéhoz, majd ezt követően a két típus kumulatív CH_4 fluxusában közel azonos tendencia figyelhető meg.

5.9.2. Dinitrogén-oxid mérések



26. ábra: A vizsgált gyomfajok talaján mért N_2O-fluxusok évek közötti és szezonális dinamikája a teljes vizsgálati ciklus (2008-2010) során. A negatív értékek dinitrogén-oxid megkötést, a pozitívak dinitrogén-oxid kibocsájtást jeleznek.

A gyomállományok talaján mért N_2O fluxus tartománya megegyezik a bugaci homoki legelőn és az isaszegi löszgyepen (HORVÁTH *el al.* 2008b, 2010, CZÓBEL et al. 2010), illetve bodrogközi vizes élőhelyeken (HORVÁTH *el at.* 2008a, CZÓBEL et al. 2010) mért értékekkel. Az egyes funkciós csoportok között egyértelmű és szignifikáns különbségek nem figyelhetők meg. Érdekes módon az öt taxon talaja az azonos környezeti hatások ellenére eltérő tendenciákat mutatott a dinitrogén-oxid fluxusai tekintetében, és csak a vegetációs periódus bizonyos szakaszaiban jelentkeztek hasonló irányú változásokkal (26. ábra).

Az első vizsgálati évben az *Artemisia* állomány talaja volt egyedül N_2O elnyelő, ami nagyrészt a 2008. október végi, azévi utolsó mérési időpont jelentős megkötésének köszönhető. A teljes vizsgálati ciklust figyelembe véve az *Artemisia* foltok esetében figyelhető meg a legnagyobb mértékű N_2O kibocsájtás és megkötés egyaránt.

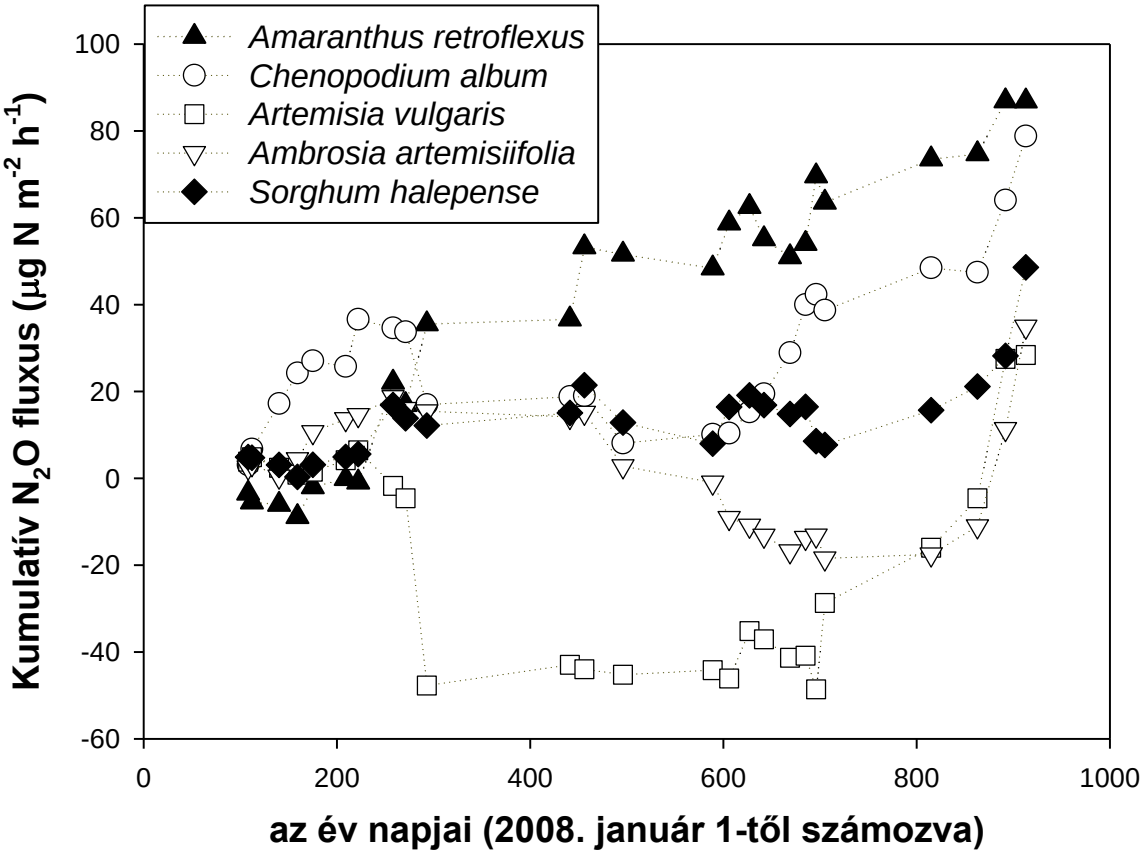
Az *Amaranthus* állomány talaja 2008-ban a vegetációs periódus első felében végig megkötő volt, míg az első évi életszakasza végére a legjelentősebb kibocsájtási értéket szintén ennél a taxonnál lehetett mérni. A legtöbb magasabb értékű N_2O kibocsájtást (15 μg N m^{-2} h^{-1}<) a disznóparéj állományok talajánál mértük.

A fehér libatop állományok talaja az első évben döntően N_2O megkötéssel, míg 2009-ben és 2010-ben kibocsájtással volt jellemezhető.

2009-ben dinitrogén-oxid elnyelés és kibocsátás is megfigyelhető volt mind az öt vizsgált faj esetén az állományokban. A legmagasabb N_2O elnyelést az *Ambrosia* állományban, míg a legnagyobb mértékű N_2O kibocsájtást a *Chenopodium* állományban mértük. 2008-hoz képest 2009-ben mindegyik állományban csökkent a N_2O fluxus éves átlagértéke, ami feltehetően a mérési időszakokkal átfedő vegetációs periódus átlagosnál szárazabb időszakával függhet össze.

A 2009-es vegetációs periódus során az *Ambrosia* és a *Chenopodium* állományokban hasonló tendenciák voltak megfigyelhetők. A második év összesített átlagát tekintve a parlagfű és a fenyércirok állományok talaja elnyelőnek volt tekinthető.

A nyári időszakban és a vegetációs periódus végén a különböző állományok talajainak dinitrogén-oxid fluxusai jobban elkülönültek egymástól.

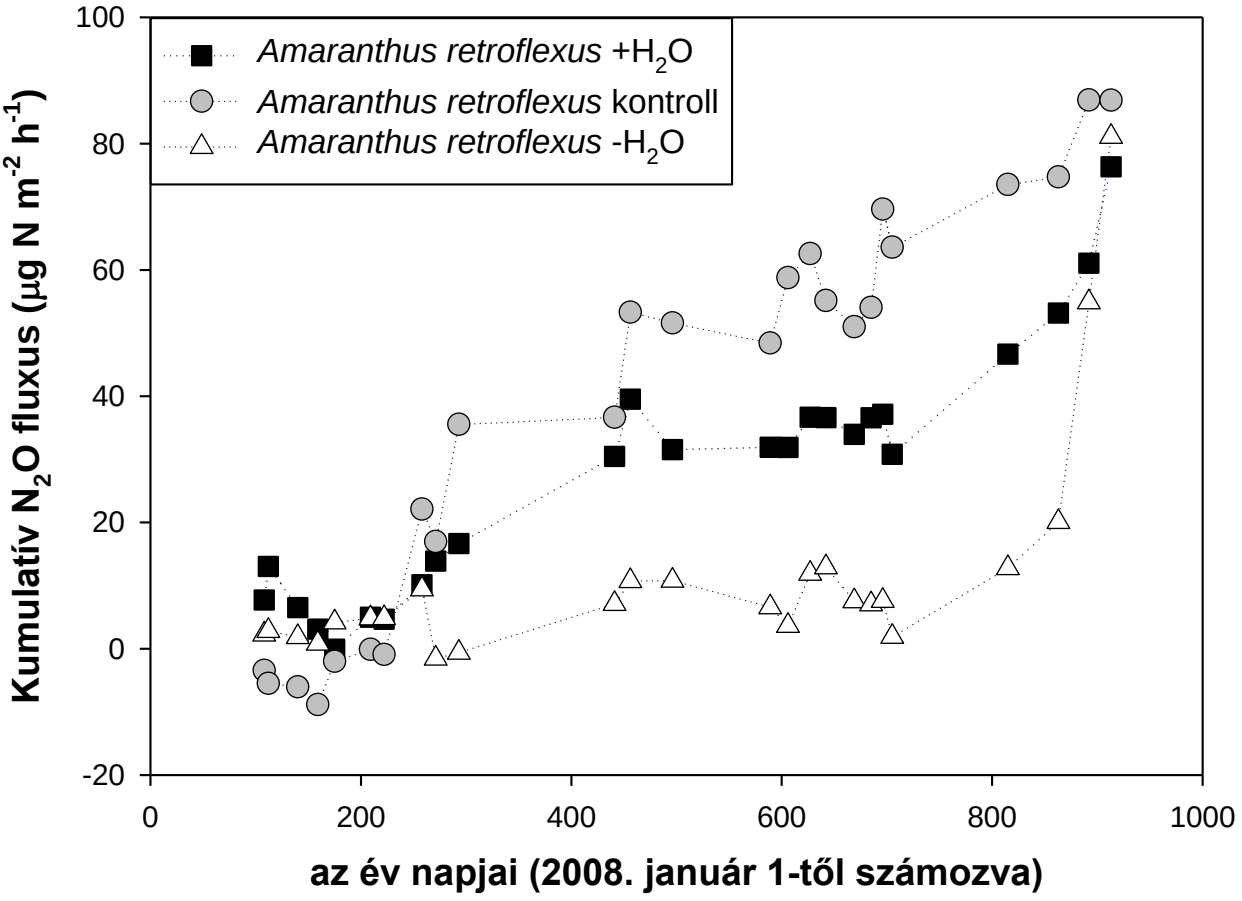


27. ábra: A vizsgált gyomfajok talajának kumulatív N_2O-fluxusai a teljes vizsgálati időszakban (2008-2010). A negatív értékek dinitrogén-oxid megkötést, a pozitívak dinitrogén-oxid kibocsájtást jeleznek.

Az 5 vizsgált gyomfaj 2 teljes vegetációs periódust lefedő kumulatív N_2O értékei alapján következtetni lehet arra, hogy talajaik hosszú távon elnyelők, vagy kibocsájtók-e. A két fészkes virágzatú taxon talaja az első két év méréseinek összegzése alapján megkötőnek tekinthető, azonban a vizsgálati időszak végére a kumulatív értékek kibocsájtást jeleznek (27. ábra). Végig a *Sorghum halepense* állományok talaján mért N_2O fluxusok mozogtak a legszűkebb intervallumban, így erről a fajról állítható legnagyobb biztonsággal, hogy állományainak talaját hosszú távon is kismértékű dinitrogén-oxid emisszió jellemzi. Mindez azonban ezen invazív faj talaja esetén nem jelent feltétlenül nitrogén veszteséget a talaj számára, mert rendelkezik N_2 fixáció képességgel szimbióta baktériumok révén (ROUT & CHRZANOWSKI 2009).

A szőrös disznóparéj kumulatív értékeinek tendenciája nagy hasonlóságot mutatott a búza-kukorica vetésforgóban tapasztaltakkal (LIU et al. 2012).

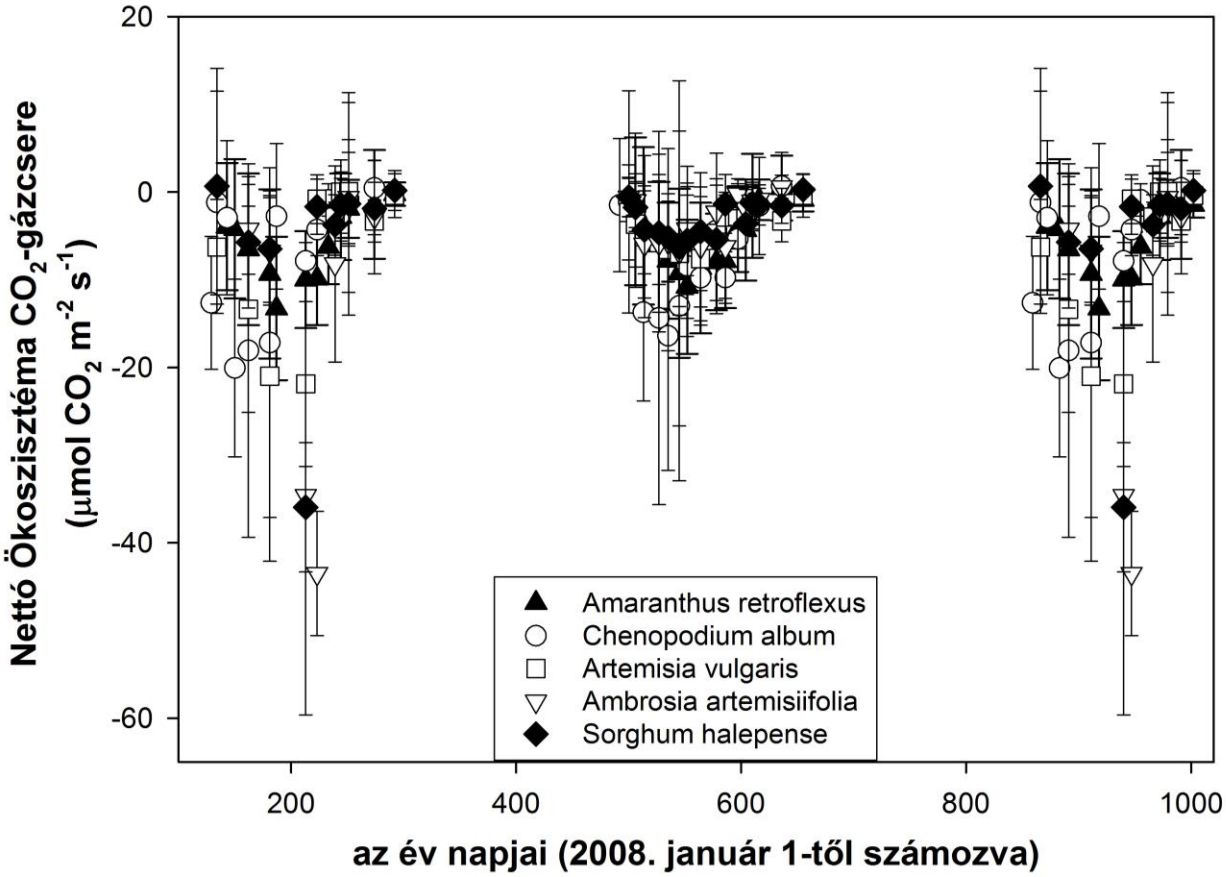
A fehér libatop és a szőrös disznóparéj állományainak talaja a többi vizsgált fajhoz képest nagyobb mértékű N_2O emisszióval volt jellemezhető a teljes vizsgálati periódus kumulatív eredményét tekintve.



28. ábra: A manipulált *Amaranthus retroflexus* állományok talajának kumulatív N_2O fluxusai a teljes vizsgálati időszak alatt (2008-2010). A negatív értékek dinitrogén-oxid megkötést, a pozitívak dinitrogén-oxid kibocsájtást jeleznek.

A manipulált *Amaranthus retroflexus* állományok talajának kumulatív N_2O fluxus értékeit vizsgálva a második vegetációs periódus végére jól elkülönültek az egyes kezelések (28. ábra). A részleges csapadékkizárás hatására alacsonyabbak voltak a dinitrogén-oxid fluxus-értékek, és csak csekély mértékű kibocsájtás volt tapasztalható a két év mérési eredményeit összegezve. Az öntözött foltok talajának kumulatív N_2O fluxusa alacsonyabb, közel a fele volt a kontroll állományokkal összevetve az első és a második év végén. Őszi búza esetén az öntözés csak 14,6%-al csökkentette az N_2O emissziót (WANG et al. 2016). Ez valószínűleg több faktor együttes hatásának az eredménye lehet, melynek egyik összetevője, hogy az öntözött foltok a magasabb borítási értékeiknek köszönhetően általában alacsonyabb talajhőmérséklettel voltak jellemezhetőek.

5.10. Nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) vizsgálatok

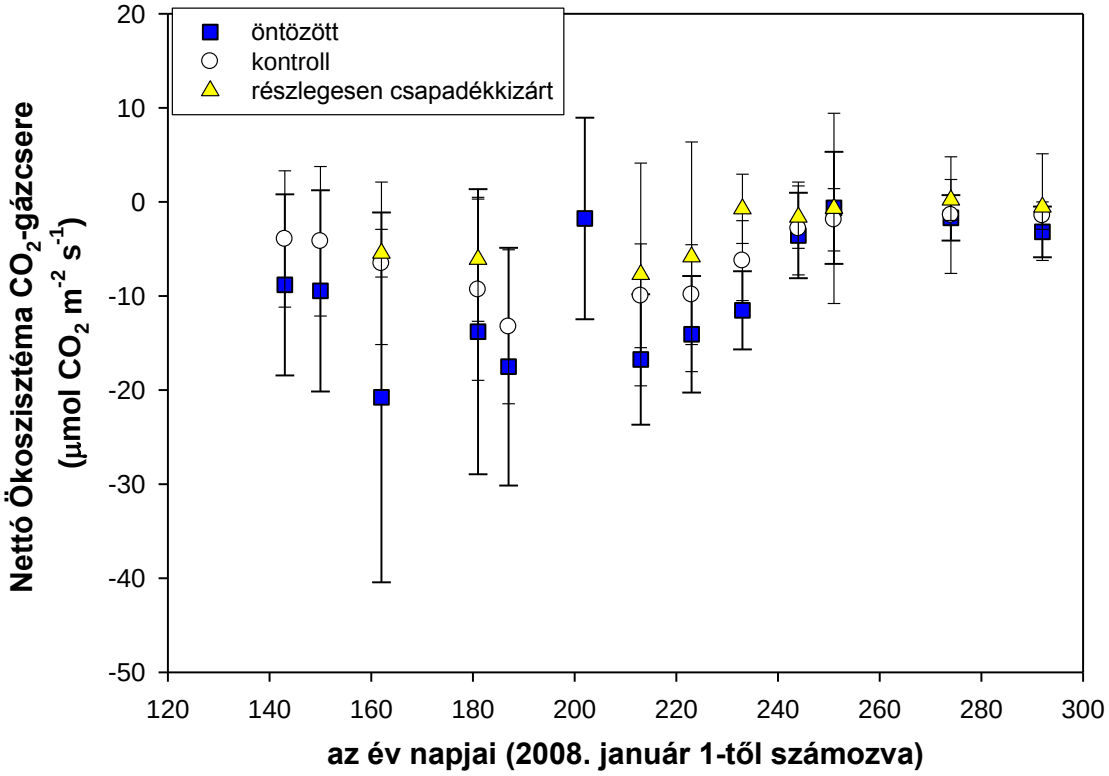


29. ábra: A vizsgált gyomfajok nettó ökoszisztéma CO_2-gázcseréjének (NEE) szezonális dinamikája a teljes vegetációs időszak során /2008-2010/. A negatív értékek szénmegkötést, a pozitívak szén kibocsájtást jeleznek.

A vágási időpontig mind az öt vizsgált faj jelentős CO_2-gázcsere értékeket ért el (NÉMETH et al. 2017) mindhárom évben. A nagy CO_2-fluxus értékekhez fajtól függetlenül többnyire jelentős szórásértékek tartoztak (29. ábra). Az *Ambrosia artemisiifolia*, valamint a *Sorghum halepense* állományai viszonylag későn érték el a CO_2-fixáció maximumát, de 2008-ban és 2010-ben a legnagyobb szénmegkötés ezen fajok állományaihoz köthető. Az egyes fajok maximális CO_2-fixációs értéke az *Ambrosia* és a *Sorghum* esetében akár többszöröse is lehet egy maximális fejlettségű homoki legelő (CZÓBEL 2007, CZÓBEL et al. 2012), valamint löszgyep (CZÓBEL 2007, CZÓBEL et al. 2008), illetve tavaszi erdei geofiton állománynak. Az egyes funkciós csoportokat nem lehet az NEE értékeik alapján egyértelműen (szignifikánsan) elkülöníteni. 2008-ban a tavaszi periódusban a két korábban csírázó C_3-as faj (*Che alb*: -9,20 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$; *Art vul*: -6,28 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), már májustól igen jelentős NEE értékeket értek el, míg a C_4-es gyomok állományai ekkor még kisebb (*Ama ret*: -4,06 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$; *Sor hal*: -2,53 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) CO_2-megkötéssel jellemezhetők. Nyáron a C_4-es taxonok átlagos nettó ökoszisztéma gázcseréje jelentős mértékben megnőtt (2008-ban *Ama ret*: -8,29 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$; *Sor hal*: -8,44 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), ami a jóval szárazabb következő évben az *Amaranthus* állományokban csak kismértékben (-7,44 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), míg a *Sorghum* generatív eredetű állományaiban közel felére (-4,54 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) csökkent. A parlagfű állományai nagymértékű biomassza és NEE növekedést mutatva érték el a nyári időszak legmagasabb értékeit (-15,95 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$). Ebben az időszakban a fekete üröm átlag NEE értéke szintén nőtt (-9,98 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), míg a fehér libatop állományaiban csökkent (-7,66 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$). Az egyes fajok CO_2-fixációjában megnyilvánuló sorrend nem tükrözte az állományok biomassza viszonyait (12. ábra). A vágást követően a gyomfajok CO_2-gázcseréje a lombozat döntő tömegének elvesztése és a szárazságstressz miatti gyenge regeneráció következtében jelentősen lecsökkent, így a taxonok közötti különbségek is kiegyenlítődtek. Őszi időszakban minden állományban az NEE nagyobb mértékben csökkent, mint az R_{eco}.(18. ábra). Az őszi periódus során továbbra is az *Ambrosia artemisiifolia* rendelkezett a legmagasabb (-2,85 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), míg a *Sorghum halepense* a legalacsonyabb (-0,85 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) átlag NEE értékkel.

A kedvezőtlenebb csapadékellátottságú, szárazabb vegetációs időszakú évben (2009) három gyomfaj, az *Ambrosia*, az *Artemisia* és a *Sorghum* legnagyobb CO_2-fixációja egy hónappal korábban volt mérhető. Utóbbi 3 taxonnál jóval kisebb maximális szénmegkötést mértem 2009-ben az előző évihez képest, de a kisebb maximális NEE az *Amaranthus* és *Chenopodium* nemzetségnél is mérhető volt. A hosszabb szárazabb időszak szénmegkötést csökkentő hatása gyepállományok esetén irodalmi adatokból már jól ismert (pl. NAGY et al. 2007, SOUSSANA et al. 2007, CZÓBEL et al. 2013). Az NEE értékek az *Ambrosia* állományaiban szignifikánsan ($P<0,05$) csökkentek 2009-ben az előző évihez képest.

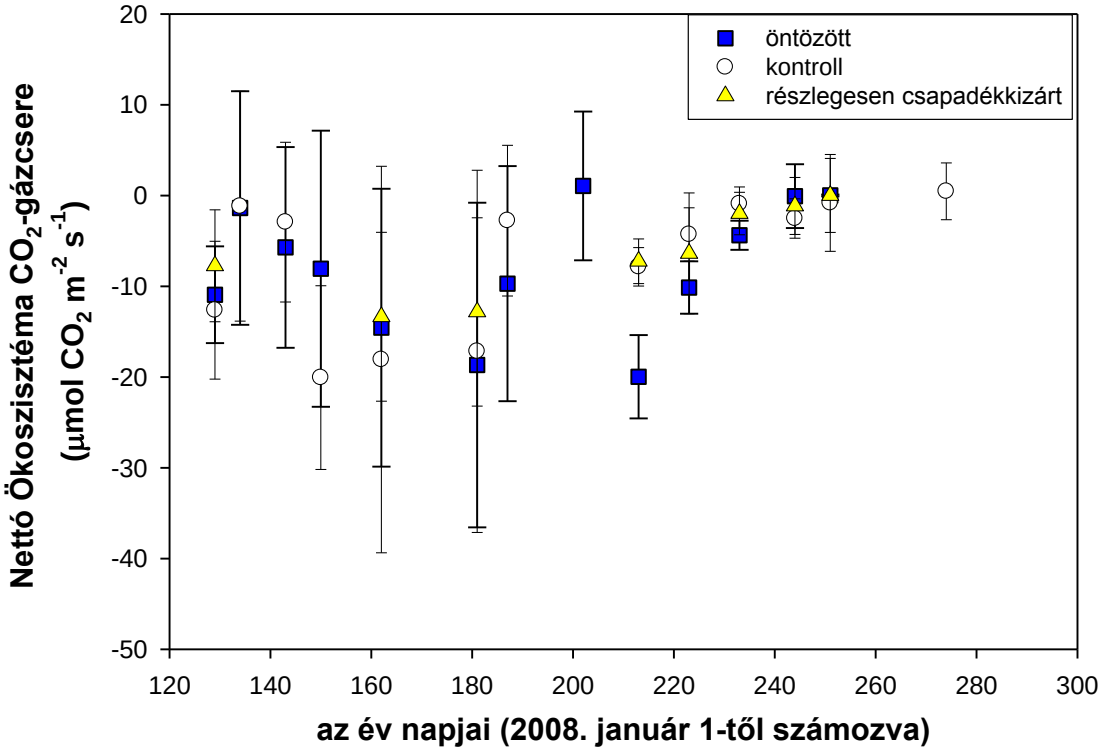
A három év fluxus adatai alapján a legnagyobb mértékű szénmegkötés az *Amaranthus*-nál július elején, a *Chenopodium*-nál május végétől június közepéig, míg az *Artemisia*, *Ambrosia* és *Sorghum* nemzetségeknél egyaránt június végétől augusztus elejéig jellemző. 2008-ban és 2010-ben az *Ambrosia*, míg 2009-ben a *Chenopodium* állomány átlagos szénmegkötése volt a legnagyobb. A 3 év fluxusait leátlagolva a legnagyobb szénmegkötéssel az *Ambrosia* (-8,2 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), majd ezt követően a *Chenopodium* (-6,93 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), az *Artemisia* (-5,74 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$), az *Amaranthus* (-5,55 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) és végül a *Sorghum* (-4,63 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) állománya jellemezhető.



30. ábra: Az *Amaranthus retroflexus* állományok nettó ökoszisztéma CO_2-gázcseréjének (NEE) szezonális dinamikája egy teljes vegetációs periódus során /2008. május 22. – október 18./. A negatív értékek szénmegkötést jeleznek.

A disznóparéj esetén a vágásig minden mérési alkalommal az öntözött állományt jellemezte a legintenzívebb, míg a csapadékkizárt típust a legkisebb CO_2-megkötés (30. ábra). A kontroll és a részleges csapadékkizárt állományok elkülönülése kisebb mértékű és szintén nem szignifikáns volt. A CO_2-fluxus a vegetációs időszakban mindhárom típusnál negatív haranggörbe jelleget mutat, ami kellően kifejlődött lombozat esetén jelentős CO_2-megkötést jelent. Az öntözött állomány július 20-i kiugróan alacsony NEE értéke, a magas állományra ráerőltetett kisebb magasságú kamra (m=70cm) okozta sebzési légzés miatt jól mutatta a mérőkamra váltás

szükségszerűségét. Tavaszi periódusban az öntözött állomány átlag NEE értéke (-9,14 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) több mint kétszerese volt a kontroll állományénak (-4,06 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$). A nyári, illetve őszi időszakban a két állomány közötti különbség fokozatosan csökkent. A vízellátottságtól függetlenül az őszi periódus átlag NEE értékei jelentősen lecsökkentek mindegyik állományban a nyári időszakhoz képest.

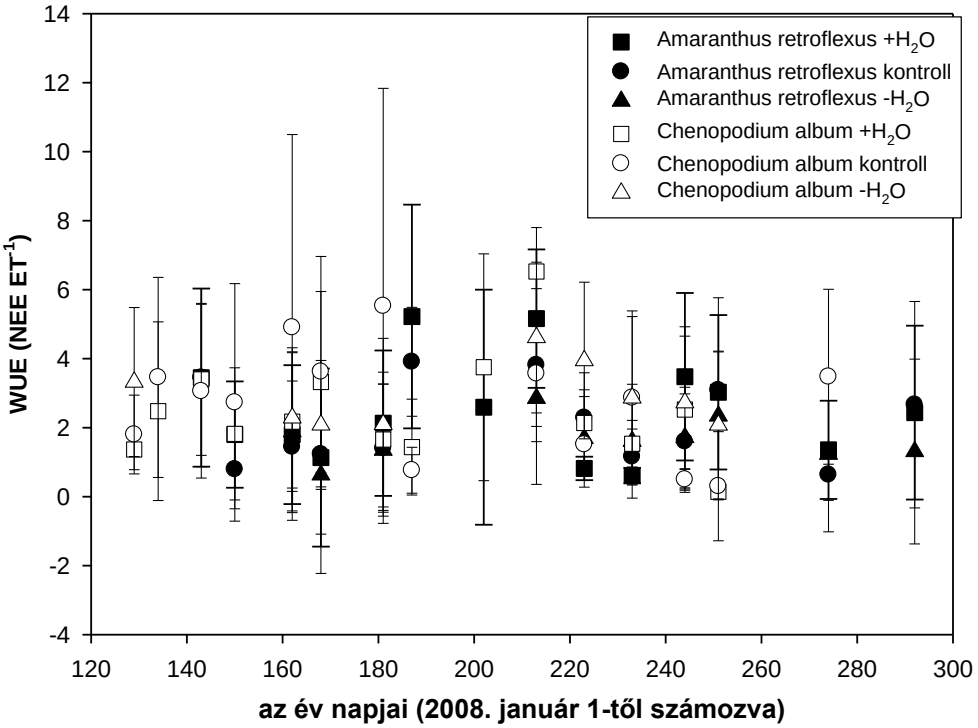


31. ábra: A *Chenopodium album* állományok nettó ökoszisztéma CO_2-gázcseréjének (NEE) szezonális dinamikája egy teljes vegetációs periódus során /2008. május 8. – szeptember 30./. A negatív értékek szénmegkötést, a pozitívak szén kibocsájtást jeleznek.

A libatop egyes típusaiban mért NEE értékek kevésbé különülnek el (31. ábra), mint az *Amaranthus retroflexus* állományok esetén (30. ábra). Az állományszintű CO_2-fluxus időbeli dinamikája az előző állományhoz hasonlóan itt is minden típusnál negatív haranggörbe jellegű volt, ami a vegetációs időszak jelentős részében szénmegkötést jelez. A nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere értékei némileg elmaradtak a levélszintű széndioxid fluxus adataitól (BUNCE 2018), mely valószínűleg abból adódik, hogy utóbbi nem veszi figyelembe az R_{eco} okozta hatást. Az öntözött folt csak szárazabb időszakban rendelkezett nagyobb NEE értékekkel a kontroll állományokhoz képest. A *Chenopodium album* állományok már a kezdeti időszakban jelentős CO_2-fixációs értékeket értek el. A részleges csapadékkizárt állomány átlag NEE értéke a tavaszi periódusban volt a legmagasabb. Az öntözött állomány a tavaszi időszakban a kezdeti fenológiai viszonyok miatt és annak megfelelően kisebb átlag NEE értéket ért el (-6,52 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$),

mint a kontroll (-9,20 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) vagy a részlegesen csapadékkizárt (-7,74 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$) foltok (7. és 9. ábra). Őszi időszakban, a biomassza vágás és a szárazság stressz miatt az öntözött és csökkentett csapadékellátottságú állományok nettó CO_2 kibocsájtókká váltak (+0,01 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$).

A vizsgált gyomfajok és manipulált állományok állományszintű evapotranszspirációjának (ET), illetve WUE-jának szezonális dinamikáját vizsgálva nem volt egyértelmű trend, illetve jelentős (szignifikáns) különbség az egyes fajok és a funkcionális csoportok állomány evapotranspirációs és WUE értékei között. A kiugró ET értékek többnyire az öntözött foltok esetén fordultak.

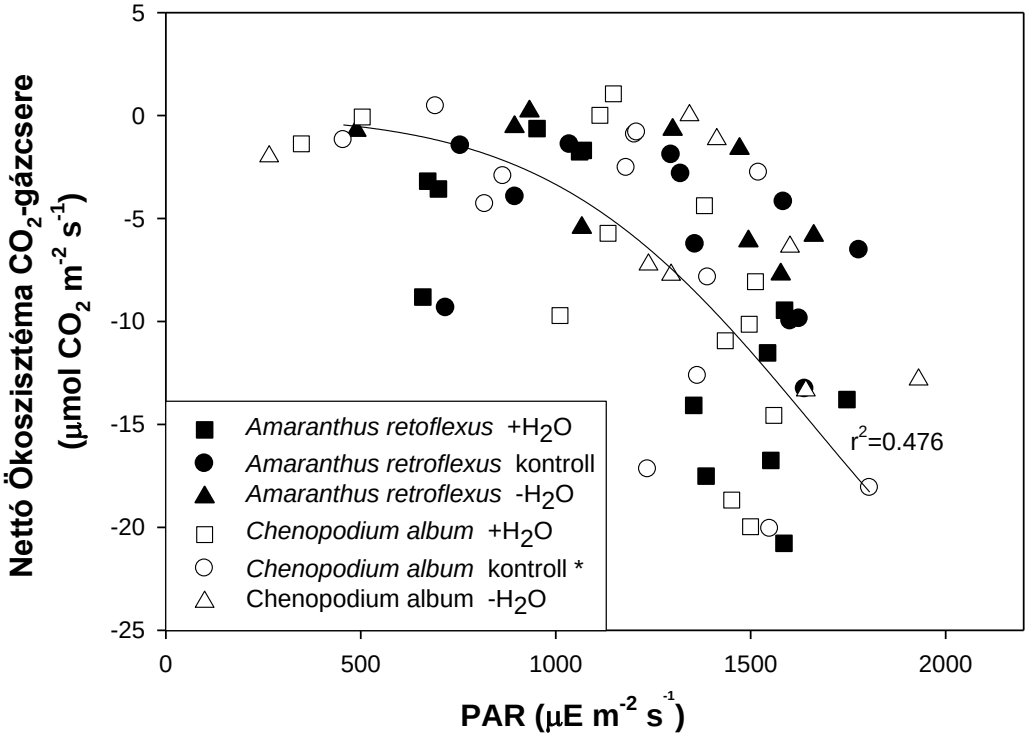


32. ábra: A vizsgált gyomnövények állományszintű vízhasznosítási hatékonyság (WUE) időbeli dinamikája /2008. május 8. - október 18./

Az állományszintű vízhasznosítási hatékonyság (WUE) dinamikájának átlagértékei hullámzó tendenciát mutattak a gyomnövények vegetációs periódusa során (32. ábra). A WUE értékek hasonló dinamikával rendelkeztek mind a C_4-es, mind a C_3-as faj állományaiban, valamint az NEE-hez hasonlóan – de kevésbé kifejezett – haranggörbével jellemezhetőek Az állományok legmagasabb vízhasznosítási értékei egybeestek a CO_2-fluxus értékek maximumával. Az egyes kezelések hatása nem volt egyértelmű és a C_3-as C_4-es fajok nem különültek el. Más kutatásokkal szemben (pl. ULIARTE et al. 2013) a szárazabb 2009-es évben és a

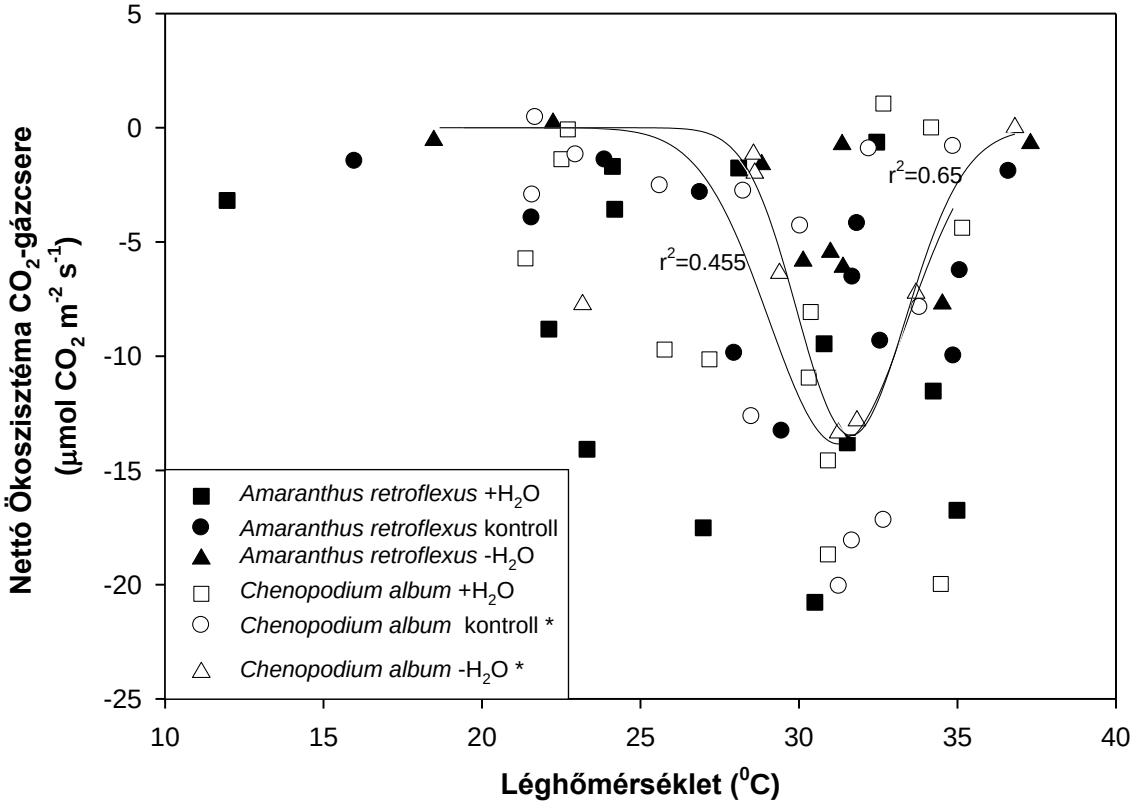
csapadékkizárás hatására sem volt szignifikáns elkülönülés a két fotoszintézis típus vízhasznosítási hatékonysága között.

5.10.1. Az NEE fény-, hőmérséklet- és evapotranspiráció függése



33. ábra: Egy C_4-es és egy C_3-as gyomnövény manipulált és kontroll foltjaiban az állomány átlagos CO_2 fluxusának fényfüggése

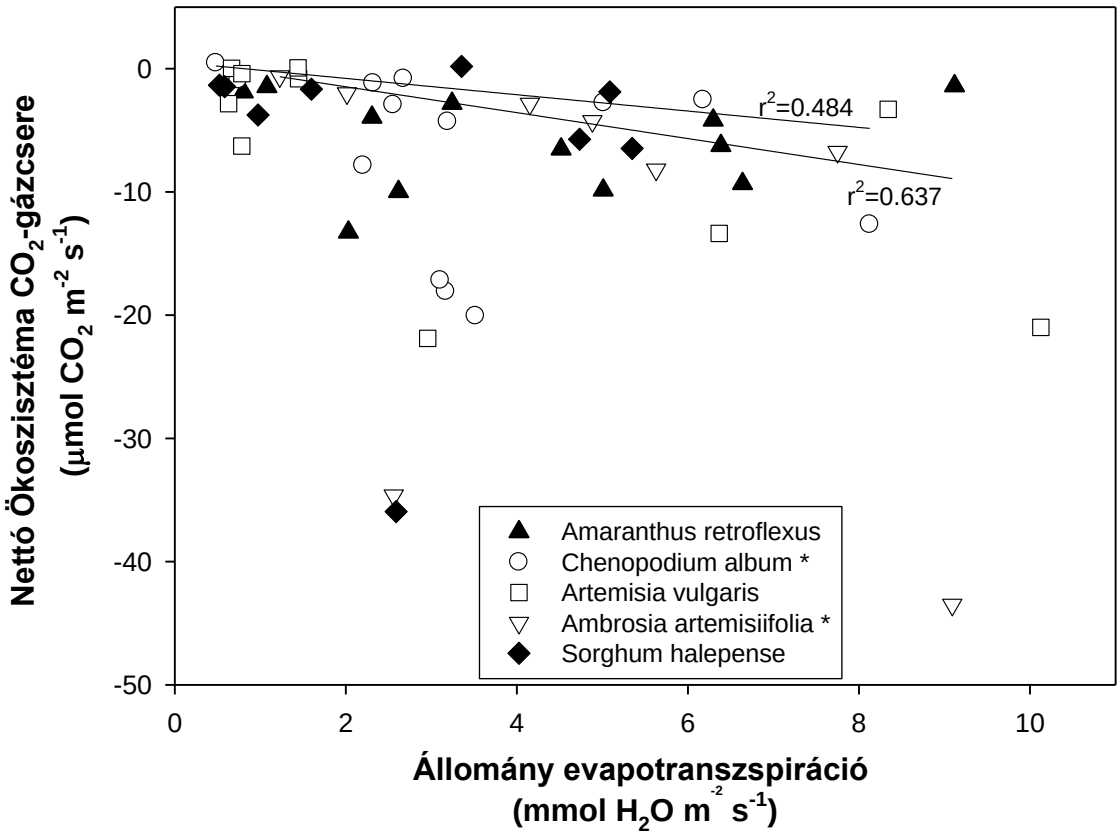
Az NEE fényfüggését vizsgálva az 5 vizsgált gyomnövényfaj, illetve a C_4-es és C_3-as taxonok között nem volt jelentős különbség (33. ábra). Az állományok CO_2-megkötési értékei valamint a PAR között pozitív korrelációt lehet megfigyelni. A *Chenopodium album* kontroll állományában az összefüggés exponenciális illesztéssel szignifikáns volt ($P<0,05$). A legintenzívebb CO_2-fixáció 1400 és 1600 közötti PAR értékek mellett figyelhető meg. Az összefüggés mértéke azonban gyengébb, mint az agro-ökoszisztémák kultúrnövényeinél tapasztaltak, például őszi búza esetében (WANG et al. 2013). Azonos PAR értékek mellett az öntözött állományok jellemezhetőek nagyobb CO_2-fixációval, az optimálisabb vízellátottság következtében.



34. ábra: Egy C_4-es és egy C_3-as gyomnövény manipulált és kontroll állomány átlagos CO_2 fluxusának léghőmérséklet függése

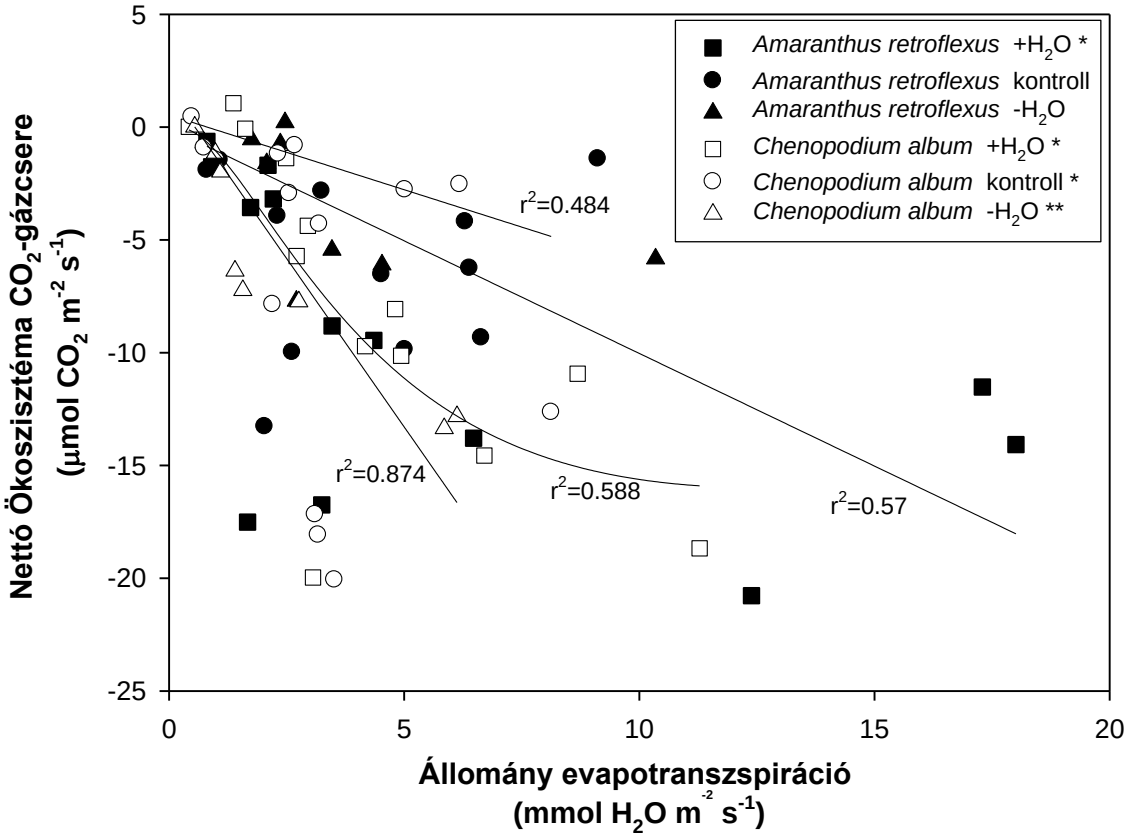
Az állományok CO_2-fixációja a léghőmérséklet függvényében haranggörbe jelleget mutattak (34. ábra). A C_4-es és C_3-as faj között nincs egyértelmű különbség. A két paraméter közötti összefüggés a *Chenopodium album* kontroll és részlegesen csapadékkizárt állományaiban szignifikáns volt ($P<0,05$). A *Chenopodium album* kontroll, illetve öntözött állományai kisebb mértékben különültek el egymástól azonos hőmérsékleti tartományokat vizsgálva, mint a C_4-es faj állományai. Az *Amaranthus retroflexus* manipulált állományai között jelentős különbségek figyelhetők meg, mivel azonos hőmérsékleti tartományokat vizsgálva a disznóparéj öntözött foltjai a legmagasabb, míg a részlegesen csapadékkizárt parcellái a legalacsonyabb CO_2-fixációval jellemezhetők.

A CO_2-fixáció szempontjából mindkét faj esetén a hőoptimum 30 és 35°C között mozgott. A gázcsere intenzitása mindkét taxon esetén 30°C-ig folyamatosan nőtt, míg 35°C felett jelentős visszaesés tapasztalható. Utóbbi a C_4-es típusoknál is megfigyelhető, ezért feltehetőleg nemcsak a sztómazáródás (C_3-as), hanem a kisebb SWC következtében alakult ki. A korábban (2000. augusztus) jóval szárazabb évben *Chenopodium album* állományában (CZÓBEL *ex verb*), zárt kamrás technikával mért NEE értékekhez képest ugyanolyan hőmérsékleti tartományban kétszeres CO_2-fixációt tapasztaltam.



35. ábra: A vizsgált gyomfajok állományaiban az átlagos CO_2 fluxus evapotranszspiráció-függése

A vizsgált növényfajok, illetve funkciós csoportok nem különültek el egymástól (35. ábra). Az *Ambrosia artemisiifolia* és a *Chenopodium album* nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere, valamint állományszintű evapotranspiráció értékei között szignifikáns lineáris regresszió volt megfigyelhető ($P<0,05$). Az ET növekedése általában valamivel magasabb CO_2-megkötéssel párosult a mérésekkor.



36. ábra: Egy C_4-es és egy C_3-as gyomnövény manipulált és kontroll állomány átlagos CO_2 fluxusának evapotranspiráció függése

A vizsgált állományokban a CO_2-megkötés és az ET között pozitív korreláció volt megfigyelhető (36. ábra). A C_3-as faj minden állományában szignifikáns összefüggés volt igazolható (öntözött és kontroll $P<0,05$, részleges csapadékkizárt $P<0,001$), míg a vizsgált C_4-es taxonnál csak az öntözött állományokban ($P<0,05$). A szignifikáns összefüggés a fehér libatop manipulált és kontroll állományában exponenciális, míg a disznóparéj öntözött parcellájánál lineáris jellegű volt. Legerősebb, lineáris regressziót a *Chenopodium* részlegesen csapadékkizárt állományában tapasztaltam ($r^2=0,874$).

5.11. Új tudományos eredmények

- Kimutattam, hogy a vizsgált fajok monodomináns állományokban kivétel nélkül nagyon jelentős produkciót értek el, ami többszöröse a szakirodalomban fellelhető hazai lágyszárú növényzet (pl. gyepek) értékeinek.
- Mind az öt vizsgált taxon állománya igen jelentős CO_2-fixációval rendelkezett, a vegetációs periódus alatt. A vizsgált fajok állományainak maximális CO_2-fixációja többszöröse más, hazánkban eddig kamrás technikával mért gyeptípus állományaiban mért maximális megkötési értékeknél.

- Az egyes fajok CO_2-fixációjában megnyilvánuló sorrend nem tükrözte az állományok biomassza viszonyait.
- Az NEE fényfüggését vizsgálva az 5 vizsgált gyomnövényfaj, illetve a C_4-es és C_3-as taxonok között nem volt szignifikáns különbség
- Meglepő módon a C_3-as *Chenopodium album* NEE értékeit kevésbé befolyásolta a kedvezőtlenebb csapadékellátottság, mint a C_4-es *Amaranthus retroflexus* CO_2-megkötését.
- Az állományok CO_2-fixációja a léghőmérséklet függvényében haranggörbe jelleget mutattak. A C_4-es és C_3-as faj között nincs egyértelmű különbség.
- A vizsgált gyomfajok CH_4 és N_2O fluxusai az eltérő környezeti viszonyok, és biomassza produkció ellenére nem mutattak jelentős eltérést más hazai vizsgált vegetációktól (gyepek és vizes élőhelyek).
- Az egyes funkciós csoportok metán- és dinitrogén-oxid fluxusai között szignifikáns különbségek nem figyelhetőek meg.
- A növényektől mentes kontroll foltban mért alacsony R_{eco} értékek rámutattak, hogy a vizsgált gyomnövények gyökérlégzése, valamint a borítás révén kialakuló mikrokíma hatása milyen meghatározó lehet egy terület szénmérlege szempontjából.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A 2008 vegetációs periódus az átlagosnál csapadékosabb volt, amit az is jelez, hogy a kutatási időszak alatt lehullott csapadékmennyisége meghaladta a terület éves átlagos csapadékmennyiségét. Az öntözéssel kijuttatott (325mm), illetve a csapadékkizárással csökkentett (323mm) vízmennyiség hasonló mértékben, közel 50%-al növelte, illetve csökkentette a manipulált állományok vízellátottságát, így a két típusnál megfigyelt változások egyértelműen összehasonlíthatóvá váltak.

A vizsgált gyomfajok hasonló növekedési görbével, illetve tőszámváltozással (szigmoid) jellemezhetők, függetlenül attól, hogy különböző növényi funkciós típusokat és rendszertani egységeket képviseltek. Az előzetes és az *ex situ* csíráztatás egyaránt azt mutatta, hogy a vizsgált taxonok közül az *Ambrosia* csírázási rátája a legalacsonyabb, melyet a növény feltehetően nagyobb maghozammal kompenzál. A C_4-es fajok több héttel később csíráztak, mint a fehér libatop és a fekete üröm, ami a nagyobb csírázási hőigénnyel magyarázható. A fajok többségénél a szakirodalmi adatoknál korábbi virágzást tapasztaltam, ami valószínűleg a kedvező csapadékellátottságnak és a késő tavaszi fagyok hiányának tudható be. A vártnál korábbi virágzás a vegetatív eredetű állományokban még kifejezettebb volt.

Az NDVI adatok változása mind az öt gyomnál telítődés jellegű volt. A vizsgált fajok kivétel nélkül nagyon jelentős produkciót értek el, ami többszöröse a szakirodalomban fellelhető hazai lágyszárú növényzet (pl. gyepek) értékeinek. Ez egyrészt a kedvező csapadékellátottsággal, másrészt a hónapokon keresztül fenntartott magas CO_2-fixációval magyarázható. Utóbbi egyben ezen növénycsoport sikerességének egyik záloga. A vizsgált C_3-as taxonok föld feletti biomasszája többszöröse – a legtöbb esetben szignifikánsan nagyobb – volt a C_4-es fajoknak, ami döntően eltérő fiziognómiájukkal magyarázható.

Teljesen kifejlett stádiumban a klorofill-a dominanciája nem volt általános, mivel az *Asteraceae* családot képviselő két taxon esetén a klorofill-b tartalom volt a legmagasabb. A vizsgált pigmentek az öt faj esetében széles tartományban mozogtak. Úgy tűnik, hogy a közel kiegyenlített klorofill-a/b arány jelentősebb CO_2-fixációt eredményezett. A részlegesen csapadékkizárt állományokban magasabb volt a karotinoidok és xantofillok aránya, mely ezen pigmentek stressz-védő hatásával magyarázható.

A talajlégzés és a CO_2-megkötés szezonális dinamikája egyaránt haranggörbe jellegű volt mindegyik fajnál, de a teljes ciklust vizsgálva statisztikailag igazolható, szignifikáns különbség nem mutatható ki. A növényektől mentes kontroll foltban mért alacsony értékek rámutattak, hogy a vizsgált gyomnövények gyökérlégzése, valamint a borítás révén kialakuló mikrokíma hatása milyen meghatározó lehet egy terület szénmérlege szempontjából.

Mind az öt gyomnövény állománya jelentős CO_2-fixációval rendelkezett, melyet az emelkedő R_{eco} értékek, valamint az augusztusi szárazságstressz ellenére több hónapon keresztül is fenntartottak. A vizsgált taxonok állományaiban mért maximális CO_2-fixációja többszörösét érte el más, hazánkban eddig kamrás technikával mért gyeptípusok állományainak maximális megkötési értékeinél.

A manipulációs kísérletek eredményeként azt tapasztaltam, hogy a tőszámok, a hajtások átlagos magassága, az NDVI érékek, az összpigment-tartalom, az NEE átlagok, valamint a biomassza értékek az állományok teljes kifejlődésekor mindkét fajnál összefüggtek a csapadékviszonyokkal. Az eltérő csapadékviszonyok hatása a manipulált állományok fenológiai viszonyait is befolyásolták. *Amaranthus retroflexus* állományában öntözés hatására a virágzás, valamint a terméséré időpontja két héttel későbbre tolódott. A C_3-as faj állományfoltjaiban ellentétes tendencia volt megfigyelhető. A csökkentett vízellátottságú *Chenopodium album* állományokban a kontroll típushoz képest később jelentek meg a virágzó egyedek, valamint a terméséré kezdete is körülbelül egy hónappal kitolódott.

Részleges csapadékkizárás hatására átlagosan 27%-kal csökkent az *Amaranthus* és 12%-kal a *Chenopodium* állomány R_{eco} értéke. Az öntözés a disznóparéj állományában a vizsgálati ciklus teljes ideje alatt 19%-kal, míg libatop foltjaiban 23%-kal növelte az R_{eco}-t.

Az *Amaranthus retroflexus* részlegesen csapadékkizárt állományaiban – időszakosan ismétlődő méréseink átlaga alapján – a CO_2-fixáció mértéke közel felére (47,5%-kal) csökkent. Ezzel szemben az öntözött állomány átlagos CO_2-megkötéset több mint 1,6 szorosa (161%) volt a kontroll állomány átlagértékének. A manipulált C_3-as taxon állományainak átlag NEE értékei kevésbé tükrözték az eltérő csapadékellátottságot. A csökkentett vízellátottságú foltok átlag CO_2-fixációja kevesebb, mint 10%-kal volt alacsonyabb (91%) a nem kezelt típusnál, míg az öntözött állományoké mindössze 13%-kal haladta meg a kontroll átlag NEE értékeit.

A manipuláció hatása a biomasszára a CO_2-fluxushoz hasonlóan a szőrös disznóparéj állományokban nyilvánult meg jobban, melynél a produkció változás mértéke szinte teljes mértékben harmonizált a csapadék különbségekkel. A csapadékkizárás az *Amaranthus retroflexus* állományában 53,5%-os, míg a fehér libatopnál 46,6%-os biomassza csökkenést okozott. Öntözés következtében az *Amaranthus*-nál 51%-kal, míg a *Chenopodium* állományokban 29,3%-kal nőtt az összbiomassza mennyisége.

A biomassza vágás és az ezt követő szárazságstressz együttes hatásaként a vizsgált gyomfajok nem, vagy csak minimális mértékben voltak képesek regenerálódni. Utóbbi folyamat a két évelő taxon közül az *Artemisia vulgaris*-ra volt jellemző. Ez a megfigyelés az ellenük való védekezés stratégia tervezésénél is fontos lehet.

2009-ben az előző évihez képest jóval kedvezőtlenebb csapadékellátottsága miatt mind az 5 taxon átlagos biomassza produkciója jelentősen elmaradt a 2008-ban mért értékektől. A C_3-as fajok esetében ez a különbség szignifikáns is volt ($P<0,05$). A visszaesés a C_4-es fajok esetén is jelentős volt, hiszen a *Sorghum halepense* és az *Amaranthus retroflexus* 2009 -ben az előző évi biomassza produkciójának csak közel felét érte el.

A vizsgált gyomfajok talajainak CH_4 és N_2O fluxusai a nem mutattak jelentős eltérést más hazai vizsgált vegetációktól (gyepek és vizes élőhelyek) az eltérő környezeti viszonyok, és biomassza produkció ellenére. Ezen üvegházgázok fluxusait vizsgálva az egyes funkciós csoportok között egyértelmű és szignifikáns különbségek nem figyelhetőek meg.

Eredményeim nemcsak alapkutatás jellegűek, hanem felhasználhatóak a hasonló dinamikájú növényállományok és társulások szünfenetikai és szünfiziológiai jellemzéséhez, valamint modellezéséhez. Ezen kívül a gyomnövények ökofiziológiájának jobb megismerése lehetővé teheti olyan új védekezési stratégiák kidolgozását, ami meggátolja ezen taxonok terjeszkedését, valamint gazdasági- és népegészségügyi szempontból egyaránt kívánatos visszaszorítását.

7.1. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a nemzetközi ökoszisztéma kutatások egyik fő célkitűzése a kulcsfontosságú üvegházhatású gázok (CO_2, N_2O és CH_4) ciklusainak mérése eltérő élőhelyeken, az eddigi projektek azonban nem vizsgálták a gyomállományok üvegházhatású gáz-fluxusait. Számos gyomfaj ökológiai jellemzője jól ismert, de ökofiziológiai viszonyaik, különösen állományszinten alig kutatottak. Fentiek miatt kutatásom fő célkitűzése 5 hazánkban általánosan elterjedt gyomfaj, az *Amaranthus retroflexus, Ambrosia artemisiifolia, Artemisia vulgaris, Chenopodium album,* és *Sorghum halepense* állományszintű összehasonlító, komplex ökofiziológiai vizsgálata. A növényfajok kiválasztásánál figyelembe lett véve, hogy egyaránt reprezentálva legyenek az archeofitonok és a neofitonok, valamint a különböző növényi funkciós csoportok (C_3, C_4, therophyta, kryptophyta). A gyomfajok teljes vegetációs ciklusát lefedő kutatása az első évben 27, majd a második évben 33 állományfolton (évelő taxonok esetén az eltérő eredetű állományok összehasonlítása miatt) véletlen blokk elrendezésben, *ex situ* körülmények között történt a SZIE Gödöllői Botanikus Kertjében. Az *Amaranthus retroflexus* (C_4) és a *Chenopodium album* (C_3) fajokkal manipulatív kísérleteket is végeztem, melyek során taxononként és kezelésenként 3-3 ismétlésben részleges csapadékkizárt, illetve öntözött foltokat hoztam létre a kontroll állományok mellett. Ezen kísérletekkel a Kárpát-medencére előre jelzett szélsőséges klímaévek hatásait vizsgáltam eltérő növényi funkcionális csoportot reprezentáló gyomfajok esetén.

A kutatáshoz kapcsolódó előzetes vizsgálatok során 2007-ben mind az 5 fajt sikeresen csíráztattam, majd kialakítottam homogén állományaikat. Kutatásom többek között kiterjedt a tőszám, az állománymagasság, a biomassza, az NDVI értékek, a pigment tartalom, a talajlégzés, a metán, a dinitrogén-oxid, és az állományszintű CO_2-fluxus méréseire. A rendszeresen ismétlődő mérések mellett a meteorológiai adatokat folyamatosan rögzítettem.

Annak ellenére, hogy az egyes fajok eltérő funkciós csoportot képviselnek, továbbá eltérő tőszámmal és biomasszával jellemezhetők, több vizsgált paraméter esetén is nagyon hasonló dinamikával rendelkeztek (állománymagasság, tőszám, NDVI értékek, talajlégzés, állományszintű CO_2-megkötés). A vizsgált fajok kivétel nélkül nagyon jelentős produkciót értek el, ami többszöröse a szakirodalomban fellelhető hazai lágyszárú növényzet (pl. gyepek) értékeinek. Ez egyrészt a kedvező csapadékellátottsággal, másrészt a hónapokon keresztül fenntartott magas CO_2-fixációval magyarázható. Utóbbi egyben ezen növénycsoport sikerességének egyik záloga. A metán- és a dinitrogén-oxid fluxusok az átlagosnál csapadékosabb – és 2009-hez képest kiegyenlítettebb csapadékeloszlású – 2008-as évben nagyobb tartományban mozogtak, ami jelzi a szárazság hatását ezen üvegházgázok fluxusaira.

A manipulatív vizsgálatok során több paraméter esetén is jelentős, sőt akár szignifikáns (pl. biomassza, tőszám) eltérést tapasztaltam a kontroll állományokhoz képest. A különbségek már a csírázáskor jelentkeztek, de az egyes kezelések közötti eltérések a szárazabb periódusban váltak igazán markánssá. A nyári aszály eltérő mértékben stresszelte az állományokat, mely jól nyomon követhető a talajlégzés és az állományszintű CO_2-fluxus variabilitásában. A manipulációs kísérletek eredményeként azt tapasztaltam, hogy a tőszámok, a hajtások átlagos magassága, az NDVI érékek, az összpigment-tartalom, az NEE átlagok, valamint a biomassza étékek mindkét fajnál összefüggtek a csapadékviszonyokkal az állományok teljes kifejlődésekor. Eredményeim nemcsak alapkutatás jellegűek, hanem felhasználhatóak a hasonló dinamikájú növényállományok és társulások szünfenetikai és szünfiziológiai jellemzéséhez, valamint modellezéséhez. Ezen kívül a gyomnövények ökofiziológiájának jobb megismerése lehetővé teheti olyan új védekezési stratégiák kidolgozását, ami meggátolja ezen taxonok terjeszkedését, valamint gazdasági- és népegészségügyi szempontból egyaránt kívánatos visszaszorítását.

7.2. SUMMARY

Measuring cycle of the key greenhouse gasses (CO_2, N_2O and CH_4) in different habitats is one of the main goals of recent international ecosystem studies. These projects didn't cover the greenhouse gas fluxes of weed stands until now. The ecological factors of many weed species are well known but their ecophysiological aspects especially at stand level are barely studied. The main aim of my study was the comparative, complex ecophysilogical investigation of 5 in Hungary widely spread weed species (*Amaranthus retroflexus, Ambrosia artemisiifolia, Artemisia vulgaris, Chenopodium album, Sorghum halepense*) due to the above mentioned reasons. By choosing these taxa it was taken account to represent both archeophytes and neophytes, as well as different plant functional groups (C_3, C_4, therophytes, cryptophytes). The *ex situ* investigation covered the whole vegetation period of the selected weeds and took place in Gödöllő in the Botanical Garden of the Szent István University on 27 randomized block design plots in the first year. The investigation was repeated on 33 plots next year in order to compare seed and vegetative origin stands of the perennial taxa. In addition, manipulative experiments were also carried out involving *Amaranthus retroflexus* (C_4) and *Chenopodium album* (C_3) taxa. 3-3 irrigated and partially precipitation excluded plots were created beside the control stand in order to investigate the effects of the predicted extreme climate years for the Carpathian basin on this two weed species representing different functional groups.

All 5 taxa were successfully germinated in 2007 as a preliminary experiment. Homogeneous monodominant stand were created and shoot number, stand height, biomass, NDVI values, pigment content, soil respiration, methane, dinitrogen-oxide and stand level CO_2 fluxes were measured. Beside these regular measurements the meteorological data was continuously recorded.

Although the chosen species represented different functional groups, and had different shoot number and biomass, they were characterized by very similar dynamics regarding more parameters (stand height, shoot number, NDVI values, soil respiration and stand level CO_2 fixation). All the investigated taxa had a remarkable production, which was multiple times higher than the herbaceous plants in Hungary (for example grasses). It can be the result of the favorable water regimes and the elongated period of high CO_2 fixation. This intensive carbon dioxide fixation can be the key to the success of this plant group. Methane and dinitrogen-oxid fluxes had a bigger range in 2008 which year was a more balanced regarding the precipitation, signing their correlation with draught.

Regarding the manipulative experiments I have found remarkable even significant (for example biomass, shoot number) difference to the control plots about more parameters. The

differences among the treatments started already during the germination, but got stronger during the dryer periods. The arid summer had stressed the stands at different level which was well measurable by the soil respiration and CO_2 flux variability. The manipulative experiments showed that there was a correlation between the precipitation level and shoot number, mean height of the plants, NDVI values, pigment content, mean NEE and biomass values at the total development phase. These results are not only basic research like but can be used at synphenetical and synphysiological characterization or modeling of plant communities with similar dynamics. Furthermore the deeper knowledge of weed ecophysiology can allow developing new plant protection methods for the benefit of the economy and public health.

10.14751/SZIE.2019.027

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm témavezetőmnek Dr. Czóbel Szilárdnak a sok segítségét a tervezésben, az adatfeldolgozásban és a kiértékelésben. Szeretném megköszönni néhai Dr. Tuba Zoltán professzornak az eszközök és az *ex situ* vizsgálatok helyszínének biztosítását. Köszönöm a SZIE Növénytani és Ökofiziológiai Intézet munkatársainak, hogy lehetővé tették számomra a műszerek használatát, valamint azok kezelésében nyújtott segítségüket, továbbá a SZIE Gödöllői Botanikus Kert munkatársainak a munkában való segítséget. Szeretném megköszönni Dr. Horváth László professzornak az CH_4 és N_2O mérésekben nyújtott segítségét.

9. IRODALOMJEGYZÉK

ACKERLY, D. D., COLEMAN, J. S., MORSE, S. R., BAZZAZ, F. A. (1992): CO_2 and Temperature Effects on Leaf Area Production in Two Annual Plant Species. In: *Ecology*, 73: 1260-1269. p.

BARCZA, Z., BONDEAU, A., CHURKINA, G., CIAIS, PH., CZÓBEL, SZ., GELYBÓ, GY., GROSZ, B., HASZPRA, L., HIDY, D., HORVÁTH, L., MACHON, A., PÁSZTOR, L., SOMOGYI, Z., VAN OOST, K. (2011): Modeling of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases - model based biospheric greenhouse gas balance of Hungary. 295-330. p. In: HASZPRA L. (Szerk.): *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective*. Doldrecht-Heidelberg-London-New York: Springer Publ., 408 p.

BARNEY, J. N., HAY, A. G.,WESTON, L. A. (2005): Isolation and characterization of allelopathic volatiles from mugwort (*Artemisia vulgaris*). In: *Journal of Chemical Ecology*, 31: 247-265. p.

BARTHA, S. (2004): Paradigmaváltás és módszertani forradalom a vegetáció vizsgálatában. In: *Magyar Tudomány*, 49: 12-26. P.

BARTHA, S., CZÁRÁN, T., SCHEURING, I. (1997): Spatiotemporal scales of non-equilibrium community dynamics: a methodological challenge. In: *New Zealand Journal of Ecology*, 21: 199-206. p.

BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R. (2005): Néhány extrém éghajlati paraméter globális és Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században. In: *Agro-21 Füzetek*, 40: 71-93. p.

BASSETT, I. J., CROMPTON, C. W. (1975) The biology of Canadian weeds. *Ambrosia artemisiifolia* L and *A. psilostachya* Dc. In: *Canadian Journal of Plant Science*, 55: 463-476. p.

BAZZAZ, F. A., GARBUTT, K., REEKIE, E. G. WILLIAMS, W. E. (1989): Using growth analysis to interpret competition between a C_3 and a C_4 annual under ambient and elevated CO_2. In: *Oecologia*, 79: 223-235. p.

BERNACCHI, C. J., COLEMAN, J. S., BAZZAZ, F. A., MC CONNAUGHAY, K. D. M. (2000): Biomass allocation in old-field annual species grown in elevated CO_2 environments: no evidence for optimal partitioning. In: *Global Change Biology*, 6: 855-863. p.

BÉRES, I., NOVÁK, R. HOFFMANNÉ, P. ZS., KAZINCZI, G. (2005): Az ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) elterjedése, morfológiája, biológiája, jelentősége és a védekezés lehetőségei. In: *Gyomnövények, gyomirtás*, 1: 1-25. p.

BORJIGIDAI, A., HIKOSAKA, K., HIROSE, T. (2008): Carbon balance in a monospecific stand of an annual herb *Chenopodium album* at an elevated CO_2 concentration. In: *Plant Ecology*, 203: 33–44. p.

BOTTA-DUKÁT, Z. (2012): A növényi inváziához kapcsolódó fogalmak. 10-11. p. In: CSISZÁR Á. (Szerk.): *Inváziós növényfajok Magyarországon*. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 364 p.

BRODERSEN, C., LAVERGNE, S., MOLOFSKY, J. (2008): Genetic variation in photosynthetic characteristics among invasive and native populations of reed canarygrass (*Phalaris arundinacea*). In: *Biological Invasions*, 10: 1317-1325. p.

BRUNS, H. A. (2016): Flag leaf photosynthesis and stomatal function of grain sorghum as influenced by changing photosynthetic photon flux densities In: *International Journal of Agronomy*, 6 p. https://doi.org/10.1155/2016/1363740.

BUNCE, J. (2018): Evidence of Adaptation to Recent Changes in Atmospheric CO_2 in Four Weedy Species. In: *Plants*, 7(1): 12. p. https://doi.org/10.3390/plants7010012

CANNER, S. R., WILES, L. J., ERSKINE, R. H., MCMASTER, G. S., ASCOUGH, II J. C. (2009): Modeling With Limited Data: The Influence of Crop Rotation and Management on Weed Communities and Crop Yield Loss. In: *Weed Science*, 57(2): 175-186. p.

ČEKIĆ, S., KOVAČEVIĆ, Z. (2015): Ecological and Phytogeographical Characteristics of the Weed Flora in the Lijevče Plain. In: *Agro-knowledge Journal*, 16: 353-366. p.

CHRISTENSEN, T. R., FRIBORG, T., SOMMERKORN, M., KAPLAN, J., ILLERIS, L., SOEGAARD, H., NORDSTROEM, C., JONASSON, S. (2000): Trace gas exchange in a high-Arctic valley: 1. Variations in CO_2 and CH_4 flux between tundra vegetation types. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 14(3): 701-713. p.

COUMOU, D., RHAMSTORF, S. (2012): A decade of weather extremes. In: *Nature Climate Change*, 2: 491-496. p.

CZÓBEL, SZ. (2007): Hazai gyepállományok szünfiziológiai és szünbotanikai állapota, különös tekintettel a földhasználati módok hatásaira. In: *Doktori disszertáció*, Szent István Egyetem, Gödöllő, 169 p.

CZÓBEL, SZ., BALOGH, J., FÓTI, SZ., PÉLI, E.R., SZERDAHELYI, T., SZIRMAI, O., NAGY, Z., TUBA, Z. (2004): Long-term effects of irrigation and fertilization on stand CO_2 fluxes and soil biochemical processes in a Hungarian loess grassland. 130-134. p. In: HIDVÉGI SZ., GYURICZA CS. (Szerk.): *Proceedings of the III. Alps-Adria Scientific Workshop, Dubrovnik, Croatia*. Budapest: Akaprint Kiadó, 431 p.

CZÓBEL, SZ., FÓTI, SZ., BALOGH, J., NAGY, Z., BARTHA, S., TUBA, Z. (2005): Chamber series and space-scale analysis of CO_2 gas-exchange in grassland vegetation. A novel approach. In: *Photosynthetica*, 43: 267-272.

CZÓBEL, SZ., HORVÁTH, L., GÁL, B., SZERDAHELYI, T., SZIRMAI, O., NAGY, J., CSERHALMI, D., FOGARASI, G., PÉLI, E. R., RABNECZ, GY., GROSZ, B., TUBA, Z. (2009): Ecophysiological studies in the Bodrogköz: Measurement of yearly C and N_2O balance in typical wetland habitats of the Bodrogköz. In: *Thaiszia*, 19: 331-344. p.

CZÓBEL, SZ., HORVÁTH, L., PÓSA, P., SCHELLENBERGER, J., SKUTAI, J., SZIRMAI, O. (2017): Dependence of CO_2 flux on the key abiotic and biotic parameters in semi-natural grasslands either traditionally grazed or excluded from grazing. In: *Applied Ecology & Environmental Research*, 15(2): 15-23. p.

CZÓBEL, SZ., HORVÁTH, L., SZIRMAI, O., BALOGH, J., PINTÉR, K., NÉMETH, Z., ÜRMÖS, ZS., GROSZ, B., TUBA, Z. (2010): Comparison of N_2O and CH_4 fluxes from Pannonian natural ecosystems. In: *European Journal of Soil Science*, 61: 671-682. p.

CZÓBEL, SZ., NAGY, J., SZERDAHELYI, T., SZIRMAI, O. (2007): Magnoliophyta. 425-520. In: TUBA Z., SZERDAHELYI T., ENGLONER A., NAGY J. (Szerk.): *Botanika II.* Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 523 p.

CZÓBEL, SZ., NÉMETH, Z., SZIRMAI, O., GYURICZA, CS., TÓTH, A., HÁZI, J., VIKÁR, D., PENKSZA, K. (2013): Short-term effects of extensive fertilization on community composition and carbon uptake in a Pannonian loess grassland. In: *Photosynthetica*, 51: 490-496. p.

CZÓBEL, SZ., SZIRMAI, O., NAGY, J., BALOGH, J., ÜRMÖS, ZS., PÉLI, E. R., TUBA, Z. (2008): Effects of irrigation on the community composition, and carbon uptake in Pannonian loess grassland monoliths. In: *Community Ecology*, 9: 91-96.

CZÓBEL, SZ., SZIRMAI, O., NÉMETH, Z., GYURICZA, CS., HÁZI, J., TÓTH, A., SCHELLEMBERGER, J., VASA, L., PENKSZA, K. (2012): Short-term effects of grazing exclusion on net ecosystem CO_2 exchange and net primary production in a Pannonian sandy grassland. In: *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40: 67-72. p.

CSONTOS P. (2001): A természetes magbank kutatásának módszerei. Budapest: Scientia Kiadó. 155 p.

DAMGAARD, C., WEINER, J., NAGASHIMA, H. (2002): Modelling individual growth and competition in plant populations: growth curves of *Chenopodium album* at two densities. In: *Journal of Ecology*, 90: 666-671. p.

DIPPERY, J. K., TISSUE, D. T, THOMAS, R. B., STRAIN, B. R. (1995): Effects of low and elevated CO_2 on C_3 and C_4 annuals. In: *Oecologia*, 101: 13-20.

DONG, Y., ZHANG, S., QI, Y., CHEN, Z., GENG, Y. (2000): Fluxes of CO_2, N_2O and CH_4 from a typical temperate grassland in Inner Mongolia and its daily variation. In: *Chinese Science Bulletin*, 45: 1590-1594. p.

DUKES, J. S., (2000): Will the increasing atmospheric CO_2 concentration affect the success of invasive species? 95-113. p. In: MOONEY, H. A., HOBBS, R. J. (Eds.): *Invasive Species in a Changing World*. Washington: Island Press, 384 p.

ERVIÖ, L. R. (1971): The effect of intra-specific competition on the development of *Chenopodium ambum* L.In: *Weed Research*, 11: 124-134. p.

FLESSA, H., BEESE, F., RUSER, R., KAMP, T., JIMENEZ, M. A., MUNCH, J. C., DÖRSCH, P. (2002): Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO_2, CH_4, N_2O) from two farming systems in southern Germany. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1): 175-189. p.

FÓTI, SZ., BALOGH, J., NAGY, Z., ÜRMÖS, ZS., BARTHA, S., TUBA, Z. (2008): Temporal and spatial variability and pattern of soil respiration in loess grassland. In: *Community Ecology*, 9: 57-64.

FRANK, A. B, LIEBIG, M. A, HANSON, J. D. (2002): Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands. In: *Soil Biology and Biochemistry*, 34(9): 1235-1241. p.

GAO, X., GU, F., HAO, W., MEI, X., LI, H., GONG, D., MAO, L., ZHANG, Z. (2017): Carbon budget of a rainfed spring maize cropland with straw returning on the Loess Plateau, China. In: *Science of the Total Environment*, 586: 1193-1203. P.

GARBUTT, K., WILLIAMS, W. E., BAZZAZ, F. A. (1990): Analysis of the differential response of five annuals to elevated CO_2 during growth. *Ecology*, 71: 1185-1194. p.

GRAMIG, G. G., STOLTENBERG, D. E., NORMAN, J. M. (2006): Weed species radiation-use efficiency as affected by competitive environment. In: *Weed Science*, 54: 1013-1024. p.

GRECO, S. A., CAVAGNARO, J. B. (2002): Effects of drought in biomass production and allocation in three varieties of *Trichloris crinita* P. (*Poaceae*) a forage grass from the arid Monte region of Argentina. In: *Plant Ecology*, 64: 125-135. p.

HEFTING, M. M., BOBBINK, R., DE CALUWE, H. (2003): Nitrous Oxide Emission and Denitrification in Chronically Nitrate-Loaded Riparian Buffer Zones. In: *Journal of Environmental Quality*, 32: 1194-1203. p.

HELLMANN, J. J. (2008): Five potential consequences of climate change for invasive species. In: *Conservation Biology*, 22: 534-543.

HOLZNER, W., NUMATA, M. (2013): Biology and ecology of weeds. New York: Springer Science & Business Media. 461 p.

HORVÁTH, L., FÜHRER, E., LAJTHA, K. (2006): Nitric oxide and nitrous oxide emission from Hungarian forest soils; linked with atmospheric N-deposition. In: *Atmospheric Environment*, 40: 7786-7795. p.

HORVÁTH, L., GROSZ, B., CZÓBEL, SZ., NAGY, Z., PÉLI, E., SZERDAHELYI, T., SZIRMAI, O., TUBA, Z. (2008a): Measurement of methane and nitrous oxide fluxes in Bodrogköz, Hungary; preliminary results. In: *Acta Biologica Szegediensis*, 52: 119-122. p.

HORVÁTH, L., GROSZ, B., MACHON, A., BALOGH, J., PINTÉR, K., CZÓBEL, SZ. (2008b): Influence of soil type on N_2O and CH_4 soil fluxes in Hungarian grasslands. In: *Community Ecology*, 9: 75-80. p.

HORVÁTH, L., GROSZ, B., MACHON, A., TUBA, Z., NAGY, Z., CZÓBEL, SZ., BALOGH, J., PÉLI, E., FÓTI, SZ., WEIDINGER, T., PINTÉR, K., FÜHRER, E. (2010): Estimation of nitrous oxide emission from Hungarian semi-arid sandy and loess grasslands; effect of soil parameters, grazing, irrigation and use of fertilizer. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139: 255-263. p.

HUNT, J. E., KELLIHER, F. M., MCSEVENY, T. M., BYERS, J. N. (2002): Evaporation and carbon dioxide exchange between the atmosphere and a tussock grassland during a summer drought. In: *Agricultural and Forest Meteorology*, 111(1): 65-82. p.

HUTTUNEN, J. T., VÄISÄNEN, T. S., HELLSTEN, S. K., HEIKKINEN, M., NYKÄNEN, H., JUNGNER, H., NISKANEN, A., VIRTANEN, M. O., LINDQVIST, O. V., NENONEN, O., MARTIKAINEN, P. J. (2002): Fluxes of CH_4, CO_2, and N_2O in hydroelectric reservoirs Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 16(1): 3.1.-3.17. p.

KALAPOS, T. (1991): C_3 and C_4 grasses of Hungary: environmental requirements, phenology and role in the vegetation. In: *Abstracta Botanica*, 15: 83-88. p.

KALAPOS, T. (1994): Leaf water potential - leaf water deficit relationship for then species of a semiarid grassland community. In: *Plant and Soil*, 160: 105-112. p.

KALAPOS, T., BALOGHNÉ-NYAKAS, A., CSONTOS, P. (1997): Occurence and ecological characteristics of C_4 dicot and *Cyperaceae* species in the Hungarian flora. In: *Photosynthetica*, 33: 227-240. p.

KALAPOS, T., MOJZES, A., KOVÁCS, E., KOVÁCS-LÁNG, E. (2005): Ecophysiological responses of three different plant functional types to experimental climate change manipulation (nocturnal warming or drought) in a semiarid forest-steppe habitat. 516. p. In: *Book of Abstracts of XVII International Botanical Congress*, pp. 516), Vienna: Rodibrück, 731 p.

KARHU, K., AUFFRET, M. D., DUNGAIT, J. A. J., HOPKINS, D. W., PROSSER, J. I., SINGH, B.K., SUBKE, J-A., WOOKEY, P. A., ÅGREN, G. I., SEBASTIÀ, M-T., GOURIVEAU, F., BERGKVIST, G., MEIR, P., NOTTINGHAM, A. T., SALINAS, N., HARTLEY, I. P. (2014): Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. In: *Nature*, 513: 81-84. p.

KELLER, M., KAPLAN, W. A., WOFSY, S. C. (1986): Emissions of N_2O, CH_4 and CO_2 from tropical forest soils. In: *Journal of Geophysical Research*, 91: 11791-11802. p.

KNEZEVIC, S. Z., HORAK, M. J., VANDERLIP, R. L. (1999): Estimates of physiological determinants for *Amaranthus retroflexus*. *Weed Science*, 47: 291-296.

KOVÁCS-LÁNG, E., KRÖEL-DULAY, GY., LHOTSKY, B., GARADNAI, J., BARABÁS, S., KOVÁCS, E. (2003): Hő- és szárazságkezelés ökológiai hatásainak terepi kísérletes vizsgálata: az EU Fw5 Vulcan Projekt bemutatása. 155. p. In: DOMBOS, M., LAKNER, G. (Szerk.): *6. Magyar Ökológus Kongresszus (Gödöllő) - Előadások és poszterek összefoglalói*, Gödöllő: SZIE Egyetemi Nyomda, 306 p.

LEE, J. (2011): Combined effect of elevated CO_2 and temperature on the growth and phenology of two annual C_3 and C_4 weedy species. In: *Agriculture Ecosystems & Environment*, 140: 484-491.

LEIBLEIN, M. C., LÖSCH, R. (2011): Biomass development and CO_2 gas exchange of *Ambrosia artemisiifolia* L. under different soil moisture conditions. *Flora*, 206: 511-516. p.

LI, C., FROLKING, S., BUTTERBACH-BAHL, K. (2005): Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing . In: *Climatic Change*, 72(3): 321-338. p.

LICHTENTHALER, H. K. (1987): Chlorophylls and carotenoids, the pigments of the photosynthetic biomembranes. In: *Methods in Enzimology*, 148: 350-382. p.

LIU, C., WANG, K., ZHENG, X. (2012): Responses of N_2O and CH_4 fluxes to fertilizer nitrogen addition rates in an irrigated wheat-maize cropping system in northern China. In: *Biogeosciences*, 9: 839-850. p.

LIU, L., WANG, X., LAJEUNESSE, M. J., MIAO, G., PIAO, S., WAN, S., WU, Y., WANG, Z., YANG, S., LI, P., DENG, M. (2016): A cross- biome synthesis of soil respiration and its determinants under simulated precipitation changes. In: *Global Change Biology*, 22: 1394-1405. p.

LIU, W., LÜ, X., XU, W., SHI, H., HOU, L., LI, L., YUAN, W. (2018): Effects of water and nitrogen addition on ecosystem respiration across three types of steppe: The role of plant and microbial biomass. In: *Science of The Total Environment*, 619-620: 103-111. p.

LOSOSOVÁ Z., CHYTRÝ M., CIMALOVÁ S., OTÝPKOVÁ Z., PYŠEK P., TICHÝ L.: (2006): Classification of weed vegetation of arable land in the Czech Republic and Slovakia. In: *Folia Geobotanica*, 41(3): 259-273

MACDONALD, J. A., FOWLER, D., HARGREAVES, K.J., SKIBA, U., LEITH, I.D., MURRAY, M.B. (1998): Methane emission rates from a northern wetland; response to temperature, water table and transport. In: *Atmospheric Environment*, 32: 3219-3227. p.

MIHÁLY, B., BOTTA-DUKÁT, Z. (2004): Özönnövények - Biológiai inváziók Magyarországon. Budapest: Természetbúvár Alapítvány. 408 p.

MONTAGNANI, C., GENTILI, R., SMITH, M., GUARINO, M. F., CITTERIO, S. (2017): The worldwide spread, success, and impact of ragweed (*Ambrosia spp*.). In: *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36: 139-178. p.

MOSIER, A., DELGADO, J., COCHRAN, V., VALENTINE, D. W, PARTON, W. J. (1997): Impact of agriculture on soil consumption of atmospheric CH_4 and a comparison of CH_4 and N_2O flux in subarctic, temperate and tropical grasslands. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49: 71-83. p.

NAGY, Z., PINTÉR, K., CZÓBE, SZ., BALOGH, J., HORVÁTH, L., FÓTI, SZ., BARCZA, Z., WEIDINGER, T., CSINTALAN, ZS., DINH, N.Q., GROSZ, B., TUBA, Z. (2007): The carbon budget of a semiarid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121: 21-29. p.

NIELSEN, E. T., KARPA, D., MOONEY, H. A., FIELD, C. (1993): Patterns of stem assimilation in two species of invasive legumes in costal California. In: *American Journal of Botany*, 80: 1126-1136. p.

NÉMETH, Z., CZÓBEL, SZ., NÉMETH, CS., PÁSZTOR-HUSZÁR, K. (2010): Resilience in C_3 and C_4 weed stands, in response to different water regimes. In: *Növénytermelés*, 59: 461-464. p.

NÉMETH, Z., NAGYGYÖRGY, E. D., CZÓBEL, SZ**.,** PÉLI, E., SZIRMAI, O. (2008): Changing soil respiration in a geophyte-rich Pannonian forest from snowmelt until peak leafing. *Cereal Research Communications*, 36: 1967-1970. p.

NÉMETH, Z., SKUTAI, J., PÓSA, P., SZIRMAI, O., CZÓBEL, SZ. (2017): Stand level CO_2 flux examination of weed species with different origin and functional groups. *Applied Ecology & Environmental Research*, 15: 217-226. p.

OHKUBO, S., NAGATA, O., HIROTA, T. (2015): Estimating NEE in a wheat-planted plot with an automatically controlled chamber. In: *Soil Science and Plant Nutrition*, 61: 76-87. p.

ONEN, H., FAROOQ,, S., GUNAL, H., OZASLAN, C., ERDEM, H. (2017): Higher tolerance to abiotic stresses and soil types may accelerate common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) invasion. In: *Weed Science*, 65: 115-127. p.

PAPEN, H., DAUM, M., STEINKAMP, R., BUTTERBACH-BAHL, K. (2001): N_2O and CH_4-fluxes from soils of a N-limited and N-fertilized spruce forest ecosystem of the temperate zone. *Journal of Applied Botany*, 75: 159-163.

PATEL, N. R., DADHWAL, V. K., SAHA, S. K. (2011): Measurement and scaling of carbon dioxide (CO_2) exchanges in wheat using flux-tower and remote sensing. In: *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39: 383.

PERCZE, A. (2002): Gyomnövények. 42-137. p. In: GYURICZA CS. (Szerk.): *Szántóföldi talajhasználati praktikum*. Budapest: Akaprint Nyomdaipari Kft, 177 p.

PINKE, GY., PÁL, R. (2005): Gyomnövényeink eredete, termőhelye és védelme. Pécs: Alexandra Kiadó. 232 p.

PINTÉR, K., BARCZA, Z., BALOGH, J., CZÓBEL, SZ., CSINTALAN, ZS., TUBA, Z., NAGY, Z. (2008): Interannual variability of grasslands' carbon balance depends on soil type. In: *Community Ecology*, 9: 43-48. p.

ROUSH, M. L., RADOSEVICH, S. R. (1985): Relationships between growth and competitiveness of four annual weeds. In: *The Journal of Applied Ecology*, 22: 895-905. p.

ROUT, M. E., CHRZANOWSKI, T. H. (2009): The invasive *Sorghum halepense* harbors endophytic N_2-fixing bacteria and alters soil biogeochemistry. In: *Plant and Soil*, 315: 163-172. p.

SAGE, R. F., PEARCY, R. W. (1987): The Nitrogen Use Efficiency of C_3 and C_4 plants. In: *Plant Physiology*, 84: 954-958. p.

SIMON, T. (1992): A magyarországi edényes flóra határozója. Budapest: Tankönyvkiadó. 892 p.

SIMON, T. (2000): A magyarországi edényes flóra határozója. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó. 845 p.

SINGH, M. C., DUBEY, S. C., YADRAJU, N. T. (2016): Climate change and its possible impacts on weeds. In: *International Journal of Science, Environment*, 5(3): 1530-153. p.

SOUSSANA, J.F., ALLARD, V., PILEGAARD, K., AMBUS, P., AMMAN, C., CAMPBELL, C., CESCHIA, E., CLIFTON-BROWN, J., CZÓBEL, S., DOMINGUES, R., FLECHARD, C., FUHRER, J., HENSEN, A., HORVATH, L., JONES, M., KASPER, G., MARTIN, C., NAGY, Z., NEFTEL, A., RASCHI, A., BARONTI, S., REES, R. M., SKIBA, U., STEFANI, P., MANCA, G., SUTTON, M., TUBA, Z., VALENTINI, R. (2007): Full accounting of the greenhouse gas (CO_2, N_2O, CH_4) budget of nine European grassland sites. In: *Agriculture, Ecosystem & Environmental*, 121: 121-134.

SUYKER, A. E., VERMA, S. B., BURDA, G. G. (2003): Interannual variability in net CO_2 exchange of a native tallgrass prairie. *Global Change Biology*, 9(2): 255-265.

SZÁRNYAS, I. (2000): A cukorrépa néhány gyomnövényének – egynyári szélfű (*Mercurialis annua* L.), szőrös disznóparéj (*Amaranthus retroflexus* L.), fehér libatop (*Chenopodium album* L.) biológiája, kártétele, és az integrált védekezés. In: *Doktori (Phd.) értekezés*, Veszprémi Egyetem, Keszthely, 136 p.

SZENTE, K., TUBA, Z., NAGY, Z., CSINTALAN, ZS. (1993a): Competition between *Chenopodium album* and *Helianthus annuus* as reflected in photosynthesis and transpiration. In: *Photosynthetica*, 28: 465-472. p.

SZENTE, K., TUBA, Z., NAGY, Z., CSINTALAN, ZS. (1993b): Ecophysiological approach of competition between *Amaranthus chlorostachys* and *Helianthus annuus* under drought stress. In: *Weed Research*, 33: 121-129. p.

SZIGETVÁRI, CS., BENKŐ, ZS. R. (2004): Ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L). 337-370. p. In: MIHÁLY B. & BOTTA-DUKÁT Z. (szerk.): *Özönnövények - Biológiai inváziók Magyarországon*. Budapest: Természetbúvár Alapítvány, 408 p.

SZIRMAI, O., HOREL, J., NEMÉNYI, A., PÁNDI, I., GYURICZA, CS., CZÓBEL, SZ. (2014): Overview of the collections of the first agrobotanical garden of Hungary. In: *Hungarian Agricultural Research*, 23: 19-25. p.

ULIARTE, E. M., SCHULTZ, H. R., FRINGS, C., PFISTER, M., PARERA, C. A., DEL MONTE, R. F. (2013): Seasonal dynamics of CO_2 balance and water consumption of C_3 and C_4-type cover crops compared to bare soil in a suitability study for their use in vineyards in Germany and Argentina. In: *Agricultural and Forest Meteorology*, 181: 1-16. p.

YAMUKI, S., HARRISON, R. M., GOULDING, K. W. T., WEBSTER, C. P. (1997): N_2O, NO and NO_2 fluxes from a grassland: Effect of soil pH. In: *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 1199-1208. p.

YUSTE, J. C., JANSSENS, I. A., CARRARA, A., CEULEMANS, R. (2004): Annual Q(10) of soil respiration reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity. In: *Global Change Biology*, 10: 161-169. p.

VALENTINI, R., GAMON, J. A., FIELD, C. B. (1995): Ecosystem Gas Exchange in a California Grassland: Seasonal Patterns and Implications for Scaling. In: *Ecology*, 76(6): 1940-1952. p.

VAN KLEUNEN, M., DAWSON, W., ESSL, F., PERGL, J., WINTER, M., WEBER, E., KREFT, H., WEIGELT, P., KARTESZ, J., NISHINO, M., ANTONOVA, L. A., BARCELONA, J. F., CABEZAS, F. J., CÁRDENAS, D., CÁRDENAS-TORO, J., CASTAÑO, N., CHACÓN, E., CHATELAIN, C., EBEL, A. L., FIGUEIREDO, E.,

FUENTES, N., GROOM, Q. J., HENDERSON, L., INDERJI, T., , KUPRIYANOV, A., MASCIADRI, S., MEERMAN, J., MOROZOVA, O., MOSER, D., NICKRENT, D. L., PATZELT, A., PELSER, P. B., BAPTISTE, M. P., POOPATH, M., SCHULZE, M., SEEBENS, H., SHU, W. S., THOMAS, J., VELAYOS, M., WIERINGA, J. J., PYŠEK, P. (2015): Global exchange and accumulation of non-native plants. In: *Nature*, 525: 111-103. p.

VINCZE, M. (2001) Gyomszabályozás a fenntartható növénytermesztési rendszerekben. 161-184. p. In: BIRKÁS M. (Szerk.): *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban*. Budapest: Akaprint Kiadó, 292 p.

VIRÁGH, K. (1982): Vegetation dynamics induced by some herbicides in a perennial grassland community. In: *Acta Botanica Hungarica*, 28: 424-447. p.

VIRÁGH, K. (1992): Regenerative microsuccessions induced by herbicide-disturbance in a perennial grassland community. In: *Bulletin de Museum D'Histoire Naturelle de Marseille*, 52: 21.

WANG, G., LIANG, Y., ZHANG, Q., JHA, S. K., GAO, Y., SHEN, X., SUN, J., DUAN, A. (2016): Mitigated CH_4 and N_2O emissions and improved irrigation water use efficiency in winter wheat field with surface drip irrigation in the North China Plain. In: *Agricultural Water Management*, 163: 403-407. p.

WANG, Y., HAO, Y., CUI, X. Y., ZHAO, H., XU, C., ZHOU, X., XU, Z. (2014): Responses of soil respiration and its components to drought stress. In: *Journal of Soils and Sediments*, 14: 99-109. p.

WANG, Y., HU, C., DONG, W., LI, X., ZHANG, Y., QIN, S., OENEMA, O. (2015): Carbon budget of a winter-wheat and summer-maize rotation cropland in the North China Plain. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206: 33-45. p.

WANG, W., LIAO, Y. C., GUO, Q. (2013): Seasonal and annual variations of CO_2 fluxes in rain-fed winter wheat agro-ecosystem of loess plateau, China. In: *Journal of Integrative Agriculture*, 12: 147–158.

WARD, J. K., TISSUE, D. T., THOMAS, R. B., STRAIN, B. D. R. (1999): Comparative responses of model C_3 and C_4 plants to drought in low and elevated CO_2. In: *Global Change Biology*, 5: 857-867. p.

WILSON, S. D., SCHLAEPFER, D. R., BRADFORD, J. B., LAUENROTH, W. K., DUNIWAY, M. C., HALL, S. A., JAMIYANSHARAV, K., JIA, G., LKHAGVA, A., MUNSON, S. M., PYKE, D. A., TIETJEN, B. (2018): Functional Group, Biomass, and Climate Change Effects on Ecological Drought in Semiarid Grasslands. In: *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123: 1072-1085. p.

ZHANG, H., TANG, J., LIANG, S., LI, Z., YANG, P., WANG, J., WANG, S. (2017): The Emissions of Carbon Dioxide, Methane, and Nitrous Oxide during Winter without Cultivation in Local Saline-Alkali Rice and Maize Fields in Northeast China. In: *Sustainability*, 9: 1-16.

ZHANG, Q., LEI, H. M., YANG, D. W. (2013): Seasonal variations in soil respiration, heterotrophic respiration and autotrophic respiration of a wheat and maize rotation cropland in the North China Plain. In: *Agricultural and Forest Meteorology*, 180: 34-43. p.