SZENT ISTVÁN EGYETEM

HAZAI GYEPÁLLOMÁNYOK SZÜNFIZIOLÓGIAI ÉS SZÜNBOTANIKAI ÁLLAPOTA, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A FÖLDHASZNÁLATI MÓDOK HATÁSAIRA

Doktori (PhD) értekezés

CZÓBEL SZILÁRD

Gödöllő
2007

A doktori iskola

megnevezése: Biológia Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Biológia tudományok

vezetője: Prof. Dr. Tuba Zoltán
tanszékvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar,
Növénytani és Ökofiziológiai Intézet

témavezető: Prof. Dr. Tuba Zoltán
tanszékvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar,
Növénytani és Ökofiziológiai Intézet

....

Dr. Tuba Zoltán
iskolavezető

Dr. Tuba Zoltán
témavezető

TARTALOMJEGYZÉK

1. JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE ... 5
2. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK ... 7
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS ... 9
3.1. A füves ökoszisztémák elterjedése és főbb jellegzetességei ... 9
3.2. Gyepállományok ökológiai és ökofiziológiai kutatásainak rövid összefoglalása ... 10
3.2.1. Hazai kutatások ... 11
3.2.2. Nemzetközi kutatások ... 16
4. ANYAG ÉS MÓDSZER ... 25
4.1. Vizsgálati objektumok ... 25
4.1.1. Vizsgált társulások ... 25
4.1.2. Vizsgálati helyszínek ... 26
4.1.3. Manipulációs vizsgálati módok ... 27
4.2. Vizsgálatok módszerei ... 28
4.2.1. Állományszintű (szünfiziológiai) széndioxid-gáz és vízgőzcsere mérés ... 28
4.2.2. Léptékfüggő szünfiziológiai vizsgálat ... 30
4.2.3. Mikrometeorológiai vizsgálatok ... 30
4.2.4. Vízhasznosítási hatékonyság (WUE) számítása ... 31
4.2.5. Levélfelület (LAI) becslés ... 31
4.2.6. Talaj víztartalom (SWC) mérés ... 31
4.2.7. Cönológiai vizsgálatok és a fajok funkcionális csoportba sorolása ... 32
4.2.8. Diverzitás vizsgálatok: ... 32
4.2.9. Biomassza vizsgálatok ... 32
4.2.10. Biomassza elemtartalom (C, N, P) meghatározás ... 33
4.2.11. Talaj összC, összN, NO_3^- és NH_4^+ tartalmának meghatározása ... 33
4.2.12. Adatfeldolgozás és statisztikai kiértékelés ... 34
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK ... 35
5.1. Új, állományszintű fluxus mérésekre alkalmas kamrasorozat és kamra kifejlesztése ... 35
5.2. Meteorológiai paraméterek változása a vizsgálati periódus során ... 37
5.3. A CO_2-fluxus, a főbb abiotikus (Tair, PAR) paraméterek, valamint a WUE és a LAI évek közötti és szezonális variabilitása a kamrás gázcsere mérések során ... 40
5.3.1. Bugacpusztai homoki száraz legelő ... 40
5.3.2. Isaszegi löszpusztarét ... 46
5.3.3. Gödöllőre transzplantált löszgyep ... 52
5.4. A CO_2-fluxus abiotikus és biotikus paraméterektől való függésének vizsgálata a manipuláció és az eltérő eltérő időjárású évek függvényében ... 59
5.4.1. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése ... 59
5.4.2. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése ... 63
5.4.3. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának levélfelület függése ... 67
5.4.4. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése ... 70
5.4.5. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának talaj víztartalom függése ... 74
5.5. A maximális fotoszintetikus ráta évek közötti variabilitása gyepállományokban eltérő klimatikus viszonyok között ... 77
5.6. Cönológiai vizsgálatok eredményei ... 79
5.6.1. A fajszám és a diverzitás évek közötti és szezonális eltérései manipulált és kontroll állományokban ... 79

5.6.2. A prezencia-abszencia, valamint a dominancia viszonyok időbeli variabilitása manipulált és kontroll állományokban ... 82
5.6.3. A vizsgált funkcionális csoportok évek közötti és szezonális variabilitása manipulált és kontroll állományokban ... 86
5.7. Produkció vizsgálatok ... 100
5.7.1. Az eltérő kezelésű gyepek és kontroll állományaik primer produkciójának, valamint potenciális növekedési rátájának (PPP) évek közötti és szezonális dinamikája ... 100
5.7.2. Az éves nettó primer produkció (ANPP) időbeli változása ... 107
5.7.3 A csapadékhasznosítási hatékonyság (RUE) időbeli dinamikája ... 108
5.8 A biomassza elemtartalmának rövidtávú változása, továbbá eltérései a kezelések következtében ... 109
5.9 A talaj szén- és nitrogén-tartalmának változása, valamint eltérései a kezelések következtében 116
5.10 Új tudományos eredmények ... 120
5.10.1. Új módszertani eredmények ... 120
5.10.2. Új tudományos megállapítások ... 120
6. KÓVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK ... 123
7.1. ÖSSZEFOGLALÁS ... 125
7.2. SUMMARY ... 127
8. MELLÉKLETEK ... 129
M1 IRODALOMJEGYZÉK ... 131
M2 CÖNOLÓGIAI TÁBLÁZATOK ... 141
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ... 169

1. JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AC (SZMT-nél): agresszív, tájidegen inváziós fajok (Alien Competitors)

ANPP: éves nettó primer produkció (Annual Net Primary Production)

Bug: bugacpusztai vizsgálati objektum

C (SZMT-nél): kompetitorok (Competitors)

C/N: szén-nitrogén arány

CV: Variációs koefficiens (coefficient of variation)

Ch: Chamaephyta (törpecserje vagy kúszó rács-cserje)

DT (SZMT-nél): természetes zavarástűrők (Disturbance Tolerants)

EC: eddy kovariancia (eddy covariance)

ET: evapotranszspiráció

FAB: föld alatti biomassza

FFB: föld feletti biomassza

G (életformáknál): Kryptophyta (gumós, hagymás, gyöktörzses növény)

G (SZMT-nél): generalisták (Generalists)

GHGs: üvegházhatású gázok (Greenhouse Gases)

Göd: gödöllői vizsgálati objektum

H: Hemikryptophyta (tőrózsás, tősarjas, vagy talajfelszín közeli földbeli hajtással áttelelő lágyszárú)

Isa: isaszegi vizsgálati objektum

IRGA: infravörös gázanalizátor (Infrared Gas Analyser)

LAI: levélfelület-index (Leaf Area Index)

M: Phanerophyta (cserje)

N: Nanophanerophyta (félcserje)

NDVI: normalizált vegetációs index (Normalised Difference Vegetation Index)

NP (SZMT-nél): természetes pionírok (Natural Pioneers)

N/P: nitrogén-foszfor arány

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

NUE: nitrogénhasznosulási hatékonyság (nitrogen use efficiency)

PAR: fotoszintetikusan aktív sugárzás (Photosynthetically Active Radiation)

PPP: növényzet potenciális növekedési rátája (Plant Potential Productivity)

Prec: csapadék (Precipitation)

RC (SZMT-nél): ruderális kompetitorok (Ruderal Competitors)

RUE: csapadékhasznosulási hatékonyág (Rain Use Efficiency)

S (SZMT-nél): specialisták (Specialists)

SAVI: talajkorrekciós vegetációs index (Soil Adjusted Vegetation Index)

SD: Shannon-diverzitás (Shannon Diversity)

SZMT: szociális-magatartástípus (Social Behaviour Type)

SWC: talaj víztartalom (soil water content)

Tair: léghőmérséklet (Air Temperature)

Th: Therophyta (egyéves növény)

TH: Hemitherophyta (kétéves növény)

W (SZMT-nél): természetes gyomfajok (Weeds)

WUE: vízhasznosítási hatékonyság (Water Use Efficiency)

2. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Bolygónk szárazföldjeinek mintegy negyedén gyepökoszisztéma a potenciális természetes vegetáció, melynek kb. 20%-át – az Antarktisz kivételével minden kontinensen előforduló – mérsékelt övi gyepek alkotják (IUCN 1999). Európában az összes mezőgazdaságilag művelt terület mintegy 37%-a sorolható a füves élőhelyekhez (VLEESHOUWERS & VERHAGEN 2002). A trópusi és szubtrópusi övben a hőmérsékleti viszonyok lehetővé teszik a vegetáció folyamatos fejlődését, de a mérsékelt övben a téli fagypont alatti vagy közeli hőmérséklet nyugalmi állapotba (dormancia) kényszeríti a növényeket. A kontinentális éghajlaton kialakult gyeptársulásoknál, a nyári aszályos időszakban megfigyelhető egy másik nyugalmi periódus is, melynek oka nem a magas hőmérséklet, hanem a vízhiány következtében fellépő szárazságstressz (ARCHIBOLD 1995). Ebben az időszakban (július-augusztus) a kevés csapadék és magas hőmérséklet okozta sztómazáródás hatására a napi szénmérleg a tavaszinál alacsonyabb értéket mutat. A növények áttelelő szervek segítségével élik túl a kedvezőtlen időszakokat, melyek alatt az életfolyamatok csak lelassulnak, de nem állnak meg. Nyári vízhiány idején a domináns, évelő füvek, párhuzamosan növelik gyökérzetük és csökkentik hajtásuk növekedését, majd nyugalmi állapotba (dormancia) kerülnek, összehajló, pöndörödő levelekkel. A hagymás és gumós fajok a kellően csapadékos időszakokban (nálunk döntően tavasszal, kismértékben ősszel) virágoznak tömegesen, míg a száraz és hideg periódust föld alatti szerveik vészelik át. A sivatagokhoz hasonlóan, csapadékos években gyakoriak a magállapotban áttelelő, rövid életciklusú efemér növények. A többnyire fajgazdag füves élőhelyek niche szegregációjára nemcsak a különböző funkcionális csoportok (pl. életformák és fotoszintézis típusok) együttes jelenléte, hanem eltérő felépítésű gyökérzetük is utal, mely csökkenti a nedvességért vívott kompetíciót (CZÓBEL *et al*. 2007).

A mérsékelt övi füves ökoszisztémák föld feletti biomasszájában – eltérően a mérsékelt övi erdőktől – jellemzően az összes szerves szén kevesebb, mint 1%-a található (BURKE *et al.* 1997). Ennél lényegesen nagyobb a gyökérzetben tárolt organikus szén mennyisége (az élő biomasszában tárolt mennyiség akár kilenctizede is), de legnagyobb széntároló kapacitással a talaj rendelkezik, mely a füves ökoszisztéma összes szerves széntartalmának döntő tömegét (átlag 90%) tárolja. Fentiekből következően csak a légkör-vegetáció-talaj rendszer összes komponensét vizsgáló, integrált megközelítés képes leírni megfelelően a gyepökoszisztémák szénkörforgását. Napjainkig kevés ilyen jellegű, komplex publikáció jelent meg, de a rendelkezésre álló adatok azt igazolják, hogy a vegetáció és a talaj széntartalma jelentősen eltérhet különböző gyeptípusok esetén (REEDER & SCHUMAN 2002). Ez elsősorban klimatikus eltérésekre vezethető vissza, de edafikus tényezők is okozhatják. Eddigi ismereteink birtokában megállapítható, hogy az adott gyeptípus szerves széntartalma az évi csapadékmennyiség növekedésével pozitívan, míg az évi középhőmérséklet emelkedésével negatívan korrelál (pl. BURKE *et al.* 1989).

Különböző alapkőzeten, tengerszint feletti magasságban és kitettségben nálunk is nagy területet borítanak az eltérő fiziognómiájú, struktúrájú és diverzitású gyeptársulások. Kiterjedésük az elmúlt néhány évtizedben jelentősen megnőtt szocio-ökonómiai okok miatt, a korábban művelt területek rovására. Hazánk csatlakozva az Európai Unióhoz vállalta 1 millió hektár mezőgazdasági művelés alatt álló terület hosszú távú felhagyását, ezért a közeljövőben jól prognosztizálhatóan növekedni fog a felhagyott területek aránya (különösen, ha figyelembe vesszük a hazai legelő állatok létszámának alakulásában megfigyelhető trendeket). EU csatlakozásunknak a hazai agrárgazdálkodásra gyakorolt további várható hatása, hogy egyes területeken (kaszálók, legelők) megváltozhat a gyepek tradicionális kezelési intenzítása, így a korábban extenzíven kezelt gyepek egy részén intenzívebb művelés (pl. műtrágyázás, öntözés) várható. Az említett változások nemcsak a gyepek cönológiai viszonyaira és diverzitására hatnak, hanem párhuzamosan megváltoztathatják az adott rendszer C- és N-körforgását, ezáltal befolyásolva a főbb üvegházhatású gázok fluxusait is.

Napjainkban a nemzetközi ökoszisztéma kutatások egyik fő célkitűzése a kulcsfontosságú üvegházhatású gázok (CO_2, N_2O és CH_4) ciklusainak mérése eltérő jellegű élőhelyeken. Ezen üvegházhatású gázok cseréje – annak mennyisége és a CO_2 és CH_4 esetében iránya – a légkörrel eltérő lehet, mivel számos tényező hatásától függ, pl. éghajlat, talaj, növényzet. A füves területek gázcseréjében szerepet játszó három üvegházhatású gáz közül, a szén-dioxidnál a talaj és a vegetáció szerepe döntő, a dinitrogén-oxidot a talajok, míg a metánt a legelő állatok bocsájtják ki, de utóbbi a talajjal is cserélődhet (SOUSSANA *et al*. 2007). Az elmúlt évek országos léptékű, intenzív terepbotanikai kutatása (MÉTA, Natura 2000) révén jól becsülhető a különböző élőhelytípusok (esetenként társulások) magyarországi kiterjedése és eloszlása. Élőhelytípusaink, asszociációink és azok finomabb térléptékű foltjainak állományszintű működéséről – dinamikájáról és a különböző biotikus és abiotikus tényezők hatására kialakult mintázatáról – azonban meglepően kevés ismerettel rendelkezünk. Annak ellenére, hogy a gyepekben végzett szünfenetikai vizsgálatok eredményei szerint a növénytársulások állományainak néhány dm^2-es vagy méteres léptéktartománya az, ahol a legtöbb és leglényegesebb folyamat megy végbe (JUHÁSZ-NAGY & PODANI 1983, NOSEK 1986, PASTOR *et al.* 1996, BARTHA *et al.* 1997). Ugyanakkor éppen ezen térbeli léptéktartományban végbemenő társulásfiziológiai folyamatokról minimálisak az ismereteink, melynek oka elsősorban az ezen folyamatok mérésére alkalmas módszerek hiánya. Az állományszintű szünfiziológiai vizsgálatok növekvő számú hazai és nemzetközi kutatás objektumai, mivel olyan fontos alapadatokat szolgáltatnak, melyek nélkülözhetetlenek a globális klímaváltozás hatására bekövetkező változások megértésében is. A közelmúlt hazai (TUBA *et al*. 2004, NAGY *et al*. 2007b) és nemzetközi (pl. SOUSSANA *et al*. 2007) ökofiziológiai és mikrometeorológiai kutatásai során bebizonyosodott, hogy a vizsgált hazai gyepökoszisztémák – hasonlóan a vizsgált európai füves területekhez és leszámítva az extrém száraz éveket – a talajjal és légkörrel alkotott rendszerben, mint nyelők játszanak szerepet az üvegházhatású nyomgázok cseréjében. Nagy kiterjedésű gyepterületeink tehát jelentős szerepet töltenek be az üvegházhatású gázok (továbbiakban GHG) Magyarországra vetített éves mérlegében, hiszen a döntően a közlekedés és az ipar által kibocsátott GHG egy szignifikáns részét megkötik. Ezért is fontos, hogy minél több hazai gyeptársulás szerepét megismerjük a globális szén- és nitrogén-körforgalomban, valamint különböző manipulációs kísérletekkel felkészüljünk az előrejelzett földhasználati és klimatikus változások funkcionális ökológiai hatásainak predikciójára (CZÓBEL *et al*. 2007). Ezen ismeretek nem csupán alapkutatásként hasznosulnak, hanem segíthetnek nemzetközi környezetvédelmi vállalásaink (pl. Kyotói Jegyzőkönyv) teljesítésében, valamint üzleti lehetőségeink (CO_2-kereskedelem) bővülésében is.

Kutatásunk fő célkitűzéseként két eltérő alapkőzethez köthető, különböző jellegű (fajkészlet, fiziognómia, struktúra stb.) hazai gyeptársulásban – a GreenGrass projekthez /EU 5. keretprogram/ kapcsolódóan – vizsgáltuk három éven keresztül (2002-2004) a legeltetés felhagyásának, valamint a korábban kezeletlen löszgyep extenzív műtrágyázásának, illetve öntözésének az állományok szénkörforgására és növényökológiai viszonyaira gyakorolt hatásait. Munkánk további célkitűzése volt, hogy összekapcsoljuk a szünfiziológiai (állományszintű) működést a vegetáció diverzitásának, cönológiai, texturális és fiziognómiai szerkezetének, produkciójának vizsgálatával. Jelen értekezésben bemutatjuk a vizsgált gyepökoszisztémák diverzitásában, cönológiai és fiziognómiai szerkezetében, főbb funkcionális csoportjaiban, állományszintű működésében (infravörös gázanalizátorral és ún. "kamrás" technikával mért CO_2-fluxus adatok alapján), produkciójában (mennyiségi, minőségi), továbbá a talaj szén- és nitrogén tartalmában, illetve C/N és N/P arányában bekövetkező változásokat. A nem destruktív jellegű állományszintű CO_2-fluxus mérések (beleértve a léptékfüggő vizsgálatot) az általunk kifejlesztett hordozható, víztiszta plexi kamrák segítségével történtek. A több tudományterületet felölelő (pl. meteorológia, botanika, ökofiziológia, talajtan) vizsgálatok párhuzamosan zajlottak a CO_2-fluxus mérésekkel.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A füves ökoszisztémák elterjedése és főbb jellegzetességei

Földünk füves élőhelyei és legelői kb. 3500 millió hektár kiterjedésűek. Ez több mint kétszerese bolygónk szántóterületeinek (VLEESHOUWERS & VERHAGEN 2002). A füves puszták zónájához azokat a mérsékelt övi területeket soroljuk, ahol viszonylag kevés (200-500 mm) csapadék mellett már nem tud fás növényzet kialakulni, a felszínt csak összefüggő fűneműek dominálta vegetáció borítja (PÓCS 1981). Megjelenés szerint törpefüvű és magasfüvű pusztákról, alapkőzetük és talajtani viszonyaik alapján lösz-, homok-, sós (szikes) pusztákról, illetve sziklás területeken előforduló pusztai gyepekről beszélünk. Florisztikai és strukturális különbségek alapján eurázsiai, észak-amerikai és déli félteke formációt különítünk el (ARCHIBOLD 1995).

A füves puszták eurázsiai képviselőit nevezzük sztyeppeknek. A sztyeppzóna Dél-Romániától Dél-Ukrajnán, Dél-Oroszországon, Kazahsztánon keresztül egészen Mongóliáig és Észak-Kínáig húzódik széles sávban. Belső-Ázsia kontinentális éghajlatában több ezer méter magasra felhatol (hegyi és alhavasi sztyeppek a Kelet-Kaukázusban, a Pamírban, a Tien-Sanban, az Altajban és Tibet fennsíkján). Mediterrán jellegű sztyeppterületek vannak az Ibériai-félszigeten, Észak-Afrikában, Anatóliában és Perzsiában is. Főleg edafikus (talajtani) vagy mikroklimatikus okoknál fogva alakultak ki füves puszták a Pannon- és az Erdélyi-medencében, az Alpok esőárnyékos völgyeiben. Az eurázsiai sztyeppek jellemző növényei a pázsitfüvek közül az árvalányhaj (*Stipa* sp.) és a csomós növekedésű csenkesz (*Festuca* sp.), sásfélék közül a *Carex humilis*, hagymás, rhizomás növények közül *Allium*-, *Colchicum*-, *Paeonia*-, *Adonis*-fajok. A sztyeppeken – különösen Belső-Ázsiában – sok pillangós virágú növény él (több száz *Astragalus*-faj). Általában a sivatagi zónával határos, száraz területeken gyakoriak a *Stipa*- és *Artemisia*-fajok dominálta nyílt, törpefüvű és sziklai sztyeppek, míg az északibb, erdőssztyeppekbe átmenő területeken a magasfüvű sztyeppek uralkodnak. Pollenvizsgálatok adatai alapján a füves puszták kiterjesztéséhez és fenntartásához – az erdők rovására – erdőtüzek gyújtásával, földműveléssel és állattenyésztéssel az ember nagymértékben hozzájárult, hasonlóan a szavannazónához (PÓCS 1981, LAVRENKO & KARAMYSHEVA 1992, CZÓBEL 2007).

Észak-Amerikában a füves puszták zónája inkább észak-déli irányban húzódik, és a kontinens csapadékban szegény központi területén kívül Kalifornia- és a Columbia-folyót kísérő száraz völgyekben is jellemző. Az észak-amerikai füves puszták, más néven prérik jellegzetes pázsitfüvei közül az *Andropogon*, *Stipa, Agropyron*, kékgrama (*Bouteloua*) és bivalyfű (*Buchloe*) a fajkészlet kisebb (átlagosan 20%), de a biomassza döntő (90%) tömegét adják. Kétszikűek közül gyakoriak az *Oenothera*- és *Phlox*-fajok (PÓCS 1981, ARCHIBOLD 1995). A prérik csapadékosabb keleti területei magasfüvűek, szárazabb nyugati területeik rövidfüvűek, széles átmeneti zónával. A florisztikai diverzitás dél- és kelet felé növekszik (CZÓBEL 2007).

A déli félteke formációból Dél-Amerikában, az Andok szárazabb keleti oldalán és Argentína területén húzódik a füves puszták zónája, a pampák. Megjelenésük és növényzetük sokban emlékeztet az északon megismert füves pusztákéra, fűféléik közül kitűnik a sok *Stipa*-faj (pl. *Stipa neesiana*), és a többi, főleg az észak-amerikai prérikkel azonos nemzetség. Sok a mi füves pusztáinkon is gyakori, de más fajú iringó (pl. *Eryngium eburneum*), míg a pampának déli jelleget ad az *Eriocaulon* (*Eriocaulaceae*) tömeges előfordulása. Hűvösebb, enyhe telű, viszonylag száraz klímában fejlődik a xerophyta tussock-vegetáció. Habitusa az Andok punanövényzetére emlékeztet. Magas pázsitfüvek alkotják (pl. *Stipa trichotoma*, *Botriochloa*-, *Panicum*-, *Festuca*- és *Papsalum*-fajok) zsombékszerűen növő csomóit, melynek közepén fejlődnek – a kemény, sárguló levelek tömegétől védett – friss levelek (PÓCS 1981, ARCHIBOLD 1995). Legtipikusabban Patagóniában és a déli félgömb óceánjainak fátlan szigetein fejlődött ki, de megtaláljuk Új-Zéland szigetén és Ausztrália DK-i részén csakúgy, mint a gyakran mérsékeltövi erdőkbe ágyazott zárt füvű vegetációtípust. Dél-Afrika keleti részén, a száraz

magasföldek jellemző füves élőhelye a grassveld, *Eragrostis*-, *Digitaria*-, *Aristida*- és *Panicum*-fajokkal (CZÓBEL 2007).

A füves ökoszisztémák általános jellemvonásait néhány kiválasztott, összefoglaló jellegű publikáció alapján tekintjük át. A mérsékelt övi füves puszták közös jellemvonása, hogy a rendszeres tűz- és legelési stressz visszaszorította a fákat, melyek ellen a növények földalatti raktározó szerveikkel és gyakran ún. tőhajtás kifejlesztésével védekeznek. A rövid hajtástengelyű tőhajtás alig nyúlik a talajszint fölé (pl. *Stipa-, Koeleria-, Festuca*-fajok), emiatt az akár 3-4 évig élő képlet folyamatosan védve van a legeléstől, továbbá az új levelek folyamatosan képződhetnek a szárcsúcson. Egyes rhizomás és tarackos fajok klonális növekedéssel, egész gyepet/gyepfoltokat (pl. *Carex humilis, Chrysopogon gryllus, Festuca* sp.) képezhetnek. A rügyet a téli fagyoktól a hó és az elszáradt levelek szigetelése védi, ezért a legtöbb fagyási sérülés tavasszal – a vegetáció fiziológiai aktivitásának kezdetén, a szövetek nedvkeringésének jelentős emelkedésekor – figyelhető meg. Sok fajra jellemző a mélyre hatoló gyökérzet, mely pázsitfűvek esetén akár 1,5-1,8 m mélyre hatol, míg egyes kétszikűek 5-6 m mélyre lenyúló karógyökerekkel rendelkeznek (LAVRENKO & KARAMYSHEVA 1992, ARCHIBOLD 1995, CZÓBEL 2007). A vegetációnak kettős nyugalmi állapota van, a téli hideg és a nyári szárazság idején. Utóbbit nem a magas hőmérséklet, hanem a vízhiány idézi elő. A füves puszták életfeltételeihez legjobban a pázsitfűvek családjába tartozó többnyire önbeporzó, évelő növények alkalmazkodtak, de tömegesek lehetnek a sásfélék és a széleslevelű kétszikűek is (PÓCS 1981). Az itt élő növényfajoknak különböző túlélési stratégiákat kellett kifejleszteni az aszályos időszak átvészelésére. A nyári szárazságstressz alatt a csökkenő fiziológiai aktivitással – melynek része a fehérjeszintézis gátlása, valamint a tartalékok allokációjaként a keményítő fokozódó bontása – párhuzamosan kevesebb, kisebb méretű és vékonyabb levelek fejlődnek, valamint az idősebb levelek lehullanak. Aszály idején az évelő fűvek párhuzamosan növelik gyökérzetük és csökkentik hajtásuk növekedését, majd összehajló, pöndörödő levelekkel nyugalmi (dormancia) állapotba kerülnek. Pázsitfüveknél a nyári szárazságstressz túléléséhez nélkülözhetetlen a föld alatti képletekben (rhizóma, illetve tarack) felhalmozott jelentős szénhidrát rezervoár (ARCHIBOLD 1995). A hagymás és gumós liliomfélék, boglárkafélék az esős tavaszi és őszi időszakban virágoznak tömegesen, a száraz és hideg időszakokat föld alatti szerveikkel vészelik át. A sivatagokhoz hasonlóan elég gyakoriak a magállapotban áttelelő efemér növények, főleg a *Chenopodiaceae* családból (PÓCS 1981). A fajok niche szegregációjára nemcsak a különböző életformák és fotoszintézis típusok együttes jelenléte, hanem eltérő felépítésű gyökérzetük is utal, mely csökkenti a nedvességért zajló kompetíciót. C_3-as fotoszintézis típusú növények számára a 45º szélességi körnél magasabb szélességek klimatikus viszonyai kedvezőek, míg a döntően trópusi, szubtrópusi területekről szétterjedő C_4-es növények többsége a 45º-nál alacsonyabb szélességű füves élőhelyeken jellemző, mivel sok C_4-es taxon hajtása alacsony hőmérsékleti stressz esetén (0-10ºC körül) sérül. A herbivora emlősök diverzitása jelentősen hozzájárult a füves élőhelyek elterjedéséhez (ARCHIBOLD 1995, CZÓBEL 2007).

3.2. Gyepállományok ökológiai és ökofiziológiai kutatásainak rövid összefoglalása

A gyepek ökológiai és ökofiziológiai vizsgálatával több tucat hazai és számos (több ezer) és egyben exponenciálisan növekvő számú nemzetközi publikáció foglalkozik, ezért – és egyben terjedelmi korlátok miatt – ebben a fejezetben csak a doktori értekezés témaköréhez leginkább kapcsolódó kutatásokat foglaljuk össze.

3.2.1. Hazai kutatások

A hazai növénytársulások *in situ* ökofiziológiai vizsgálatainak döntő többsége levélszintű (autökofiziológiai) jellegű volt, melyek közül FEKETE (1972), FEKETE & TUBA (1977), DRASKOVICS (1979), SUBA & LÉGRÁDY (1985), MÉSZÁROS (1984, 1988), BÉRES *et al.* (1998) vizsgálatai a hazai erdőállományok működésének jobb megértéséhez járultak hozzá. A hazai gyep-ökofiziológiai kutatások Fekete Gábor és Précsényi István vezetésével (pl. FEKETE *et al.* 1976, FEKETE *et al.* 1980) a múlt század 70-es éveiben kezdődtek a Vácrátót külterületén található, extenzíven legeltetett, nyílt homokpusztagyepben (Tece). A korai kutatások nemcsak az ökofiziológia (FEKETE & TUBA 1982), hanem a produkcióbiológia (pl. KOVÁCS-LÁNG & SZABÓ 1973, MOLNÁR & NOSEK 1979), a niche-ökológia (FEKETE *et al.* 1976, FEKETE *et al.* 1980) és a vegetációdinamika (VIRÁGH 1987a, MATUS & TÓTHMÉRÉSZ 1987) területén is új eredményekkel szolgáltak. Gyepállományok közül löszpusztagyepekben (köztük az általunk is vizsgált *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* löszpusztaréten), valamint homokpusztagyepeken végzett munkákból a teljesség igénye nélkül VERSEGHY & KOVÁCS-LÁNG (1971), KOVÁCS-LÁNG (1975) *et al.* (1989), NAGY és HORÁNSZKY (1980), TUBA (1984), TUBA *et al.* (1996) ALMÁDI *et al.* (1986), KALAPOS (1989, 1994), NAGY *et al.* (1994, 1998), FEKETE *et al.* (1995) és MARSHALL (1998) publikációit említjük meg. Az általunk is vizsgált bugacpusztai legelő közelében KALAPOS (1994) és munkatársai (KALAPOS *et al.* 1997) az egyes fajok vízgazdálkodási jellegzetességeit és fotoszintetikus teljesítményét vizsgálták és határozták meg. A 90-es évek közepétől Précsényi István vezetésével a Kossuth Lajos Tudományegyetem (most Debreceni Egyetem) kutatói vizsgálták a nyírségi homoki gyepek ökológiai és ökofiziológiai folyamatait (PRÉCSÉNYI *et al.* 1990, PRÉCSÉNYI & MÉSZÁROS 1997). Ezen kutatások a – bugacpusztai legelőhöz hasonló textúrájú és struktúrájú – *Potentillo-Festucetum pseudovinae* homokpusztagyep társulás különböző mértékben záródó, illetve degradált állományaiban folytak (MÉSZÁROS & VERES 2006). Az ökológiai kutatások közül MATUS *et al.* (2003) a homoki növényzet másodlagos szukcesszióját, valamint a talaj magbank készletét tanulmányozták egy korábban legeltetett, de már felhagyott homokdüne különböző térszínein. Az akác által nem fertőzött homoki vegetáció fajkompozíciója közepes mértékben változott meg a felhagyás óta. Két magas termetű pázsitfűfaj (*Elymus hispidus, Poa angustifolia*) jelentősen megnövelte a borítását az egyéves és az alacsony termetű évelő taxonok rovására. Az akác által kolonizált területekről a homoki legelő legtöbb faja eltűnt és helyüket nitrofil taxonok foglalták el. A vizsgált düne alacsonyabb térszínein valamivel nagyobb fajszámot és magbank sűrűséget tapasztaltak, mint a magasabb területeken. Egy másik, 7 éves kutatás (MATUS *et al.* 2005) a *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* – jelen doktori értekezés egyik objektumaként is szereplő – társulás házi lúdak által túllegeltetett, illetve szárnyasok által nem (de szarvasmarhák által elvétve) legelt, ún. kontroll területét hasonlította össze a vegetációdinamikai folyamatok és a talaj magbank készletének változása szempontjából. A növényfajokat és a talaj magkészletét tekintve egyaránt szignifikánsan szegényebb kontroll állományban tavaszi egyévesek és évelők domináltak. Utóbbi csoport növekvő térnyerése és egyben dominanciája a túllegeltetett gyepben is megfigyelhető volt, akárcsak a nyári egyéves taxonok tömegessége. Az intenzíven legelt állományban a fajszám csökkenése is megfigyelhető volt, akárcsak a fajszám nagyobb szezonális és évek közötti eltérése a kontrollhoz képest. A kutatók a növényzet regenerációja kapcsán az évelő fűfélék lassú terjeszkedését tapasztalták, míg a túllegeltetett terület sűrűbb és gazdagabb magbankját egyrészt a növényzet ismétlődő zavarásokhoz történő adaptációjával, másrészt a libák intenzív propagulum-szórásával magyarázták. A felvehető tápanyagok mennyiségét vizsgálva sem időbeli, sem pedig – meglepő módon – a vizsgált állományok közötti eltérést nem tapasztaltak. Az ökofiziológiai vizsgálatok fő cékitűzése a szélsőséges termőhelyi feltételek fluktuációjával összefüggő növény-ökofiziológiai viselkedések és alkalmazkodások megismerése volt, elsősorban a fotoszintetikus apparátus összetételét és aktivitását jellemző paraméterek vizsgálatán keresztül (MÉSZÁROS *et al.* 1996, MÉSZÁROS & VERES 2006, VERES *et al.* 2006). A kutatások eredményeként megállapították, hogy a

homokpusztagyepben eltérő dominanciával jelenlévő és morfológiailag is különböző fajoknál a levelek szárazanyagra vonatkoztatott klorofill és össz-karotinoid tartalma a vegetációs időszakban széles intervallumban változott és jelentős interspecifikus eltéréseket mutatott. A levelek klorofill tartalma csökkent a növekedési szezon előrehaladtával, de a veszteség mértéke összefüggött az időjárási viszonyok évek közötti eltéréseivel. A vizsgált taxonok leveleinek összkarotinoid tartalma tavasszal magasabb volt az egyszikűeknél, mint a kétszikű fajoknál. A vizsgált fajoknál a karotinoid összetétel rendkívül plasztikusan követte a fellépő abiotikus faktorok erősségét és fontos szerepe volt a fotoszintetikus apparátus fényvédelmében. Az abiotikus stressztényezők erősödésével a xantofill ciklus védelmi szerepe – szezonálisan és napszakosan egyaránt – mindegyik fajnál fokozatosan előtérbe került, ami hosszabb távon érintette a xantofill ciklus teljes pigment készletének a nagyságát, illetve az egyes komponensek részarányát is (MÉSZÁROS & VERES 2006, VERES *et al.* 2006).

Hazai gyom és termesztett növényállományokon, illetve ezek kevert állományain NAGY *et al.* (1993), és SZENTE *et al.* (1993a, 1993b) végzett már részben egyed, illetve állományszintet is érintő vizsgálatokat, míg vízi vegetációban CZÓBEL *et al.* (2005a) az általa kifejlesztett úszó sziget segítségével, nyílt rendszerű kamrás technikát alkalmazva kezdte el az állományszintű szünfiziológiai vizsgálatokat. A kiskunsági nyílt homokpusztagyep hosszabb távú, levélszintű fluxus és állományszintű produkció vizsgálatai révén a gödöllői kutatócsoport (TUBA *et al.* 1998) már számos, a szünfiziológiai regulációra utaló megállapítást tett közzé. A hazai szünfiziológiai kutatások gyökerei azonban az előbb említett vizsgálatnál több évtizeddel korábbra nyúlnak vissza. A korai IBP és MAB projektekhez kapcsolódó levélszintű vizsgálatok közül néhány már a társulásszintű, szünfiziológiai működés első megállapításaihoz járult hozzá. FEKETE & TUBA (1977) erdőtársulásban kísérletesen bizonyította a szupraindividuális fotoszintetikus pigment-homeosztázist, mely szerint a fajokban és egyedekben igencsak variabilis fotoszintetikus pigmentkoncentráció társulásszinten lerögzített, uniform. Vegetációdinamikai szempontból is lényeges felismerés volt, hogy a társulás fiziológiai működésének, pl. a fotoszintetikus CO_2-asszimilációjának szupraindividuális szintű lerögzítettsége és szabályozottsága a szukcesszió előrehaladtával fokozódik (FEKETE *et al.* 1988).

Az első hazai állományszintű szünfiziológiai vizsgálatokat (magába foglalva a különböző méretű növényzettel borított állományfoltok CO_2-fluxus és vízgőzcsere mérését) korábbi kutatásaikra alapozva Tuba Zoltán és munkatársai 1999-ben kezdték el a Szent István Egyetem Növénytani és Ökofiziológiai Intézetében (korábban GATE, majd SZIE Növénytani- és Növényélettani Tanszék), a „Szünfiziológiai folyamatok léptékfüggése fátlan növénytársulásokban” elnevezésű, négyéves OTKA pályázat keretében. Kutatásuk fő motivációja annak a ténynek a felismerése volt, hogy az infraindividuális (levél/egyed) és tájlépték közötti térbeli tartományba eső társulásfiziológiai folyamatokról meglepően kevés ismerettel rendelkezünk (EHLERINGER & FIELD 1993). Mindezek mögött méréstechnikai, módszertani okok álltak, mely tényezőknek messzemenő hatása és következménye volt a növényi társulásfiziológia egészének a fejlődésére és több évtizedes stagnálására (MOONEY 1991, BAZZAZ 1996). A gödöllői kutatócsoport szemléletében és technikájában egyaránt új, szünfenetikai léptékeket lefedő, térbeli léptékfüggő mérésekre alkalmas kamrasort (7,5 és 240 cm közötti átmérővel, bővebben LD. az „Eredmények és értékelésük” c. fejezetben) fejlesztett ki (CZÓBEL *et al.* 2005c). Ezen, a szünfiziológiai minimum area megállapítására is alkalmas kamrákkal vizsgálták az állományfiziológiai válaszok térbeli léptékfüggését, továbbá lösz-, homokpusztagyep, és gyomvegetációban az egyes állományfoltok döntően térbeli-, részben időbeli heterogenitását. Mindhárom gyeptársulás vizsgált foltjaiban mérték az állományok szénmérlegét, vízgőzcseréjét, fotoszintetikus aktivitását és légzését, a mikrometeorológiai adatok rögzítésével, valamint a LAI becslésekkel párhuzamosan. Az eltérő fajkészletű, textúrájú, fiziognómiájú és diverzitású lösz-, és homokpusztagyepre, illetve gyomvegetációra kiterjesztett állományszintű, szünfiziológiai munka többek között bebizonyította, hogy ezen növényközösségek CO_2-asszimilációjának variabilitása egyértelműen térbeli léptékfüggést mutat, amely egyfajta jellegzetes léptékű szünfiziológiai minimi-area létére utal. Időbeli variabilitásra vonatkozó kutatásuk egyben az első eredményeket szolgáltatta a hazai és egyben mérsékeltövi lösz- és

homoki gyepek napi, szezonális és évek közötti CO_2-fluxusairól és szénmérlegeiről (CZÓBEL *et al.* 2004, SZERDAHELYI *et al.* 2004a, SZERDAHELYI *et al.* 2004b, BALOGH *et al.* 2005, CZÓBEL *et al.* 2005c).
Több hektáros, növényzettel fedett felszín vízgőz, hő, CO_2 és egyéb gázok momentán fluxusainak vizsgálatát hazánkban először Haszpra László és munkatársai kezdték el 1994 szeptemberében (HASZPRA & BARCZA 2005). Az őrségi Hegyhátsál közelében elhelyezkedő TV-adótornyon eddy kovariancia technikával történő mérések 1997-től folyamatosan rögzítik a meglehetősen mozaikos – kaszált gyepek, telepített erdők és mezőgazdasági kultúrák által dominált – vegetáció NEE-jét. Az eddig eltelt időszak éves szinten negatív NEE értékei (-34 – -84 gC m^{-2}) azt jelzik, hogy a vegetáció saját kibocsátásánál több szén-dioxidot vesz fel, azaz magába építi a fosszilis tüzelőanyagok égetése során a levegőbe kerülő szén-dioxid egy részét is. Ugyanakkor a folyamat nagyon érzékeny az éghajlati viszonyokra, melyet az is jelez, hogy a 2003-as meleg és száraz esztendőben a vegetáció + talaj rendszer nettó szén-dioxid forrássá vált /+68 gC m^{-2}/ (HASZPRA 1995, HASZPRA & BARCZA 2005). Bugacpusztán a homoki legelőn 2002. júliusától (NAGY *et al.* 2007b), míg a Mátrában Szurdokpüspöki közelében egy cseres tölgyessel határolt felhagyott legelőn, illetve részben felülvetett gyepben 2003. májusától (TUBA *et al.* 2004, PINTÉR *et al*. 2007) történik folyamatos EC mérés a SZIE Növénytani és Ökofiziológiai Intézetének munkatársai révén, nemzetközi (pl. CarboEurope-IP, NitroEurope-IP) és hazai projektek finanszírozásával. A bugaci gyep éves NEE összege 2003-ban +17 gC m^{-2}, 2004-ben -270 gC m^{-2} (NAGY *et al.*, 2007b) volt, míg a mátrai fűfelszíné 2004-ben -35 gC m^{-2} lett (PINTÉR *et al.* 2007). Mindkét vegetációban általában március közepétől október közepéig a fűfelszínek szén-dioxid cseréjének napi összegei negatívak voltak, tehát szén-dioxidot vettek fel a légkörből. A szén-dioxid megkötés intenzitása azonban évek közti változékonyságot mutatott. 2003-ban, az extrém meleg és száraz évben napi szinten fele annyi szén-dioxidot vett fel, mint a többi vizsgált esztendőben. A mátrai gyep a bugacinál kisebb mennyiségű szén-dioxidot vesz fel, annak ellenére, hogy a csapadékviszonyok a mátrai mérőhely esetében a kedvezőbbek. A bugaci és mátrai vegetációk viselkedése közötti másik nagy különbség, a nyár közepén történő kiszáradás, valamint az azt követő regeneráció megléte vagy elmaradása. Ezen folyamatokat, az átlaghőmérsékleten és a lehullott csapadék mennyiségén kívül a mérőhelyek talajviszonyai és a vegetációt alkotó gyepfajok szárazságtűrése is befolyásolja. A bugaci homokos talajon már kevesebb csapadék is jelentősen növelte a növényzet számára felvehető vízkészletet, míg a mátrai agyagos talajon ehhez ennél lényegesen nagyobb mennyiségű csapadékra volt szükség. A vegetációs időszakban csapadékhullás után megnőtt a respiráció, aminek következtében akár a legintenzívebb szénfelvételi időszak közepén is előfordult, hogy egyes napok nettó szénmérlege pozitív volt, vagyis jelentős mennyiségű szénleadás történt. Ez a folyamat mindkét állomány esetében megfigyelhető, akárcsak az, hogy az NEE éjszakai hőmérséklet- és nappali fényfüggését negatívan befolyásolta a szárazságstressz (PINTÉR *et al.* 2007).

Hazánkban is több manipulációs kísérletet végeztek eddig gyeptársulásokban. A szünbiológiai vizsgálatok közül VIRÁGH (1982, 1992a,b) egy fajgazdag löszgyeptársulásban többek között egyszikűekre és kétszikűekre szelektív levélherbicideket alkalmazott, hogy tanulmányozza a gyepben a zavarások hatására történő fajkompozíciós, texturális és strukturális változásokat és a vegetációdinamikai folyamatokat (VIRÁGH *s. a.*). Az uralkodó és tömeges egyszikűek kiírtását követően nagy üres földfelszínek váltak szabaddá, amelyeket először a túlélő kétszikűek közül néhány vegetatívan gyorsan terjeszkedő, főként ruderális faj foglalt el. Az évelő füvek csak lassú visszatelepedésre voltak képesek. A szubordinált kétszikű fajok kiirtása után a sűrű állományban viszonylag kisebb szabad földterületek keletkeztek. Ezeket az egyszikűek gyorsan betöltötték, akadályozva ezzel a kétszikűek gyors visszatelepedését (VIRÁGH 1994). A folyamat sebességét elsősorban az határozta meg, hogy a) a túlélő egyedek milyen gyors és milyen mértékű terjeszkedésre voltak képesek, ill. b) a magról szaporodó, valamint a szomszédos területekről benyomuló fajok milyen gyorsan tudták betölteni a felszabadult üres, nyílt foltokat. Az egyszikűek dominanciájával

jellemezhető négyzetek sokkal rezisztensebbek voltak a természetes diszturbációkkal (aszály) szemben, és kisebb volt a visszaálló képességük, mint a kétszikűek uralta négyzeteké. A sterilizált talajon végbemenő primer szukcesszió alatt a visszaállás folyamata gyorsabb volt, mint a tipikus lokális másodlagos szukcesszió (a növényzet teljes elpusztítása) esetében. Annak ellenére, hogy a szukcesszió módja és sebessége az egyes kezeléseknél eltérő volt, a vizsgált kis kiterjedésű területen 9-10 év alatt a zavart állomány a beavatkozások minőségétől, erősségétől és gyakoriságától függetlenül képes volt újra elérni az eredetihez hasonló cönológiai állapotát (VIRÁGH 1989a, 1991, 2000). A dombvidéki sztyepptársulás (*Pulsatillo-Festucetum rupicolae*) 9 évi dinamizmusának vizsgálata rámutatott a háborítatlan, kontroll asszociáció erőteljesen kifejezett nyári - őszi szezonális dinamikájára, s az évek közötti jelentős populációdinamikai fluktuációra (VIRÁGH 1989b, 1992b). A változásokat döntő mértékben az eltérő időjárású évek heterogenitása befolyásolta. A társulás az erős aszállyal szemben rezisztensnek bizonyult. A dinamikusan stabil állapotát jól jelezte az időbeli cönológiai hasonlósági értékek (VIRÁGH 1986, 1987a, 1987b) és a vizsgált jellemzők (a növényzet összborítása, fajgazdagsága, a diverzitás és evenness értékek, a fajok dominanciasorrendje) viszonylag szűk tartományon belüli ingadozása. Bekerítés hatására, a gyep számára fontos természetes lokális zavarások megszüntetésével, a kontroll négyzetekben egyrészt egy fokozódó elfüvesedési tendencia, másrészt az egyszikű fajok populációinak elöregedése volt tapasztalható. A kontroll négyzetekben 9 év múlva kis mértékben megnőtt a *Festuca pseudovina* mennyisége a *Festuca rupicola* kárára, melynek oka az előbbi taxon sokkal magasabb netto fotoszintézis és lényegesen jobb vízhasznosítása volt. Ez a fiziológiai különbség az aszályos évek hatására megváltozott biotikus körülmények között is nagyobb életképességet jelentett a *Festuca pseudovina* számára (VIRÁGH 2000). A kísérlet eredményei arra is felhívták a figyelmet, hogy mennyire fontos a zavarásokat követő vegetációdinamikai változások és a visszaállás mértékének jellemzésében a kontroll állapot dinamizmusának ismerete, ill. annak referenciaként való használata az összehasonlító terepkísérletekben. Másrészt jelezték a természetes zavaró hatások szükségességét a cönológiai és dinamikai állapotok fenntartásához (VIRÁGH *s. a.*). VIRÁGH & BARTHA (1996) terepkísérletekkel bizonyították, hogy míg a közel természetes cönológiai állapotú, évtizedeken keresztül alig legelt, dinamikusan stabil állapotú löszgyeptársulásban a bekerítés 9-10 év alatt is csak csekély mértékű florisztikai és szerkezeti változásokat idéz elő, a korábban folyamatosan legeltetett degradált állományban a bekerítés, és ezáltal a legelés kizárása (zavarás) már 3 év alatt drasztikus fajszám-, borítás- és fitomassza csökkenést és jelentős cönológiai eltéréseket okozott. A legelés hiányában itt a fitomassza felszaporodása 3 év alatt a nagytömegű avar miatt negatív visszacsatolás révén csökkenti önmagát, és idézett elő szignifikáns fitomassza csökkenést. Az újralegeltetéses kísérletek alapján világossá vált, hogy a társulások fajgazdagságának és fajkompozíciójának hosszú távú fenntartásához és folytonos megújuló képességének biztosításához a viszonylag érintetlen, cönológiailag stabil állományban a normális természetes zavarások, míg a korábban folyamatosan, szabályos intenzitással legeltetett állományban a további mérsékelt legeltetés biztosítása szükséges (VIRÁGH & BARTHA 1996). Az elmúlt évtizedekben természetvédelmi szempontból is egyre fontosabbá váltak a gyepállományok leromlására (degradáció) irányuló vizsgálatok. Degradáció a normális természetes zavarásoknál erősebb diszturbációkra következik be és a fiziognómiai struktúra megváltozása, a fajkompozíció jelentős átalakulása (pl. az uralkodó pázsitfüvek dominancia sorrendjének átrendeződése, a szubordinált fajok csökkenése, a ritka fajok eltűnése és a zavarásokkal szemben kevésbé érzékeny fajok elszaporodása), esetenként a koegzisztenciális szerkezet teljes összeomlása jellemzi. A degradáció sebességét egy állomány cönológiai és dinamikai állapota, szervezettsége, a táji vegetációs mintázat, ill. az elérhető propagulumkészlet határozza meg (VIRÁGH *s. a.*, VIRÁGH & FEKETE 1984). ZÓLYOMI & FEKETE (1994) kimutatták, hogy a leromlási sor minősége és hossza a zonalitási helyzetnek és a vizsgált vegetációtípus szomszédsági viszonyainak függvénye, a leromlás cönostátuszait pedig a helyi flóra ruderális fajkészletre való fogékonysága, azaz a társulás rezisztencia képessége minősíti. A degradálódás hátterében a termőhely leromlásai, döntően a talaj egyre rosszabb vízgazdálkodása áll

(ZÓLYOMI & FEKETE 1994, KOVÁCS-LÁNG 1992, KOVÁCS-LÁNG *et al.* 1995). A cönológiai degradáció jelentős ökofiziológiai módosulást is jelent. Megváltozik a gyepben uralkodó fotoszintézis típus (C_3-ról C_4-re), a szénasszimiláció intenzitása és időbeli ritmusa, valamint a fotoszintetikus vízhasznosítás hatékonysága is (NAGY *et al.* 1994, SZENTE *et al.* 1996). A löszgyepekben zavarás (hosszan tartó, intenzív legeltetés) hatására tömegessé válik a *Bothriochloa ischaemum*, mely belső invádorként jelentős strukturális változásokat okoz. A leromlott abiotikus körülmények között a *Bothriochloa ischaemum* számára a C_4-es fotoszintézis mechanizmusából adódó jobb vízhasznosítása jelent kompetitív előnyt a *Festuca rupicola*-val szemben (VIRÁGH *et al.* 1995).
Az elmúlt évek hazai szünbotanikai vizsgálatai új léptékben (mikroskála) is megerősítették, és egyben gazdagították a vegetáció zavarás hatására adott válaszairól eddig rendelkezésre álló ismereteinket. BARTHA (2004) terepi adatok és JUHÁSZ-NAGY (1980) által a biológiai komplexitás reprezentálására alkalmas információelméleti modellek felhasználásával vizsgálta a gyepek florális diverzitását és kis térléptékű szerkezetét. Feltételezte, ha egy növényközösséget zavarás ér, akkor először a finom térléptékű együttélések szerkezete bomlik fel, a vegetáció mozaikossá válik. A modellezés eredményeként kiderült, hogy degradáció során a fajkombinációk diverzitásának csökkenése és a maximális diverzitáshoz tartozó karakterisztikus skála nagyobb térléptékek felé való eltolódása következik be. Egy szukcessziós folyamatban, amikor a társulás regenerálódik a degradációval ellentétes irányú folyamat játszódik le. A növekvő emberi zavarás és növekvő ariditás hatására nemcsak a florális diverzitás, hanem a társulások koordináltsága is csökken, ami közvetve jelzi a szabályozási, önfenntartó és önreprodukáló mechanizmusok gyengülését (BARTHA 2004).
A VULCAN elnevezésű, klímaváltozás hatását kisérletesen vizsgáló EU 5-ös projekt keretében a vácrátóti ÖBKI munkatársai egy kiskunsági cserjés ökoszisztémában takarással szimulálták a melegedés és csapadékkizárással a szárazodás hatását. A kezelések hatását többek között a növényzetben, a talajban és a talajoldatban bekövetkezett változások rendszeres monitorozásával követték nyomon 2000 és 2004 között. Magyarországon az erdőssztyepp 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).
A Tuba Zoltán vezette gödöllői kutatócsoport több EU-s pályázat keretében OTC és MiniFace kamrákba transzplantált homok- és löszvegetációban folyó kutatások eredményeiből prognosztizálta az emelt légköri CO_2-koncentráció (700 ppm) várható hatásait gyepekre (pl. TUBA 2005, NAGY *et al.* 2007a). Rövid expozíciók esetén (a fajtól függően néhány hónapos, egy-két éves) általában a pozitív válasz volt jellemző a levélszinten vizsgált növényfajok túlnyomó többségében, az emelt CO_2-koncentráción nevelt növények fotoszintézis-[CO_2] görbéje magasabbra futott, mint a kontroll növények esetében. Ez a növekedés és egyben a produkció fokozódásával járt együtt. Hosszabb expozíció után (öt éves) azonban a fajok egy részénél lefelé módosult (leszabályozás) a válasz, azaz a kezelt és a kontroll növények hasonló lefutású görbét mutattak, más részüknél viszont a fenntartott pozitív akklimatizációs visszacsatolás volt jellemző. A szárazanyag produkció-mennyisége akár csökkenhet is, emelkedés pedig csak többlet N-bevitel mellett tapasztalható (TUBA 2005). A homok- és löszpusztagyepi fajoknál a kapott eredmények nem különböztek, azaz függetlenek voltak a gyep típusától, ellenben eltértek attól függően, hogy a vizsgált taxon mely funcionális csoportba tartozott. Az egyszikűek ugyanis a fotoszintézis leszabályozását, a kétszikűek pedig a hosszabb időtartamon át is fenntartott pozitív akklimatizációt mutattak. Miután a két talaj tápanyagellátottsága erősen különbözik, a válaszok hasonlósága a két gyep esetében inkább köthető a megemelt szénhidrát-szint általi visszacsatolás jelentkezéséhez (fűfélék) vagy annak elmaradásához (kétszikűek), mint a P-hiányhoz.

Azaz a kétszikű fajok esetében a raktárak (pl. a gyökérrendszer) nagyobb kapacitásuk révén hosszú expozíció után is alkalmasak voltak a többlet szénhidrát-tartalom hasznosítására, míg a fűfajok esetében nem. A kétszikű fajok a levél, illetve a hajtás növekedése szintjén is kedvezőbben reagáltak, mint az egyszikűek, mivel a vizsgált taxonok összetett levélszerkezete plasztikusabb válasz lehetőségét biztosította. A termesztett növények esetében általánosan tapasztalthoz hasonlóan jó csapadékellátású évben az emelt CO_2-szint a sokfajú gyepvegetáció esetében is növelte az egységnyi földterületre eső biomassza mennyiségét, bár nem szignifikáns mértékben. Szárazságstressz alatt nem volt különbség a kezelések között (NAGY *et al*. 2007a).

3.2.2. Nemzetközi kutatások

3.2.2.1. Növényállományok CO_2-fluxus mérése, valamint mérsékeltövi gyepvegetáció szénmérlege

A vegetációkutatásban napjainkban elterjedt makroléptékű vizsgálatok, több km-es vagy ennél is sokkal nagyobb térléptékű szint fiziológiai működésének vizsgálatára használható technikák eredetileg más tudományágak, így a légkörfizika és meteorológia részére lettek kifejlesztve. Ezért elsősorban – jellegüknél fogva – a növénytársulások legnagyobb térbeli léptékében zajló fiziológiai folyamatainak a vizsgálatára alkalmasak csupán (SCHIMEL 1993). Ilyen módszer a vízgőz, hő, CO_2 és egyéb nyomgázok momentán fluxusainak, illetve turbulens kicserélődésének "eddy (örvénylő) kovarianciával" (EC) hosszú időtartamon keresztüli mérése a társulás és a légtér határán, mely az egész ökoszisztéma fiziológiáját, azaz a növényzet, a talaj és az állatok közös válaszeredőjét méri (MONTEITH & UNSWORTH 1995). Hátránya, hogy nagyon költséges, nem használható kisléptékű, heterogén növényzeti foltok/állományok egzakt vizsgálatára, valamint egyes időjárási (pl. szélcsend) és topográfiai (jelentős relief különbség) körülmények között. A társulások, sőt tájak és régiók produkciójának mérésére használható modern, távérzékeléses (pl. GIS, NDVI) módszerek (LOVELAND *et al.* 1991, DAVIS *et al.* 1992) eredményei kapcsolatba hozhatók a szünfiziológiai működéssel, de mivel azok többnyire csak a fiziológiai működés végeredményét, a produkciót mérik, ezért a szünfiziológiában csak korlátozottan alkalmazhatók. Ráadásul ezen módszerek térbeli léptéktartománya nem szűkíthető, ezért az egyed és makro társulásegyüttes közötti térbeli tartományokban nem használhatók.

Az EC rendszer kiépítésénél és üzemeltetésénél lényegesen olcsóbb, zárt vagy nyílt rendszerben működtethető kamrás technikák egyaránt és egyedül alkalmasak a térbeli variabilitás és CO_2-gázcsere dinamikájának kis térléptékű vizsgálatára (ANGELL *et al.* 2001). Ennek oka a botanikai kompozíció, ezen belül is a különböző méretű foltok mozaikos elrendeződésű mintázata, mely a legtöbb gyepvegetációra jellemző (CZÓBEL *et al.* 2005c). Az infravörös-gázanalizátorral együtt használt kamrás metodika nemcsak egyszerű és gyors méréseket tesz lehetővé, de a mikrometeorológiai módszerekhez (mint pl. EC és grádiens technika) hasonló eredményeket is szolgáltat (NORMAN *et al.* 1997, DORE *et al*. 2003, BALOGH *et al.* 2007). A megfelelő paraméterekkel felvértezett és a szükséges technikai és egyéb kritériumoknak eleget tevő kamrák (ŠESTÁK *et al.* 1971) alkalmasak állományszintű CO_2-gázcsere mérésre, a módszer néhány közismert hátránya ellenére /pl. kamra hatás (LD. pl. WELLES *et al.* 2001), többnyire nem alkalmasak fás vegetáció vizsgálatára, a kamrák többségénél nem folyamatos a mérés/. Napjainkban növekvő számú és sokféle CO_2-mérőkamrát alkalmaznak állományszintű vizsgálatokra, az egyszerű plexi kamráktól (ZAMOLODCHIKOV & KARELIN 2001) a jóval komplikáltabb, ventillált kamrákig (DUGAS *et al.* 1997, ANGELL & SVEJCAR 1999, CZÓBEL *et al.* 2005c).

Különböző formációkhoz tartozó, eltérő textúrájú, struktúrájú és diverzitású mérsékeltövi gyepek éves szénmérlegéről az elmúlt években egyre növekvő számú publikáció lát napvilágot (pl. FLANAGAN *et al.* 2002, XU & BALDOCCHI 2004, SOUSSANA *et al.* 2007, NAGY *et al.* 2007b). A magyarországival közel azonos földrajzi szélességen, C_3-as taxonok által dominált, valamint juhokkal legeltetett mongol

sztyeppén LI *et al.* (2005) -41 gC m^{-2} éves szénmérleget mértek 2003. és 2004. márciusa között. Az éves NEE C_4-es taxonok dominálta magasfüvű prérin -46 és -274 gC m^{-2} $év^{-1}$ (DUGAS *et al.* 1999, SUYKER & VERMA 2001, SUYKER *et al.* 2003) között változott, míg kevertfüvű legelt (FRANK 2002) és nem legelt (FRANK & DUGAS 2001) prérin -36 gC m^{-2} $év^{-1}$, illetve -45 gC m^{-2} $év^{-1}$ volt. Szerpentin kőzeten kialakult kaliforniai gyepvegetációban -133 gC m^{-2} $év^{-1}$ (VALENTINI *et al.* 1995) szénmérleget kaptak. A többéves mérések lehetővé tették a szénmérleg – döntően az éves csapadékösszeg és csapadékeloszlás eltéréseiből adódó – évek közötti eltéréseinek meghatározását is. FLANAGAN *et al.* (2002) Kanadában, mérsékelt övi gyepvegetáció felett folytatott eddy-kovariancia mérései alapján kiderült, hogy az 1999-es csapadékosabb év szénmérlege -21 gC m^{-2} volt (szénfelvétel), míg az azt követő csapadékszegényebb és melegebb évben éves szinten 18 gC m^{-2} szénleadás történt. Mediterrán területeken szintén előfordult, hogy a csapadékhiány miatt a gyep éves szinten szénforrás lett. Egy kaliforniai (mediterrán klímájú) egyéves taxonok dominálta gyepállomány éves szénmérlege -132 gC m^{-2} illetve +29 gC m^{-2} volt, a csapadék évközi eloszlásának függvényében (XU & BALDOCCHI, 2004). Az eddigi EC-fluxus mérések eredményei azt igazolják, hogy a mérsékeltövi, kisebb mértékben stresszelt és degradált gyepek textúrától és struktúrától függetlenül csapadékhiányos – különösen extrém száraz – éveket leszámítva szénmegkötőnek tekinthetők.

3.2.2.2. Manipulációs kísérletek gyepökoszisztémákban

3.2.2.2.1. Legeltetés kizárása

REEDER és SCHUMAN (2002) különböző intenzitással legeltetett (intenzíven és extenzíven) és legeltetéstől elkerített kevert- és rövidfüvű prérin vizsgálták a szénakkumuláció folyamatát a talaj-növényzet rendszerben (60 cm-es talajmélységig). A kevertfüvű prérin mindkét legelt állományban szignifikánsan nagyobb C-tartalmat mértek, mint a legeltetéstől elkerített gyepben. Ezzel szemben a rövidfüvű vegetációban csak az intenzíven legeltetett gyep talajának C-koncentrációja volt magasabb a nem legelt típusnál. Az eredményekből azt a következtetést vonták le, hogy a legeltetés kizárása gátolta a szén mobilizációját a talajba, ezenkívül a nem legelt állományokban megnőtt az avar mennyisége, valamint az egyéves lágyszárúak és füvek aránya. Utóbbiak nem rendelkeznek a talaj szervesanyag tartalmát jelentősebben növelő mellékgyökérzettel. A kutatók szerint a talaj legeltetés esetén tapasztalt magasabb C-tartalmát elsősorban a hajtások gyorsabb – talajba történő – reciklizációja okozta, míg a talaj-növény rendszerben a szén ismétlődő allokációja felelős a fajkompozíció változásáért. Észak-Kína túllegeltetés miatt elsivatagosodó területén SU *et al.* (2005) egy degradált homoki gyepállományban, 10 éves időskálán vizsgálták a legeltetés kizárásának hatásait a C_3-as dominanciájú vegetáció fajkészletére, funkcionális csoportjaira és struktúrájára, valamint a talaj C- és N-tartalmára. Azt tapasztalták, hogy a legeltetés felhagyása megnövelte a gyep borítását, a felhalmozódó avar mennyiségét, továbbá az egyéves és évelő taxonok száma, illetve borítása egyaránt gyarapodott. A talaj szerves C- és összN-tartalma szintén növekedett, akárcsak a talaj biológiai aktivitása a talajlégzéssel párhuzamosan. A legeltetéstől elkerített területen a vegetáció regenerációjának sebessége sokkal gyorsabb volt a talajtani viszonyokhoz képest. Az előzővel megegyező területen CHEN *et al.* (2005) hosszabb időskálán (22 év) hasonlították össze egy nem legeltetett; egy legeltetéstől elkerített, ún. regenerálódó; valamint egy intenzíven legeltetett gyep fajkompozícióját, primer produkcióját, illetve levélszintű mérésekre alapozva a domináns és szubordinált fajok fotoszintézisét jellemző paramétereket (Pn, E, WUE, Gs). Azt tapasztalták, hogy az összfajszám közel másfélszeres volt (32) a regenerálódó állományban, mint a másik két típusban (22). A fajkészlet bővülését az évelő, lágyszárú kétszikű taxonok elszaporodása okozta, melyek azonban a biomasszának kis hányadát alkották. Az intenzív legeltetés és a gyep regenerációja egyaránt szignifikánsan megváltoztatta a fajkompozíciót. Legeltetés felhagyásával a nagytermetű, évelő füvek elszaporodtak és az FFB döntő tömegét alkották (95,4%) a nem legelt gyepben. Ezzel szemben az intenzíven legeltetett területen az FFB mindössze egyötödét alkották az évelő füvek, mivel az állományban a szúrós félcserjék domnáltak. A mindhárom típusban

előforduló domináns és szubordinált taxonok fiziológiai paramétereit összehasonlítva egyértelműen kiderült, hogy a hosszú ideje nem legeltetett terület taxonjai az intenzíven legeltetett gyep fajainál jóval – gyakran szignifikánsan –, míg a regenerálódó terület legtöbb taxonjánál kismértékben magasabb nettó fotoszintézissel, transzspirációval, WUE-val és sztóma konduktanciával, de alacsonyabb intercelluláris CO_2-koncentrációval rendelkeztek. Egyéves taxonok dominálta, félsivatagi jellegű, de mediterrán klímájú legelő 4 eltérő lokációjú és produktivitású pontján vizsgálták OSEM *et al.* (2004) négy éven keresztül a legeltetés kizárásának hatását a fajkompozícióra és a produkcióra. Azt tapasztalták, hogy a nem legelt területek fajkompozíciója különböző mértékben változott a produktivitás függvényében. Legnagyobb mértékű eltérést a legproduktívabb állományban (völgyben futó vádi), míg a fajkompozíció legkisebb változását a legexponáltabb és egyben legkisebb éves ANPP átlaggal jellemezhető területen tapasztalták. Az abundancia-dominancia viszonyok esetén észlelt változások – a produktivitás mellett – jól korreláltak az egyes taxonok méretével is. A nagyméretű egyszikű és pillangósvirágú taxonok gyakoribbá váltak, a kistermetű fajok megritkultak a legproduktívabb élőhelyeken, míg a közepes méretű taxonok eltérően reagáltak a legeltetés megszüntetésére. A legeltetés felhagyása hosszabb időskálán (20-40 év) közel felére csökkentette a ritka növényfajok számát Finnország DNY-i részén (LUOTO *et al.* 2003). Ez az eredmény is felhívta a figyelmet arra a tényre, hogy a megfelelő intenzitású legeltetés táji léptékben – heterogén élőhelymozaikokat/foltokat kreálva – segít fenntartani a növényzet diverzitását.

3.2.2.2.2. Műtrágyázás

Gyepek mesterséges nitrogén pótlásának negatív – gyakran drámai mértékű – hatását a fajszámra (pl. TILMAN 1987, TURNER & KNAPP 1996, HUBERTY *et al.* 1998) és a diverzitásra (TILMAN 1987, GOUGH *et al.* 2000 stb.) számos kísérlet igazolta (PIPER *et al.* 2005). PIPER *et al.* (2005) egy magasfüvű és egy homoki prérivegetációban öt éven keresztül vizsgálták a mesterségesen (szilárd karbamid formájában), különböző mennyiségben (0, 5, 10, 20, 40 g N m^{-2} $év^{-1}$) kiszórt nitrogén hatását a fajkompozícióra (fajszám, borítás) és a jellemző funkcionális csoportokra. Eredményeik azt mutatták, hogy csak a homoki préri vegetációban csökkent az összfajszám, továbbá a pillangósvirágúak százalékos borítása N-műtrágyázás hatására, valamint számos taxon különösen intoleránsnak bizonyult a megnövekedett N cc.-vel szemben. A hipotetikusan várt változásoktól eltérően plusz N-forrás következtében sem a C_3-as taxonok, sem az egy-, ill. kétévesek borítása nem növekedett a vizsgált vegetációtípusokban. A produkciót a talaj tápanyagszintje (különösen a nitrogén és foszfor /THIEL-EGENTER *et al.* 2007/) kontrollálja. A nitrogén természetes forrásai a csapadék, a száraz ülepedés, valamint a – prérin nem túl gyakori – pillangós taxonok szimbionta megkötői, továbbá a nem szimbionta megkötők (pl. *Azotobacter*, *Clostridium* sp.) egyaránt kis mennyiségben (0,1-0,2 g m^{-2} $év^{-1}$) fixálnak légköri nitrogént. A nem legelt prérin kevés nitrogén távozik – elfolyás, talajerózió, párolgás miatt – a rendszerből, míg legelt területeken a nitrogén egy része a legelő állatok szövetébe kerül. Az eddigi kutatások igazolták, hogy a préri nitrogén pótlása jelentősen növelte az ANPP-t, különösen öntözéssel kombinálva. A funkcionális csoportok közül a C_4-es növények nitrogénhasznosítási hatékonysága (NUE) jobb, mint a C_3-as taxonoké. A vegetációs szezon végén a nitrogén a föld alatti raktározó képletekben tárolódik vagy az avarban marad. Utóbbi esetben lebontódik és a talaj nitrogén-koncentrációját gazdagítja. A nitrogénhez hasonlóan foszfor pótlása is növelte a produkciót. A növényekben (azon belül is döntően a gyökerekben) a talaj foszfor tartalmának csak 2-3%-a található. A vegetáció aktív növekedése során a foszfor gyorsan transzlokálódik a gyökerekből a hajtásokba, majd a szenescens FFB-ből visszaallokálódik a föld alatti képletekbe (ARCHIBOLD 1995). Az ANPP tápanyag kontrolljának vizsgálata során (KNAPP *et al.* 1998) beigazolódott, hogy a nitrogén limitálja legjobban az ANPP-t az évente égetett magasfüvű prérin. A domináns füveket jelentős mikorrhiza kapcsolatuk miatt a foszfor nem limitálta. Nitrogén műtrágyázás (10 g N m^{-2}) több mint kétharmaddal növelte a magasfüvű préri vegetáció ANPP-jét égetett, és mindössze 9%-kal nem égetett állományokban. Az eltérést az magyarázza, hogy tavasszal a nem égetett területen több szerves nitrogén van a talajban. A nitrogén

legnagyobb mértékben a síkvidéki égetett gyep produkció gyarapodását limitálta, mivel itt volt a legnagyobb mértékű a növekedési ráta. JACQUEMYN *et al.* (2003) az eltérő mennyiségű N-pótlás és kétféle kezelés együttes hatását vizsgálták a fajkompozícióra és a fajdiverzitásra. Utóbbi szignifikánsan csökkent a N-szórás mennyiségének és a kezelés intenzitásának növekedésével. A N-pótlás fent említett negatív hatását legnagyobb mértékben a legelés kompenzálta, de ez a kezelés sem volt képes megakadályozni egyes kompetitor taxonok dominanciáját.

3.2.2.2.3. Öntözés

HOOK & LAUENROTH (1994) a félszáraz, rövidfüvű préri domináns, csomós növekedésű pázsitfűfaján, a *Bouteloua gracilis*-en demonstrálva vizsgálták a talaj víztartalom heterogenitása és a gyökérzet válaszreakciója közti kapcsolatot. A manipulációs kísérlet során a központi (<10 cm) és távolabbi (10 cm<) gyökérzóna forrás kihasználását vizsgálták víz, valamint víz és N kombinált adagolásával. Azt tapasztalták, hogy a növekedés szignifikánsan nagyobb volt, ha a központi gyökérrészt locsolták, annak ellenére, hogy a gyökérhossz sűrűség és a vízhasználat azonos volt a tengely körül (<10 cm) és távolabb. Az eltérést az okozta, hogy az erős kompetíció és a limitált forrás (víz) miatt a gyökerek többsége asszimetrikusan fejlődött a tőhajtás alá, valamint a járulékos gyökerek is jórészt a korona körül tömörültek. Nitrogén hozzáadása nem befolyásolta a növekedés mértékét. A megnövelt forrás hozzáférhetőség tehát nem járt együtt a külső gyökérzóna erős morfológiai növekedésével.

SALA és LAUENROTH (1982) a kismértékű csapadékesemények hatásának ökológiai szerepét vizsgálták a Préri-fennsík középső és déli részén domináns *Bouteloua gracilis* félszáraz állományában. A kiválasztott szárazságstresszelt területen az évi összes lehulló csapadék 70%-a 5mm vagy ennél kisebb mennyiségű csapadékként esett a gyepökoszisztémára, de a vegetációs időszakban (május - augusztus) az éves csapadék mindössze egynegyede hullott le. A kísérlet során egy-egy alkalommal maximum 5 mm-es csapadéknak megfelelő mennyiséggel locsolták a gyepet, mely kezelést az akklimatizáció miatt már a kísérlet megkezdése előtt 20 nappal elkezdték (összesen 40 mm-nyi csapadéknak megfelelő vizet juttatva a növényzetre). A vizsgálat során azt tapasztalták, hogy az öntözés szignifikánsan növelte a növények vízpotenciálját (mely hatás a következő nap is megfigyelhető volt) és levélkonduktanciáját. Annak ellenére, hogy a különböző fajok levelei némiképp eltérően reagáltak, jellemzően elmaradt a levélkonduktancia déltájban megszokott csökkenése. Megállapították, hogy félszáraz gyepek esetén 1-4 mm-es csapadékmennyiségnek jelentős szerepe lehet fenntartani a növényzet fiziológiai aktivitását. A sztyeppfajok időben eltérően reagáltak az öntözésre. A sikeres és egyben domináns taxonoknál (pl. *Bouteloua gracilis*) gyors fiziológiai reakciókat tapasztaltak a kis csapadékmennyiség esetén, ez tehát számukra ökológiailag szignifikáns volt. A kismértékű csapadékesemények további jelentősége, hogy gyakran aktiválják a felszín közelében lévő tápanyagok körforgását, melyek a nedvesség által szigorúan kontrolláltak. Emiatt SALA és LAUENROTH (1982) szerint feltehetőleg nagyobb a jelentőségük a félszáraz gyepökoszisztémák ökológiai folyamataiban, mint az egyszerre lezúduló nagy mennyiségű csapadéknak. A heves nyári záporok (30 mm<) hatását a patagóniai sztyeppén őshonos füvekre és cserjékre, szintén manipuláció révén (öntözés) vizsgálták (GOLLUSCIO *et al.* 1998). A 3 éven keresztül tartó, a talaj- és levélvízpotenciál mellett a produkció-növekedést is vizsgáló kísérlet során a kiválasztottól eltérő életformákat is eltávolították a kijelölt foltokon. A kutatók azt tapasztalták, hogy a füvek fiziológiai működésükkel minden esetben reagáltak a záporokra, de a válasz erőssége száraz években fokozottabb volt, míg a cserjék csak a legszárazabb évben reagáltak az öntözésre, amikor a mélyebb rétegek talaj vízpotenciálja alacsony volt. Az egyes életformák hiánya nem befolyásolta az eredményeket. Aszályos évben a talaj vízpotenciál növekedésének mértéke szignifikánsan nagyobb volt nyári záporok hatására, a szerzők szerint ez egyben magyarázat lehet a vegetáció évek között megfigyelt eltérő nagyságrendű válaszaira is.

Egy másik, a rövidfüvű félszáraz prérin folytatott kombinált kísérletben különböző mértékben legeltetett (intenzív, extenzív és nem legeltetett), öntözés révén a sokéves átlaghoz képest egyharmados csapadékmennyiség növekedéssel is manipulált, továbbá időszakosan levágott gyepben vizsgálták

(VARNAMKHASTI *et al.* 1995) a produkció és csapadékhasznosítási hatékonyság (RUE) változását. Az eredmények azt mutatták, hogy a csapadéktöbbletnek volt a legjelentősebb, pozitív hatása az ANPP-re, ellenben a vegetáció levágása nem okozott szignifikáns különbséget. A hosszútávon intenzíven és extenzíven legeltetett gyep ANPP-je közt csak akkor volt különbség, ha a primer produkciót levágták. Utóbbi esetben a gyengén legeltetett állomány ANPP-je egyötödével felülmúlta az intenzíven legeltetett gyep föld feletti biomasszáját. A nem legelt terület ANPP-je átlagos csapadékú évben jóval alacsonyabb, míg csapadékosnak szimulált évben jóval magasabb volt az intenzíven legeltetett állomány biomasszájánál. A RUE általában nem különbözött az eltérően kezelt gyepek között, kivéve átlagos csapadékú évben az extenzíven legelt állományt és „csapadékos évben" a nem legelt gyepet. Mindkét esetben a RUE jelentősebben növekedett. A kísérlet azt igazolta, hogy félszáraz környezetben a vizsgált változók közül, a csapadéknak van a legnagyobb szerepe az ANPP-re.

3.2.2.3. Az NEE biotikus és abiotikus paraméterektől való függése

Gyepekben FLANAGAN *et al.* (2002) szerint az NEE évek közötti és szezonális változásáért döntően a csapadék mennyisége felelős, mások (YUSTE *et al.* 2004) a fenológiai állapot jelentőségét hangsúlyozzák a klimatikus paraméterek változása és a széndioxid-fluxus összefüggésénél. Az aktuális LAI és fenológiai állapot által determinált NDVI értékek, illetve a bruttó primer produkció (GPP) esetén is jó korreláció figyelhető meg (GILMANOV *et al.* 2005), különösen az évek közötti eltérések figyelembevétele esetén (WYLIE *et al.* 2003). A mongol sztyeppén több biotikus és abiotikus paraméter és az NEE összefüggéseit vizsgálva azt tapasztalták (LI *et al.* 2005), hogy a féléves növekedési időszak során az NEE napok közötti eltéréseinek több mint negyedét (26%) a LAI okozta, míg az NEE szezonális eltérése jól korrelált a csapadék mennyiségével, különösen a gyep növekedésének legintenzívebb időszakában. A területen július végén és augusztus elején tapasztalt vízhiánystressz a korábban szénmegkötő gyepet CO_2-gáz szempontjából forrássá változtatta. A klimatikus anomáliák gyakoribbá válása lehetővé tette az extrém időjárási körülmények NEE-t és közvetve a produkciót befolyásoló hatásának tanulmányozását. CIAIS *et al.* (2005) a 2003-ban Európa szerte tapasztalható hőhullám és aszály következményeit vizsgálták terepi EC mérések és az ORCHIDEE modellel számított adatok alapján. A modellezett értékek a terepi adatokhoz hasonlóan a bruttó primer produkció kontinentális átlagban vett 30%-os csökkenését jelezték, a csapadékhiány és a hőhullám együttes hatására tapasztalt extrém szárazságstressz következményeként. HUI és munkatársainak (2003) szintén modellezés révén sikerült szétválasztani az NEE szezonális és évek közötti eltéréseit klimatikus variabilitásra, valamint funkcionális eltérésre amerikai erdőállományok EC vizsgálatai alapján. (Megj.: Gyepállományok hasonló jellegű vizsgálata, a hosszútávú mérések hiánya miatt eddig még nem került publikálásra.) Eredményeik azt mutatták, hogy minden erdőállományban a PAR volt a legjelentősebb klimatikus változó az NEE variabilitása szempontjából. Az NEE éven belüli variabilitásának több mint 50%-át a szezonális klimatikus eltérések okozták, míg a különböző évek klimatikus eltérései mindössze 5-10 % között járultak hozzá az NEE variabilitásához. A funkcionális eltérések az egyes erdőállományokban 0 és 10 % között voltak felelősek az NEE évek között számított standard devinciájáért. (Megjegyzés: A gyepvegetáció az erdőállományokkal összevetve feltehetőleg sokkal szenzitivebben reagál a klimatikus eltérésekre, ezért gyepek esetében mind funkcionálisan, mind klimatikusan nagyobb értéktartományok várhatók.)

3.2.2.4. Félszáraz gyepvegetáció dominancia viszonyainak, struktúrájának, textúrájának és diverzitásának kutatása

WU & LOUCKS (1992) Észak-Kínában azt tapasztalták, hogy a gyepek degradációja során először az állomány primer produkciója csökken a növényzet magasságával, borításával és denzitásával párhuzamosan, majd ezt követi a fajkompozíció megváltozása. Az újvilágban az aszály vegetációra gyakorolt hatását is részletesen tanulmányozták, melynek során kiderült, hogy Észak-Amerikában az elmúlt 400 évből 154 aszályos volt. A szárazságstresszelt időszakot a fajok egy része – akár több évig

is tartó – nyugalmi állapotban (dormancia) vészeli át, egyes fajok eltűnnek, míg másoknak lecsökken a borítása. A stresszhatás jelentősebb, ha túl van legeltetve a terület, mely az egyéves gyomok fajszámát és borítását is növeli. Észak-Amerikában az 1933-1938 közötti nagy aszály idején – és részben a túllegeltetés miatt – több ezer km^2 kiterjedésű korábban kevert préri területen alakult ki alacsonyfüvű préri. Az ötéves szárazság után 2 éven belül visszaállt a vegetáció korábbi borítása, de a fajkompozíció jelentősen átalakult (ARCHIBOLD 1995). A kutatások azt is igazolták, hogy a diverzebb közösségek produkcióját kevésbé zavarja meg egy-egy környezeti perturbáció (például aszály), illetve a zavarást követően funkcionális működésük és ennek következtében pl. szervesanyag-produkciójuk gyorsabban helyreáll. A mérések azt is kimutatták, hogy azonos körülmények között a kisebb diverzitású rendszerek kevésbé hatékonyan hasznosították a forrásokat (LOREAU *et al.* 2001). Nagy-Britanniában természetközeli gyepek 8 éven keresztüli botanikai monitorozása keretében, közel 40 különböző állományban vizsgálták a növényzet diverzitásának változását (CRITCHLEY *et al.* 2004). Az állományok több mint felében nem tapasztaltak eltérést, míg kilenc gyepben növekedett a fajdiverzitás, jellemzően extenzív trágyázás vagy a legeltetés intenzitásának lecsökkentése miatt. A mindössze 7 területen észlelt csökkenő diverzitást a nem megfelelő legelési ráta vagy megváltozott hidrológiai körülmények okozták. A gyepek fajszámának és diverzitásának csökkenése számos esetben az adott társulásra jellemző, erős kompetitor fajok növekvő dominanciájának következménye (ALARD *et al.* 1994).

3.2.2.5. Szárazságstresszelt gyepállományok funkcionális csoportjainak vizsgálata

Észak-Amerikábában a C_3-as fajok hajtása kora tavasztól, a C_4-eseké nyár közepétől növekszik (ARCHIBOLD 1995). EPSTEIN *et al.* (1997) terepi adatokat felhasználva modellezték a Préri-fennsík C_3-as és C_4-es pázsitfüveinek relatív és abszolút produktivitását három környezeti tényező, az évi átlagos hőmérséklet, évi átlagos csapadékösszeg és a talaj texturájának függvényében. A modellezett eredmények azt jelezték, hogy a C_3-as taxonok mindkét produkció paramétere az átlaghőmérséklet és a talaj homokfrakció tartalmának változásával negatívan, míg az agyagtartalommal pozitívan korellált. A C_3-as füvek relatív produkciója csökkent, ellenben abszolút produkciója nőtt a csapadékmennyiség emelkedésével párhuzamosan. A C_4-es taxonok produkciója pozitívan korellált a hőmérséklettel, a csapadékkal és a talaj homoktartalmával, míg az agyagtartalom esetén ellentétes változást prognosztizáltak. Vizsgálatuk további figyelemreméltó eredménye, hogy az évi átlaghőmérséklet 2^oC-os emelkedése esetén a Préri-fennsík C_3-as fajai által jelenleg (35%) dominált terület közel felére (19%) csökkenne. Egy másik modellezésen alapuló – de terepi adatokkal összevetett – kutatás a gyepek (és cserjék) funkcionális és strukturális konvergenciáját vizsgálta Észak- és Dél-Amerika mérsékeltövi területein (PARUELO *et al.* 1998). A futtatás eredményeként azt kapták, hogy a C_3-as és C_4-es taxonok kompozíciója, a talaj szervesanyag tartalma, valamint az ANPP, illetve utóbbi paraméter szezonalitása nem tért el a klimatikusan hasonló régiókban, függetlenül a nagy térbeli távolságoktól és az egyes régiók növényzetének különböző evolúciós múltjától. A Préri-fennsík rövid- és magasfüvű vegetációjában végzett terepi kutatások adatai alapján, két klimatikus grádiens (évi átlagos csapadékösszeg és évi átlagos hőmérséklet) mentén is vizsgálták a domináns C_3-as és C_4-es füvek ökológiai válaszait (EPSTEIN *et al.* 1996). Az ANPP szignifikáns összefüggést mutatott mindkét grádienssel, de a csapadék erősebben befolyásolja az ANPP-t, mint a hőmérséklet. Az azonos funkcionális csoportba (C_3, ill. C_4) tartozó fajok azonos mintázattal reagáltak a két változóra, de a vizsgált fajok válaszai asszimetrikusak voltak a környezeti grádiensekre. Csapadék grádiensnél a fajok abszolút és relatív ANPP értékei eltérő mintázatot mutattak.

3.2.2.6. Mérsékeltövi, természetes vagy természetközeli gyepek primer produkciójának és csapadékhasznosítási rátájának (RUE) kutatása

Észak-Amerikában a hosszútávú ökológiai kutatások (LTER) keretében számos produkció adat áll rendelkezésre a különböző szerkezetű füves élőhelyekről. A hazai löszgyepekhez leginkább hasonló struktúrájú, magasfüvű Konza-préri ANPP-je jól korrelált a meteorológiai (csapadék, hőmérséklet,

napsugárzás, potenciális evapotranspiráció) változókkal, de a produkciót legnagyobb mértékben (szignifikánsan) az aktuális vízviszonyok (csapadék, párolgás) és közepes vízellátottságú területeken a nitrogén limitálta (KNAPP *et al.* 1998). A Konza-préri primer produkciójának tér- és időbeli variabilitása szignifikánsnak bizonyult. Az ANPP időbeli mintázatával kapcsolatban megállapították, hogy extrém csapadékos évben az ANPP szignifikánsan nagyobb volt a leégett állományokban, míg extrém száraz évben a le nem égett területeken. Síkvidéki égetett gyepvegetációban az ANPP 20 éves átlaga 279 és 785 g m^{-2}, míg alacsony tűzfrekvenciával jellemezhető területen 185 és 606 g m^{-2} között változott. Nem legelt terület átlagos éves primer produkciója 417,1 g szárazanyag m^{-2} volt. KNAPP *et al.* (1998) kutatásuk során vizsgálták az ANPP tűz utáni mintázatát is. /Megj.: a tűz produkcióra gyakorolt hatása a legeltetéshez hasonló diszturbációja miatt érdekes./ A tűz eltávolítja az előző évi avart és – a legeltetéshez hasonlóan – növeli az ANPP-t, mivel a fennmaradó avar lecsökkenti a hajtásokhoz érkező PAR-t (akár 59%-kal a növekedési időszak első hónapjában és 14%-kal a teljes növekedési szezonban). Száraz években azonban az avar párolgást csökkentő hatása révén magasabb SWC-t biztosít, ezáltal elősegíti a növekedést és növeli az ANPP-t. A funkcionális csoportok közül a kétszikűek ANPP-je a mélyebb talajrétegek SWC-jével (100-200 cm) pozitívan, míg az egyszikűek primer produkciójával negatívan korrelált. Előbbit az indokolta, hogy a kétszikűek gyökérzete – a legtöbb taxonnál – vertikálisan mélyebbre hatol, mint a pázsitfűveké. Hosszú távon a kisebb produkciójú, nem égetett gyepben a C_3-as növények és a kétszikűek, míg égetett állományokban a C_4-es taxonok domináltak. A legelés több szempontból hasonló hatású, mint a tűz, mivel eltávolítja/lecsökkenti a lombozatot és az avart, ezáltal több fény jut a talajszintre. A tűzzel szemben azonban a legelés hatása a vegetációra mozaikos, térbelileg változó és egyben szelektív is. Legelés hatására a kétszikűek reprodukciója és növekedése nőtt, akárcsak a fajkompozíció, a legelési foltok által előidézett variabilitás mértékének növekedése miatt. Utóbbit a legelést kisérő plusz tápanyagforrások (szervesanyag, N) egyenlőtlen forrásgyarapítása is növelte (KNAPP *et al.* 1998). A prérin hóolvadás után a hidegtűrő füvek 2-3 hétig tartó intenzív növekedése jellemző /átlagosan 5 g m^{-2} d^{-1}/ (ARCHIBOLD 1995). Hosszútávú ökológiai vizsgálatok alapján a föld feletti élő biomassza éves szárazanyag tömege 62-236 g m^{-2} volt a rövidfüvű, 101-270 g m^{-2} a kevertfüvű és 336 g m^{-2} a magasfüvű prérin, míg Oroszország erdőssztyeppjein akár 1100 g m^{-2} is előfordult. Az elhalt biomasszából képződött avar aránya a vegetációs szezon kezdetétől növekszik a lombozatban. A legtöbb avar kora tavasszal figyelhető meg a gyepekben (az előző év maradványaként), majd átlagosan 0,8 g m^{-2} d^{-1} rátával jut be az avar a talajrétegekbe (az összesen képződő 0,9 g m^{-2} d^{-1} mennyiségből). A föld alatti biomassza (FAB) éves szárazanyag tömege 1150-2100 g m^{-2} a kevert, míg 875-1350 g m^{-2} a rövidfüvű prérin, melynek nagyobb része a felső 20 cm-es rétegben található. A földalatti biomassza szezonális dinamikájára jellemző, hogy a gyökértömeg júliusig növekszik, majd a vegetációs időszak végéig folyamatosan csökken. A földalatti biomassza mintegy harmada évente kicserélődik (a rövidfüvű prérin átlagosan 49%, míg a kevertfüvű prérin 18%). A szénhidrát tárolásban kulcsfontosságú koronagyökerek lebomlási üteme gyorsabb a gyökérzet többi részénél /átlagosan 82% magasfüvű, 53% alacsonyfüvű, 35% kevert prérin/ (ARCHIBOLD 1995). A biomassza tömege (mind a FAB, mind az FFB esetében), valamint az arbuszkuláris mikorrhiza kapcsolatok száma között szignifikáns korreláció figyelhető meg (EASON *et al*. 1999). Füves élőhelyek talajában az arbuszkuláris mikorrhiza kapcsolatok száma szignifikánsan magasabb extenzíven kezelt állományoknál, mint intenzív földhasználat esetén.

SALA *et al.* (1988) a primer produkció regionális eltéréseit, valamint a csapadék és talajtextúra ANPP-t determináló tényezőit vizsgálták a Préri-fennsíkon. Korábbi vizsgálatokból is ismert volt, hogy a füves élőhelyek ANPP-jét a csapadék mennyisége és eloszlása, valamint a talaj csapadékmegtartó képessége határozza meg döntően (pl. JENNY 1980), ezért az ANPP regionális térbeli mintázata a K-Ny-i csapadék grádienst jól tükrözi. Ez a térbeli mintázat száraz években K felé, míg csapadékos években Ny felé mozdul el. Kutatásuk eredményei az inverz textúra (talajszerkezet) hipotézist támasztja alá, mely azt mondja ki, hogy arid területek produkciója nagyobb mértékű rosszabb víztartó képességű, de durvább szemcséjű talajon (pl. homok). /Ennek oka, hogy csupasz homokfelszínről kisebb a párolgás és

az elfolyás mértéke, mint agyagos talajnál, ezért száraz évben (időszakban) homoktalajon több víz jut a növényeknek./ A közzétett izopleth (azonos produkciójú pontok) térképek és alapadatok elemzése révén megállapították, hogy amennyiben az évi csapadékösszeg 370 mm-nél kevesebb, akkor a homoktalajok produkciója nagyobb, mint az agyagos talajoké. 370 mm-nél nagyobb évi csapadékösszeg esetén ellentétes mintázat figyelhető meg.
HUXMAN *et al.* (2004) 9 biomot (köztük mérsékeltövi gyepökoszisztémák) reprezentáló 14 amerikai kutatóállomás produkció és csapadékadatai alapján vizsgálták a RUE változásait (ANPP évi csapadékösszeg^{-1}). Abból a közismert tényből indultak ki, hogy csaknem minden szárazföldi ökoszisztémában a rendelkezésre álló vízmennyiség limitálja a növények növekedését és a produkciót, azonban az évek közötti eltérő csapadékmennyiségre egyes biomok ANPP-je különösképpen érzékeny. A RUE átlagos értéke különbözik az egyes biomok között, egyrészt a vegetáció eltérő struktúrája miatt, másrészt azért, mert a produkció klimatikus és biogeokémiai körülmények kényszere alatt van, melyek a limitáló forrásokat (pl. víz, talaj N, talaj P, fény) megváltoztatják. A vizsgálat során azt tapasztalták, hogy az éves csapadékmennyiség növekedésével az ANPP minden vizsgált területen és évben nőtt, azonban a RUE átlagértékek közti különbség csökkent a biomok között, ha az évi csapadékösszeg nőtt. A legproduktívabb élőhelyeken (erdők) az ANPP a növekedési időszak maximális hőmérsékletével és az előző évi ANPP-vel, míg a legkevésbé produktív vegetációkban (sivatag, száraz gyepek) az ANPP az éves csapadékmennyiséggel korrelált legjobban. A legszárazabb (arid) élőhelyeken a RUE maximuma közel volt az átlagos RUE-hoz, míg a csapadékmennyiség alapján köztes (humid és arid közötti) vegetáció – melyhez döntően a gyepek sorolhatók – RUE mintázata volt a legváltozatosabb. A kutatás egyik meglepő eredménye, hogy szárazság által legnagyobb mértékben limitált években sivatagi, füves és erdei ökoszisztémák egységnyi csapadékra vetítve ugyanazt a biomassza produkciót állítják elő. Megállapították, hogy az ökoszisztémáknak azonos, potenciális RUE maximuma van, függetlenül az ANPP csapadék érzékenységétől, a fiziognómiától, a klímatörténettől, a hidrológiától és a flóra eredetétől. A biomok között tehát megfigyelhető egyfajta konvergencia, mely a maximális RUE-ra törekvésben nyilvánul meg, ami eddig csak arid ökoszisztémákból volt ismert.

3.2.2.7. A biomassza elemtartalmának változása mérsékeltövi vegetációban

SPEHN *et al.* (2002) hét európai ország klimatikus és talajgrádienssel is jellemezhető gyepállományaiban vizsgálták a növényi diverzitás csökkenés és az ANPP nitrogén akkumulációjának kapcsolatát a fajszámok és funkcionális csoportok (füvek, kétszikű lágyszárúak, pillangósok) megváltoztatásával. A föld feletti biomassza N-tartalma minden objektumnál közel azonos volt (1,66 ± 0,03%), az adott állomány diverzitásától függetlenül. A pillangósvirágúak jelenléte pozitívan befolyásolta a gyep nitrogén készletét, mivel szignifikánsan megnövelte az ANPP mennyiségét, de a biomassza nitrogén koncentrációja nem változott. A klimatikus eltérések kapcsán azt tapasztalták, hogy a pillangósvirágúak N-készletre gyakorolt pozitív hatása Közép-Európa kontinentális klímáján (Németország, Svájc) volt a legjelentősebb. Ezzel szemben óceániai és mediterrán éghajlatú területeken nem, vagy csak kismértékben volt megfigyelhető a terület N-készletének növekedése *Fabaceae* taxonok jelenlétében. A tanulmány meglepő eredménye, hogy a pillangósvirágúak által megkötött – SOUSSANA *et al.* (1996) által is leírt – nitrogén allokációja a többi taxonhoz erősen fajspecifikus, ez a folyamat sokkal nagyobb mértékű volt *Trifolium*, mint *Lotus* nemzetség esetében. A talaj P készlete jelentősen befolyásolta a pillangósvirágúak biomassza produkcióra és a biomassza nitrogén akkumulációjára gyakorolt pozitív hatását. A vizsgálat bebizonyította, hogy fajszám csökkenés esetén a pillangósvirágú taxonok eltűnése jóval súlyosabb következményekkel jár a növényközösség N-készletére (SPEHN *et al.* 2002). SOUSSANA *et al.* (1996) emelt szén-dioxiddal kezelt gyepek vizsgálata során azt tapasztalták, hogy az állomány vizsgált taxonjainak hajtásában a rendelkezésre álló szervetlen N-készlet csökkenése megnövelte a gyökérzet talajból történő N allokációját. Ezenkívül N-hiány esetén megnövekedett a föld feletti biomassza allokációja a gyökerek felé. Vizsgálatuk igazolta, hogy füves élőhelyeken nagyon szoros kapcsolat van a C- és a N-körforgás között.

3.2.2.8. A szén- és nitrogén tartalom változása gyepökoszisztémák talajában

A különböző gyeptípusok talajában a széntartalom eltéréseit döntően klimatikus és edafikus tényezők együttes hatása idézi elő (REEDER & SCHUMAN 2002). A szerves C-koncentráció általában emelkedik a talaj magasabb agyagtartalmával (BAUER *et al.* 1987) és a növekvő csapadékmennyiséggel (BURKE *et al.* 1989) párhuzamosan. A talaj szerves C-tartalma erősen függ a földhasználattól. Dél-Dakotában végzett összehasonlító vizsgálatok azt is kiderítették, hogy a füves vegetáció felső talajrétege jóval több szerves szént tartalmaz és kevésbé erodálódik, mint a megművelt területeké (EYNARD *et al.* 2005). CONANT és kutatótársai (2001) összefoglaló tanulmányukban 115, a világ számos pontján és biomjában gyűjtött publikáció adatai alapján (összesen 300 vizsgálati objektum) elemezték a gyepek intenzívebb használatának, valamint a különböző kezelések (beleértve a műtrágyázást és öntözést) hatásait a talaj széntartalmára (szerves szén, SOM). Igazolták, hogy az intenzívebbé váló gyepgazdálkodás a vizsgálatok háromnegyedénél – függetlenül a kezelések jellegétől – növelte a talaj átlagos C-tartalmát a növekvő C-fixáció révén. A talaj szervesanyag tartalma a felső 10 cm-es talajrétegben, a kezelés kezdetétől számítva az első 40 évben, valamint füves és erdőssztyepp ökoszisztémákban gyarapodott a legnagyobb mértékben (átlagosan 0,54 Mg C ha^{-1} $év^{-1}$). A vizsgálatok közül az öntözés, a művelésből való kivonás (ideértve a legeltetést) és a földigiliszta pótlás növelte legnagyobb mértékben a talaj széntartalmát. Dániában egy országos projekt keretében 336 gridponton, két talajmélységben (0-25cm és 26-50cm) vizsgálták a mezőgazdaságilag művelt területek talajának összC- és összN-tartalmát, valamint ezek változását 10-12 éves időskálán (HEIDMANN *et al.* 2002). Az átlagos szén- és nitrogén-koncentráció a felső talajrétegben egyaránt nagyobb volt (szén esetén 0 és 25 cm között 1,5-2,3%, 26-50 cm közt 0,9-1,6%; míg a nitrogénnél 0 és 25 cm-es rétegben 0,107-0,161%, 26-50 cm között 0,084-0,106%). Korábbi kutatások révén már ismert volt, hogy a talaj szervesanyag tartalmát rövid távon a szerves- és műtrágyázás is megváltoztatja, míg a talaj C- és N-készletének hosszabb időskálájú eltérését a földhasználat megváltoztatása is okozhatja (CHRISTENSEN & JOHNSTON 1997). Az egy évtizeddel később megismételt analízis azt mutatta, hogy a felső talajrétegben agyagos talajokon csökkent, ellenben homokos talajokon nőtt az összC- és N-tartalom. A mélyebb talajrétegben ugyanezt a trendet figyelték meg, de ott még jelentősebb volt a változás. A kezelések közül a szervetlen műtrágyázás egy évtized alatt csökkentette, míg az intenzív szerves trágyázás (szarvasmarha ürülékkel) növelte mindkét vizsgált talajparamétert (HEIDMANN *et al.* 2002). LOVELL & JARVIS (1998) legelőről transzplantált monolitokon, kontrollált *ex situ* körülmények között vizsgálta a különböző nitrogén kezelések hatását. A talaj mikrobiális biomassza mennyisége a 3 éves vizsgálati ciklus első évében egynegyedével, míg a talajlégzés felére csökkent a műtrágyázott állományokban. A talaj nitrát tartalma az első évben minden N-pótolt monolitban tizenötszörösére nőtt, ellenben a második évben nagymértékben csökkent.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Vizsgálati objektumok

4.1.1. Vizsgált társulások

4.1.1.1. *Falcario-Agropyretum repentis* (Felföldy 1942) Nagy T. Müller & Görs 1969 – közönséges tarackbúzás

Vasúti töltéseken, árkok mentén, ültetvények szegélyén, felhagyott szántókon gyakori a közönséges tarackbúzás /*Falcario-Agropyretum repentis* (Felföldy 1942) Nagy T. Müller & Görs 1969/. A társulásban dominál az *Elymus repens* és a *Falcaria vulgaris*, állandó fajai az *Artemisia vulgaris*, a *Cichorium intybus*, a *Polygonum arenastrum*, a *Convolvulus arvensis*, a *Ballota nigra*, a *Plantago lanceolata*, a *Cardaria draba*, a *Berteloa incana* és a *Centaurea pannonica* (BORHIDI 2003).

4.1.1.2. *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* Soó (*in* Aszód 1935) 1957 – homoki száraz legelő

A pontus-pannóniai évelő homokpuszták csoportjába tartozó, a löszgyepekhez képest kevésbé stukturált (FEKETE 1992, FEKETE *et al.* 1988, FEKETE *et al.* 1995), degradált homoki száraz legelő /*Cynodonti-Festucetum pseudovinae* Soó (*in* Aszód 1935) 1957/ cönoszisztematikailag legközelebbi asszociációi az Alföldön endemikusak és mivel a mainál melegebb és szárazabb időszak maradványai, egyben reliktum asszociációknak is tekinthetők. A *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* társulást döntően kontinentális, pontuszi és szubmediterrán flóraelemek alkotják. A hazánk homokterületein jellegzetes – a homokterületek legeltetésével kialakult – másodlagos növénytársulásból legeltetés következtében a homokpusztagyep igényesebb fajai eltűntek, míg a szúrós-tövises, illetve mérgező fajok különböző mértékben elszaporodtak (pl. *Eryngium campestre*). A rövidfüvű, zárt állományú gyepben a domináns veresnadrágcsenkesz (*Festuca pseudovina*) zsombékjai közt gyakori a társulás karakterfaja a csillagpázsit (*Cynodon dactylon*), valamint a hemikryptofiton évelők és csapadékos években az egyévesek. Az említett gyepalkotókon kívül nagyobb állandósággal fordul elő állományaiban a gumós perje (*Poa bulbosa*), a puha rozsnok (*Bromus mollis*), a keskenylevelű sás (*Carex stenophylla*). Ökológiai fajcsoportjai közül jellegzetesek a szklerofill graminoidok, a rövid életciklusú egyévesek, a szukkulens kamefitonok, a mélyen gyökerező évelők (pl. *Achillea collina*, *A. pannonica*), illetve az ördögszekér-típusú lágyszárúak (*Eryngium campestre*), melyek külön terjesztési stratégiatípust képviselnek (BORHIDI 2003).

4.1.1.3. *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* Zólyomi *ex* Soó 1964 – löszpusztarét

A manipulációs kísérletekhez a homoki legelő mellett kiválasztott magas füvű, nagy fajdiverzitású, zonális löszgyep társulás, a löszpusztarét (*Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* Zólyomi *ex* Soó 1964), az eurázsiai sztyeppzóna hazai képviselője. A lösz alapkőzeten kialakult, fajokban leggazdagabb fátlan növénytársulásunk fajai kiválóan alkalmazkodtak a kontinentális éghajlat forró, száraz nyaraihoz, az évi átlagban 500 mm, vagy annál kevesebb csapadékhoz, valamint a jelentős évi hőingáshoz (22°C). A *Salvio-Festucetum rupicolae* vertikálisan jól strukturált, széleslevelű kétszikűekben gazdag, majdnem teljesen zárt (90-95 %-os borítású) társulás, degradált állapotban viszont leegyszerűsödik. A benne potenciálisan előforduló, áttelelő 8-10 fűfaj kompetitív hierarchiája kulcsfontosságú a sztyepp és későbbi vegetációs állapotainak (beleértve a degradációt) változásában. A löszpusztarétek a középhegységi pusztafüves lejtőkkel állnak genetikai kapcsolatban, ahonnan az új ősmátra-elmélet értelmében (BORHIDI 1997) fajaiknak egy részét visszanyerték. Fajkészletükben sok a pontuszi, illetve kontinentális elterjedésű taxon, de gyakoriak az erdősszeppfajok is. Az uralkodó barázdált csenkesz (*Festuca rupicola*) és a másik névadó ligeti zsálya (*Salvia nemorosa*) mellett jellemző többek között a

magyar kutyatej (*Euphorbia pannonica*), a szürke gurgolya (*Seseli osseum*), degradált állományokban a tejoltó galaj (*Galium verum*) és a legeltetés hatására is felszaporodó fenyérfű (*Botriochloa ischaemum*). A fajgazdag gyepben *Quercetalia* elemek is előfordulnak. Az egykori pannonicumi vegetációban igen nagy kiterjedésű löszfelszíneket fedtek a löszpusztagyepek, de kiváló csernozjom talaja miatt egykori állományainak többsége intenzíven művelt mezőgazdasági területté alakult. Napjainkban csak elszórtan maradtak meg kisebb nagyobb foltjai az Alföld és a dombvidékek löszterületein (BORHIDI 2003, FEKETE 1981, FEKETE 1992, ZÓLYOMI & FEKETE 1994).

4.1.2. Vizsgálati helyszínek

4.1.2.1. **Gödöllő** (léptékfüggő vizsgálat)

A léptékfüggő vizsgálatot Gödöllő déli részén, a Valkó felé vezető út közelében talált (é.sz. 47°36', k.h. 19°24', tszf. magasság 210 m) ruderális *Falcario-Agropyretum repentis* gyomtársulás *Elymus repens* dominálta, nagy kiterjedésű (kb. 1/2 hektár) foltjában végeztük 2001. október 17-én. Az évek óta felhagyott (a vizsgálat óta már beépített) területen kialakult, *Elymus repens* dominálta, ruderális *Falcario-Agropyretum repentis* gyomtársulásban az évelő *Elymus repens* mellett másik két gyomtaxon, az *Artemisia vulgaris* és a *Daucus carota* nagy kiterjedésű foltjai is jellemzőek voltak. A bugacpusztai homoki legelőhöz képest is kevésbé strukturált és mozaikos ruderális vegetáció, a löszpusztarétnél jóval egyszerűbb fiziognómiával rendelkezett. A terület semleges kémhatású, tápanyagokban gazdag talaja jelentős agyagfrakciója miatt a bugacpusztai területnél jobb víztartó képességekkel rendelkezett.

4.1.2.2. **Bugacpuszta** (manipulációs kísérlet – legeltetés kizárása)

A kiválasztott vizsgálati területek közül, a pontus-pannóniai évelő homokpuszták csoportjába tartozó, extenzíven legeltetett homoki száraz legelő /*Cynodonti-Festucetum pseudovinae* Soó (*in* Aszód 1935) 1957/ Bugacpusztához közel, a Kiskunsági Nemzeti Park területén található (é.sz. 46°41', k.h. 19°36', tszf. magasság 130 m).

A bugacpusztai homoki száraz legelő talajtani viszonyainak leírásához 2002. szeptember 19-én egy méter mély talajszelvényt készítettünk (a legeltetett és a legeltetési terület határán az eddy kovariancia torony mellett). Ezenkívül évente vizsgáltattunk be különböző mélységekből származó talajmintákat laboratóriumokban. A talajminták analízise alapján a vizsgált terület csernozjom típusú homoktalaja a trágyázás miatt viszonylag magas humusz- és nitrogéntartalommal rendelkezik, és kémhatása enyhén lúgos (pH 7,3-8,6). A talajvíz-szint átlagos mélysége 6 méter volt. A vizsgált három frakció közül a homok átlagos részesedése volt a legnagyobb (60%), míg a talaj agyag- és iszaptartalma megegyezett (20%). A talajszelvény vizsgálata során 30 cm vastag humuszréteget találtunk – de egyes taxonok élő gyökerei egy méternél is mélyebbre hatoltak – és három genetikus szintet (A, B, C) és utóbbiakon belül 5 talajréteget (A_0, A_1, B, C_1, C_2) sikerült azonosítani. A felső 5 cm-es világosszürke, illetve barnás-fekete, laza A_0 homokréteg morzsás szerkezetűnek, gyökerekkel nemezszerűen átszőttnek bizonyult. Átmenete a szintén száraz, szürkésfekete, azonos szerkezetű A_1 elnevezésű homokrétegbe (5-10 cm) éles volt. Az A_1-et is sűrűn átszőtték a gyökerek (rengeteg hajszálgyökér volt megfigyelhető), de átmenete a 10 és 30 cm között jellemző szürkésfekete, száraz B szintbe fokozatos volt. A tömörödöttebb B szint gyökérzettel csak közepesen átjárt és átmenete a mélyebben fekvő (30-55 cm) világossárga C_1 réteg felé nyelves típusú volt. Az erősen tömődött, száraz, homok dominálta C_1-ben már csak kevés gyökérzet.figyelhető meg, de jellemzőek az apró, lekerekített, kavics nagyságú mészkiválások (göbecsek) és a csigák. A legmélyebben fekvő (55-100 cm) sárga színű, száraz iszapos homokréteg (C_2) igen erősen tömődött. A C_1-hez hasonlóan itt is kevés a gyökérzet, de gyakoriak a kavics nagyságú mészkiválások és a csigák (Rajkai Kálmán szóbeli közlése).

4.1.2.3. **Isaszeg** (manipulációs kísérlet – műtrágyázás)

In situ manipulációs kísérleteink közül a műtrágyázáshoz kapcsolódó vizsgálatokat a Gödöllői-dombság még nagyobb kiterjedésű löszgyepekkel jellemezhető területén, az Isaszeg és Nagytarcsa közötti löszpusztaréten (é.sz. 47°42', k.h. 19°24', tszf. magasság 255 m) végeztük. A természetvédelmi szakhatóság által engedélyezett terület Isaszeg településtől 3 kilométerre, nyugatra – Nagytarcsa irányába – található. A döntően sík, de Ny-i irányba enyhén lejtő dombtetőn a mintegy 2 hektár kiterjedésű löszpusztarétet délről és nyugatról mezőgazdasági kultúra, északról galagonya-kökény cserjés (*Pruno spinosae-Crateegetum*), keletről telepített akácsor határolja. (A helyszín megközelítése délről – a mezőgazdasági kultúrán keresztül – történt. 2004-ben napraforgót ültettek a környező szántóterületen, ezért ebben az évben a terepi méréseinket július közepétől a betakarításig /október vége/ szüneteltetnünk kellett.)

Az isaszegi löszpusztarét talajtani jellemzéséhez 2002. őszén a vizsgált löszpusztarét területén 1 méteres mélységű talajszelvény került kiásásra, melynek révén, valamint a talajminták több laboratóriumban történt kiértékelése segítségével sikerült meghatározni és leírni a pedológiai jellemzőket. Az isaszegi objektum talaja közepesen erodált, mészlepedékes csernozjom, gyengén lúgos kémhatással (pH 7.6-7.9). Az ásványi tápanyagokban gazdag, agyagásványok következtében jól strukturált (BARTHA *et al*. 1997, MUCINA & BARTHA 1999) csernozjom talajnak nagy a kation-adszorpciós képessége és kedvező a vízháztartása. A humuszos réteg vastagsága 40 cm volt, míg a talajvíz átlagosan 10 méter mélyen található. A vizsgált frakciók közül az iszap átlagos részesedése volt a legnagyobb (60%), ezt követte az agyag (30%), majd a homok (10%). A talajszelvény alapján két fő talajszintet (A és C), illetve ezen belül négy genetikus réteget (A_0, A_1, AC, C) sikerült elkülöníteni. A gyökerekkel nemezszerűen átszőtt legfelső (0-15 cm) réteg (A_0) apró morzsás, laza szerkezetű. Színe világosabb szürkésbarna és élesen megy át a sárgásbarna A_1 szintbe, mely a legfelső réteggel megegyező szerkezetű és 15-20 cm mélyen figyelhető meg. A gyökerekkel sűrűn átszőtt (számos hajszálgyökér), nyirkos A_1 rétegből fokozatos átmenettel jutunk el a 20 és 40 cm között jellemző AC szintbe. Ebben a rétegben a humuszos talajrész sárgásbarna, nyirkos, vályogos, míg a lösz dominálta száraz, porózus (enyhén tömődött) és sárgásszürke. A humuszos szint jellegzetesen nyelves végződésű. A lehúzódó gyökerek mentén mészerek figyelhetők meg. A talajszelvény legalsó – Gödöllőre már nem transzplantált – rétege a 40 cm-től 100 cm-es mélységig uralkodó a sárga színű, száraz C szint. A vályogos, porózus szerkezetű, közepesen tömődött rétegben mészbevonatok, illetve apró, lekerekített, kavics nagyságú mészkiválások (göbecsek) jellemzőek. A gyökerek mentén és az állatjáratokban humuszerek figyelhetők meg (Rajkai Kálmán szóbeli közlése).

4.1.2.3. **Gödöllő** (manipulációs kísérlet – öntözés)

Az isaszegi löszgyep állományból 2002. április 22-én hasonló növényzettel borított talajkockákból 40 darabot (40 x 40 x 40 cm-es) transzplantáltunk a Szent István Egyetem Botanikus Kertjébe (Gödöllő, é.sz. 47°36', k.h. 19°26', tszf. magasság 220 m), a területen található "Globális Klímaváltozás és Növényzet" EU kísérleti long-term növényökológiai kutatóállomás közelébe. A transzplantált monolitokat (40 x 40 x 40 cm) két transzszekt mentén 5-5 azonos méretű löszgyep folttá rendeztük (0,8 x 0,8 m). Az így kialakított összesen tíz monoliton végeztük az öntözés hatását vizsgáló kísérletet, 5-5 öntözött és kontroll állományfolton. A transzplantált monolitok miatt a vizsgált gödöllői löszgyep állományok talajtani viszonyai megegyeztek az isaszegi területével.

4.1.3. Manipulációs vizsgálati módok

4.1.3.1. A korábbi kezelés (legeltetés) kizárása

A Bugacpuszta közelében elhelyezkedő, évtizedek óta extenzíven legeltetett homoki száraz legelő (*Cynodonti-Festucetum pseudovinae*) minimális térszínkülönbségekkel (<3 m) jellemezhető, nagy

kiterjedésű (10000 ha) állományából, egy kb. 6 ha-os villanypásztorral 2002. július elején – az EC állomástól nyugati irányba – elkerített félkör alakú rész reprezentálta a legeltetés felhagyását, melynek középpontja 500 méter távolságra és dél felé helyezkedett el az állatok alvókarámjától és egyben téli szállásától. A szürkemarhákkal extenzíven legeltetett – az elkerített gyeppel érintkező – kontroll területen legelési időszakban (május 1-től október 31-ig) az átlagos legelési ráta 0,53 és 0,75 állat/ha között változott. 2003-ban az aszály miatt két hónapra (július és augusztus) meg kellett szakítani a tradicionális hat hónapig tartó legeltetést.

4.1.3.2. Műtrágyázás

Az Isaszeg és Nagytarcsa közötti löszpusztarét két tízméteres transzszektje mentén kiválasztott összesen 10 állományfolt (1 x 1m) közül ötben évi egyszeri alkalommal – 2003-ban és 2004-ben a vegetációs időszak kezdetén (áprilisban), míg 2002-ben a GREENGRASS projekt közös mérési protokolljának elhúzódása miatt csak június 13-án – műtrágyáztuk a gyepet. Az NH_4NO_3, P_2O_5 és K_2O formájában kiszórt mennyiség 100 kg N ha^{-1}, 50kg P ha^{-1}, 50kg K ha^{-1} –nak felelt meg.

4.1.3.3. Öntözés

Az isaszegi löszgyep állományból 2002. tavaszán Gödöllőre (SZIE Botanikus Kert) transzplantált és két transzszekt mentén 5-5 azonos méretű löszgyep folttá rendezett monolitok közül a kissé alacsonyabb térszínen lévő – egy transzszekthez tartozó – 5 darab állományfolt (0,8 x 0,8 m) egységeit öntöztük. A vegetációs időszak alatt üzemelő, automata öntözőrendszer – éjszakai locsolással – biztosította a gyep előre meghatározott, egyenletes vízellátottságát, 0.35m^3/m^3 talaj víztartalom alatt, de ahhoz közeli talajnedvességen tartva az öntözött gyepet.

4.2. Vizsgálatok módszerei

4.2.1. Állományszintű (szünfiziológiai) széndioxid-gáz és vízgőzcsere mérés

A szünfiziológiai mérések kamrametodikája két részre bontható, egyrészt a nevezett vizsgálati objektumokon használt 60 cm átmérőjű plexikamrákra, másrészt a szemléletében is új típusú, az állományszintű léptékfüggés vizsgálatára alkalmas kamrasorozat kifejlesztésére (utóbbi kamrák technikai paramétereit az „Eredmények és értékelésük” c. fejezetben ismertetem). Mindkét esetben saját fejlesztésű, általunk tervezett és épített kamrákkal történtek a szünfiziológiai vizsgálatok. A mérések 2002-től 2003. májusáig a homoki száraz legelőn és a löszpusztagyepben egyaránt 5-5 darab állandó vegetációfolton, ún. „zárt kamrás módszerrel”, *in situ* roncsolásmentesen történtek. Az állományszintű CO_2- és H_2O-fluxus vizsgálatokhoz LiCor-6200 (Lincoln, Nebrasca, USA) hordozható, infravörös gázanalizátort, valamint henger alakú, ventillált, víztiszta plexikamrát (60 cm átmérőjű és 70 cm magasságú) használtunk (leírását bővebben LD. az „Eredmények és értékelésük” résznél). Zárt rendszerű szünfiziológiai vizsgálatnál a rövid ideig tartó mérési egységek (maximum 1-2 percig tartott, a ventilláció légkeverése révén már néhány másodpercen belül biztosított egyenletes gázeloszlás után), továbbá a mérések között a kamra alapjának felemelésével együtt járó „szellőztetés” tette lehetővé, hogy mindig a környezetével megegyező, az előző méréssel közel azonos kiindulási körülmények között történjenek az egymást követő adatgyűjtések. A rövid időtartamú mérések során a kamrák nem párásodtak, és a folyamatos ventilláció következtében nem alakult ki felületi határréteg rezisztencia a vizsgált növényfoltok egyedeinél. Zárt rendszerű kamrás mérésnél minden egyes vegetációfolton 5-5 egymást követő mérés történt, melyeket a nap folyamán minden állományfolton egy vagy több alkalommal még megismételtünk. A transzplantáció során Gödöllőre szállított löszgyep monolitok zárt kamrás mérése 2002-ben értelmezhetetlen és hibás fluxus értékeket eredményezett. Ennek az volt az

oka, hogy a nem tökéletesen illesztett monolit darabok (40 x 40 cm) közti repedéseken keresztül jelentős mennyiségű CO_2 feláramlás történt, mely problémát 2003-ra – a repedések csernozjom talajjal történt tömítése révén – sikeresen orvosoltunk. Annak ellenére, hogy zárt kamrás technikával nagy hőmérsékleti tartományban (≤35°C) vizsgálható a fátlan vegetáció, terepi mérési tapasztalataink alapján kiderült, hogy ez a rendszer nem alkalmas 35°C-nál magasabb léghőmérsékleten való mérésre, mivel az ennél magasabb léghőmérséklet ventillálása egységes és gyors sztómazáródást eredményezett a kamrán belül. Ezért szintén metodikai újításként 2003. májusától CIRAS-2 infravörös gázanalizátort használva (PP Systems, Hitchin, UK), ún. „nyílt kamrás" technikával mértük az állandó vegetációfoltok működését a vegetációs periódus során évente több alkalommal. A mérések rendszeresebbek voltak a tavaszi intenzív növekedési periódus során, míg a nyári nyugalmi periódusban csak kivételes alkalommal történtek állományszintű vizsgálatok. A módszer egyik előnye a zárt kamrás technikával szemben, hogy folyamatos és automatikus mérést tesz lehetővé (így a kapott adatok mennyisége hatványozottan növekedett), továbbá 35°C-nál magasabb léghőmérsékleten is használható, mivel a kamrán belüli Tair a folyamatos kicserélődés következtében megegyezett a külső légtér hőmérsékleti viszonyaival. A nyílt kamrás mérésekhez használt áttetsző, víztiszta plexikamra 60 cm átmérőjű hengerpalástból és a tetején légmentesen rögzített félgömb alakú átlátszó részből állt (CZÓBEL *et al.* 2004). A levegő kamrán belüli egyenletes keveredését és a légcserét külső ventillátor biztosította, ennek teljesítményét, azaz az áramlási sebességet feszültségszabályozó segítségével állítottuk be. A szünfiziológiai mérések időintervalluma minden egyes folt és állomány esetében 50 és 90 perc között változott. A zárt kamrához képest hatványozottabban több és finomabb felbontású adatmennyiség, illetve a párhuzamosan történt vizsgálatok (pl. cönológia, biomassza, talaj) időigényessége miatt nyílt kamrás mérés minden egyes mérési napon a vizsgált állományok 2-2 kiválasztott foltján történt. A CIRAS IRGA-ja percenként 6 mintavételezéssel egyidejűleg mérte a CO_2-fluxus differenciáját (a referencia és analízis levegő CO_2-koncentrációját a kamra bemenő és kimenő csövén), továbbá a kamrával fedett állomány evapotranszspirációját (ET, szintén a referencia és analízis levegő vízgőz koncentrációja révén), párhuzamosan a fotoszintetikusan aktív radiációval (PAR) és a léghőmérséklettel (Tair). A CO_2-fluxus számításoknál a parciális nyomás hőmérséklet függése miatt hőmérséklet korrekciót alkalmaztunk, amelyhez az adott mérési napon az adott állomány CIRAS-sal mért hőmérsékleti átlagait használtuk fel.

A nyílt rendszerű mérés fluxus számításaihoz a következő differenciál egyenlettel kalkuláltunk:

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

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 mérési hibaként értelmezhető – minden esetben kiugró CO_2-fluxus értékekkel együtt járó – negatív evapotranszspirációs értékek, továbbá a mérés kezdeti és záró szakaszának kiugró értékei (humán respiráció miatt) nem lettek figyelembe véve.
A nyílt rendszerű kamrás és az eddy kovariancia (LiCor 7500) technikával mért CO_2-fluxusok összehasonlításához a CIRAS-2 által mért fluxusok közül csak azokat a félórás átlagértékeket használtuk, melyekhez folyamatos adatsor állt a rendelkezésünkre.

4.2.2. Léptékfüggő szünfiziológiai vizsgálat

A *Falcario-Agropyretum repentis* társulás *Elymus repens* dominálta szubasszociációjában mind a hat vizsgált térbeli léptékben (7,5; 15; 30; 60; 120; 240 cm-es átmérőjű kamrákban) 30-30 mérést végeztünk az állományszintű fotoszintetikus aktivitás (NEE), valamint a szünfiziológiai minimi area meghatározására. A térbeli léptékfüggő vizsgálatok zárt kamrás technikával, LiCor-6200-as gázanalizátor (Lincoln, Nebrasca, USA) segítségével 2001. október 17-én történtek. A mérés napján a társulás fajai már befejezték intenzív növekedési ciklusukat, teljesen kifejlődtek és látszólag semmilyen stresszténye nem befolyásolta a működésüket. A mérések során a mikrometeorológiai körülmények (PAR, Tair) nagyon hasonlóak voltak, lehetővé téve az állományszintű fotoszintetikus aktivitás előre determinált térbeli léptékekben történő vizsgálatát és egyben kizárva az NEE időbeli variabilitását (CZÓBEL *et al.* 2005c).

4.2.3. Mikrometeorológiai vizsgálatok

A kutatáshoz kapcsolódó meteorológia vizsgálatokat folyamatos és időszakosan rögzített mérésekre bonthatjuk. Bugacon a folyamatos mikrometeorológiai mérések az eddy kovariancia mérőállomáson történtek, melynek műszerparkja többek között mérte a léghőmérsékletet VAISALA HMP35AC szenzor (1 m magasságban), a fotoszintetikusan aktív radiációt SKP215 quantum szenzor (2 m magasan), a talajnedvességet CS615-ös víztartalom reflektométer (5 cm mélyen), míg a csapadékot ARG100 csapadékmérő (talajszinten) segítségével, melyek adatait (félórás, illetve órás átlagok) CR21X és CR23X automata adatrögzítők tárolták. Hordozható ökofiziológiai műszereink szenzorainak (PAR, SWC) meghibásodása miatt a CO_2-fluxus különböző paraméterektől való függésének megállapításához a bugaci EC állomás műszereinek adatait is felhasználtuk a következő néhány alkalommal: PAR – 2003. május 13-14., SWC – 2003. április 1. Az EC mérőállomás 2002. július 3-án lett beüzemelve és – néhány megszakítástól eltekintve – folyamatosan működött a vizsgálati időszak végéig. A RUE kiszámításához és az ANPP ábrájához szükséges 2002-2004. évi éves csapadékösszegeket a bugaci EC állomás csapadékszenzora által rögzített értékek alapján kalkuláltuk. Adatkimaradás vagy adathiány (pl. 2002. január 1. és 2002. július 3-a között) esetén a legközelebbi meteorológiai mérőállomás (Kecskemét: K-puszta) világhálóról letölthető (www.weatheronline.co.uk) adatait használtuk. A hosszútávú hőmérséklet átlagokat szintén a K-pusztai állomás adatai alapján sikerült az OMSZ Könyvtárában összegyűjteni, míg Kecskemét 50 éves csapadékátlagához SZÁSZ (2005) munkáját használtuk fel.

A SZIE gödöllői Botanikus Kertjében a folyamatos mikrometeorológiai mérések közül a léghőmérsékletet HIP45C szenzor, a fotoszintetikusan aktív radiációt SP1110 típusú szenzor, a csapadékösszeget ARG100-as szenzor, míg a talajnedvességet CS615-ös típusú TDR szenzorok mérték az itteni mikrometeorológiai állomás részeként. A szenzorok beérkező adatait (órás átlagok) CR10-es automata adatrögzítő tárolta. A talajnedvességet az öntözött és a kontroll állományok közül a középső monolitba telepített szenzorok mérték a felső 30 cm-es réteg átlagértéke alapján. A kezelt állományokban az automata öntözőrendszer csak a vegetációs időszak éjszakai óráiban üzemelt egészen addig, amíg az SWC elérte az előre meghatározott értéket (0,35 m^3 m^{-3}). Az isaszegi műtrágyázott állomány területén csak a kamrás mérésekkel párhuzamosan történtek mikrometeorológiai vizsgálatok (Tair, PAR, SWC). A környező települések közül Nagytarcsán nem található meteorológiai mérőállomás, míg Isaszegen csak a napi csapadékösszegeket és léghőmérsékleteket mérő OMSZ állomás üzemel (száma: 44216), ezért a mindössze egy alkalommal kieső PAR értékeket (2003. április 23.) a mindössze 10 km-re K-re fekvő gödöllői állomás adatai alapján pótoltuk. A löszgyep állományoknál a RUE számításához és az ANPP ábrájához szükséges éves csapadékösszegeket (2002-2004) egyrészt a világhálóról is letölthető isaszegi adatok (www.cuma.hu/szakkor/homepage/szakkor/csapadek.html az isaszegi műtrágyázott és kontroll

állománynál), valamint Gödöllőn a Botanikus Kert csapadékszenzorai által rögzített értékek alapján kalkuláltuk (a gödöllői öntözött és kontroll állománynál). A gödöllői állomás adatkimaradása (2003. január 27. - 2003. április 8.) esetén a legközelebbi isaszegi mérőállomás adatait használtuk az adatok pótlására.

A CO_2-fluxus adatok pontos kiértékelése érdekében a fotoszintetikusan aktív radiációt (PAR) és léghőmérsékletet – a kamrás mérések során – időszakosan is mértük a vizsgált homoki legelő és löszgyep állományokban, hordozható infravörös gázanalizátorok /CIRAS-2 (PP Systems, Hitchin, UK); LiCor-6200 (Lincoln, Nebrasca, USA)/ és kézi Ceptométer (Decagon, Washington, USA) segítségével. Ezenkívül az állományfelszíni hőmérsékletet és a talajhőmérsékletet is rögzítettük (Raytek MX-4 infrahőmérő) minden vizsgált foltban és mérési alkalommal.

4.2.4. Vízhasznosítási hatékonyság (WUE) számítása

A növények/növényzet fotoszintézis vízhasznosítási efficienciája (WUE) az egységnyi időtartam alatti szén-dioxid felvétel (steady-state körülmények között ez egyenlő a fotoszintézis-intenzitással) és ezzel párhuzamos vízgőzleadás (transzspiráció vagy evapotranszspiráció) hányadosaként fejezhető ki. A WUE a növények vagy növényzettel borított állományfoltok sztómához kötött diffúziós folyamatainak hatékonyságát fejezi ki. Ismerete elsősorban korlátozott vízellátás körülményei között fontos (TUBA & CSINTALAN 2002).

Az állományszintű WUE-t a nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere és a növények és a talaj együttes transzspirációja, azaz evapotranszspiráció által leadott vízmennyiség (ET) hányadosaként fejeztük ki másodpercre és négyzetméterre vonatkoztatva. A számításhoz az alábbi egyenletet használtuk:

$$WUE = \frac{NEE}{ET} \quad (\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}\ CO_2 * mmol\ m^{-2}\ s^{-1}\ H_2O^{-1})$$

4.2.5. Levélfelület (LAI) becslés

A LAI becsléséhez 2002-ben minden állományban kézi Ceptométer-t (Decagon, Washington, USA) és excel makrót használtunk. A ceptométerrel foltonként mért 5-5 érték átlagából CAMPBELL (1986) algoritmusán alapuló – *Excel (Visual/Basic)* makróban írt – szoftver segítségével kalkuláltuk a LAI becsült értékeit. A ceptométeres LAI becslés csak felhőtlen időjárási körülmények között lehetséges, ezért 2003-tól a vizsgálati időszak végéig olyan infravörös NDVI kamerával (ADC DYCAM) becsültük a fotoszintetikusan aktív levélfelület-index értékeket (zöld LAI), mely borult ég esetén is alkalmas erre a célra. Mindkét bugaci állományban állandó kvadrátokban végeztük az NDVI alapú LAI becslést. Ezek a kvadrátok nem egyeztek meg azon állományfoltokkal, ahol a CO_2-fluxus mérések történtek, de fiziognómiájuk hasonló volt. Az NDVI értékekből a következő talajkorrekciós vegetációs index (SAVI = Soil Adjusted Vegetation Index) alapján számítottuk ki a zöld LAI-t: SAVI=((Infravörös pixel - Vörös pixel)/(Infravörös pixel+vörös pixel+talaj))*(1+talaj)

4.2.6. Talaj víztartalom (SWC) mérés

Mindhárom vizsgálati területen TDR reflektométerrel (ML2, Delta-T Devices Co., Cambridge, UK) határoztuk meg a talaj víztartalmát. A mérések három különböző talajmélységben (5, 10 és 20 cm) és állományonként minimum három ismétléssel végeztük. A bemutatott SWC értékeknél a különböző

talajmélységekben mért értékek átlagait tüntettük fel. Isaszegen és Gödöllőn a kamrás mérésekkel párhuzamosan folyamatos talaj víztartalom mérések (TDR reflektométerrel) csak a kontroll állományokban történtek.

4.2.7. Cönológiai vizsgálatok és a fajok funkcionális csoportba sorolása

Az összborítás értékeket Braun-Blanquet módszerén alapuló, a fajok százalékos borítási értékeinek becslésével állapítottuk meg. A cönológiai mintavételek Isaszegen és Gödöllőn mind az 5-5 kijelölt állományfolt teljes területét lefedték. /A löszgyep állományok közül tehát Isaszegen minden alkalommal és típusban 5 m^2-nyi gyep, míg Gödöllőn 3,2 m^2-nyi gyep cönológiai felvételezése történt meg./ Bugacon az egyaránt 6 ha kiterjedésű legeltetéstől elkerített, illetve vizsgált legelt állomány teljes cönológiai felvételezésére nem volt lehetőségünk. Ezért mindkét homoki legelő típusban, minden alkalommal az EC állomás közeléből kiinduló, K-Ny irányú, 50 méter hosszúságú és 40 cm szélességű transzszektben történtek a mintavételezések. A bugaci transzszektek összesen 8-8 m^2-es területét 200 darab 0,2 x 0,2 m-es (0,04 m^2) mikrokvadrát alkotta. Mivel a kamrás NEE mérések, illetve a LAI becslések a cönológiai vizsgálatok transzszektje mentén, illetve annak közelében történtek, ezért a szünbotanikai és szünfiziológiai eredmények a homoki legelőn is jól összevethetők. Isaszegen és Bugacon 2003. tavaszán nem történt cönológiai felvételezés, de a homoki legelőn 2003. őszén két alkalommal is (szeptember és október) történt szünbotanikai mintavételezés.
A fajok nevezéktana SIMON (2000), a társulásoké BORHIDI (2003) művét követte. A cönológiai felvételekben szereplő taxonok szociális-magatartástípusait BORHIDI (1995), míg az egyes fajok Raunkier-féle életformáit SIMON (1994) műve alapján határoztuk meg. Az életformák esetében, ha egy taxonhoz több életforma típus is meg volt adva, akkor csak a vizsgálati területre jellemző egyetlen kategóriát szerepeltettük. A C_4-es taxonok kigyűjtése KALAPOS (1991), illetve KALAPOS *et al.* (1997) munkái alapján történt.

4.2.8. Diverzitás vizsgálatok:

A rendelkezésre álló cönológiai adatok alapján minden egyes mintavételi egységre kiszámoltuk az állományfoltok Shannon-diverzitás értékeit, kivéve a bugaci állományokat, ahol 25 mikrokvadrát összevonásával összesen 1-1 m^2-nyi területet vettünk egységnek. (A 25 mikrokvadrát összevonását az indokolta, hogy a löszgyep állományokkal egyező, illetve hasonló területegységekre kapjunk Shannon-diverzitás értékeket, így a két gyeptípus diverzitás átlagai összevethetővé váltak.) A kiszámított SD értékeket a diverzitás egységek értékei alapján az adott állományra és időpontra leátlagoltuk.

4.2.9. Biomassza vizsgálatok

A vizsgált állományok föld feletti biomasszát (hajtás + reproduktív képletek) évente kétszer (késő tavasszal és ősszel a vegetációs időszak végén) vizsgáltuk, melynek során Isaszegen és Gödöllőn 5 cm feletti magasságban vágtuk le a gyepet mindkét típus összes (5-5) kvadrátjában. Bugacon a nem legelt és a legelt területen – a cönológiai felvételezésekhez használt transzszekt közelében – szintén évi kétszer gyűjtöttük a teljes (talajszintig vágott) FFB-t, állományonként 5-5 darab 0,4 x 0,4 m-es kvadrátból. Az FFB vizsgálatokkal párhuzamosan 6 cm átmérőjű talajfúróval állományonként 6-10 mintát is vettünk, 20 cm-es mélységből a FAB (gyökérzet) meghatározására. A talajszelvény, illetve egy német kutatócsoport általa CarboEurope-IP projekt keretében gyűjtött 1 méter hosszú és 10 cm átmérőjű talajminták alapján kiderült, hogy a felső 20 cm-es talajréteg gyökérzete nem reprezentálja megfelelően a FAB-ot, ezért ezen adatokat csak a biomassza elemtartalmánál értékeltük ki. A föld feletti illetve a talajszemcséktől megtisztított föld alatti képletek friss tömegét külön-külön mértük,

majd papírzacskókba csomagoltuk. (Amennyiben a FFB-nél virág illetve termés volt a növényeken, akkor ezeket külön-külön is lemértük.) A gyűjtött mintákat szárítószekrénybe helyezve 80°C-on, minimum 48 órán keresztül légszáraz (tömegállandósági érték) állapotra szárítottuk.
Az éves nettó primer produkció (ANPP) kiszámítása mindhárom objektum állandó kvadrátjain az éves biomassza vágások (FFB) szezonális átlagértékeinek (tavasz, ősz) összeadásával történt, kivéve 2002-ben a két gödöllői állomány esetében, ahol az első vizsgálati évben csak a vegetációs időszak végén vágtuk le az FFB-t, hogy a transzplantációt követően minél nagyobb mértékben regenerálódhassanak a monolitok. Mivel csak Bugacon lett begyűjtve a kijelölt kvadrátok összes föld feletti biomasszája, ezért az isaszegi és gödöllői állományoknál az 5 cm-nél alacsonyabb, helyben maradó biomassza ceptométerrel, illtve NDVI kamerával becsült LAI értékekkel egészítettük ki az ANPP-t.
A potenciális primer produkció (PPP) kiszámításához a föld feletti biomassza (szárított) terület- (m^2) és időegység (hetenkénti) alapú produkció növekedését vettük figyelembe a vegetációs periódus során. A vegetációs időszak kezdetét az 5°C-ot elérő napi középhőmérséklettől, míg végét az 5°C-ot meghaladó napi középhőmérsékletig számítottuk, VARGA-HASZONITS & VARGA (2004) munkája alapján. Az őszi PPP kalkulációjánál az aszályos nyári időszakot (általában július és augusztus) nem vettük figyelembe, de a szárazságstresszelt időszak évenkénti hosszának meghatározásánál felhasználtuk a bugacpusztai EC állomás napi C-mérleg adatait is.
A csapadékhasznosítási hatékonyság (RUE) kalkulációja Huxman *et al.* (2004) munkája alapján történt, a következő egyenlet felhasználásával:

RUE = ANPP (g) évi csapadékösszeg (mm^{-1})

4.2.10. Biomassza elemtartalom (C, N, P) meghatározás

A löszgyep és a homoki legelő állományaiból évente kétszer begyűjtött FFB és FAB 3-3 randomszerűen kiválasztott – de eltérő kvadrátokból származó – mintáiból került meghatározásra az adott biomassza százalékos C, N és P elemtartalma. A mintákat 2002-ben a GREENGRASS projekt keretein belül központilag kiválasztott franciaországi laboratóriumban (INRA Dijon), 2003-ban a SZIE Talajtani és Agrokémiai Tanszékén, míg 2004-ben az Erdészeti Tudományos Kutatóintézet sárvári laboratóriumában analizálták összC- és összN-tartalomra, százalékos értékben kifejezve. A metodikai eljárás lényege a következő volt. A jól előkészített (légszárított, homogénre őrölt) mintát, 1000 ^{o}C-on elégetik. Az égéskor keletkező gázok (főleg CO_2 és NO_2) egy állandó összetételű gázáramba kerülnek (He). Egy nagyfelületű oszlopon a gázok elválasztása megtörténik, majd a retenciós idő alapján egy elektromos vezetőképességi detektoron a kémiai koncentráció meghatározásra kerül. A vizsgálathoz használt berendezés neve Eurovector EA 3000. A szintén százalékos értékben kifejezett foszfor tartalom meghatározása minden alkalommal a Corvinus Egyetem Villányi úti laboratóriumában (korábban Kertészeti Egyetem) atom emissziós spektrométer (ICP) technikával történt.

4.2.11. Talaj összC, összN, NO_3^- és NH_4^+ tartalmának meghatározása

A projekt részeként kiválasztott négy vizsgált talajparamétert a bugaci állományokban három különböző mélységből (0-10, 10-30 és 30-50 cm), míg az isaszegi és gödöllői löszgyep típusokban 2-2 – a bugacpusztaitól eltérő – talajrétegből (0-20 és 20-40 cm) gyűjtöttük. A mintákból – a biomassza C- és N-elemtartalmához hasonlóan – 2002-ben Franciaországban (INRA Dijon), 2003-ban a SZIE Talajtani és Agrokémiai Tanszékén, míg 2004-ben az Erdészeti Tudományos Kutatóintézet sárvári laboratóriumában határozták meg a talaj összC- és összN, valamint nitrát és ammónia tartalmát. A talaj C- és N-tartalom vizsgálatával egyidejűleg, tömegmérésen alapuló víztartalom meghatározásra is sor került. Az ammónium mérése indofenol-kék spektrofotometriás módszerrel történt Unicam 8700 spektrofotométer segítségével.

4.2.12. Adatfeldolgozás és statisztikai kiértékelés

A kapott adatok feldolgozása és értékelése többféle statisztikai programmal történt. Az alapadatok feldolgozásához és alap statisztikai számításokhoz Microsoft Excel 2003-at használtunk. Az ábrák SigmaPlot 8.0 program segítségével készültek. A kontroll és a kezelt állományok adatainak összehasonlításakor a szignifikancia szintet azonos időpontok és egy-egy adatsor esetén T-próbával, míg idősoroknál, illetve időbeli változásnál – amennyiben a rendelkezésre álló adatok száma ezt lehetővé tette – a variancia analízist egy faktoros ANOVA programcsomaggal ellenőriztük. A különböző technikákkal mért CO_2-fluxusok összehasonlításánál (2. ábra), valamint az átlagos CO_2-fluxus értékek abiotikus és biotikus paraméterektől való függését feltüntető ábráknál (24-51. ábra), a lineáris és nem lineáris korrelációs értékek szignifikancia szintjének megállapítása a SigmaPlot 8.0 program által kiszámított Durbin-Watson statisztika, normalitás teszt, konstans-variancia teszt, valamint Kolmogorov-Smirnov (K-S) statisztikai analízise alapján történt. Utóbbi ábráknál minden esetben azt az illesztést alkalmaztam, amely a legerősebb korrelációs értéket mutatta.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Új, állományszintű fluxus mérésekre alkalmas kamrasorozat és kamra kifejlesztése

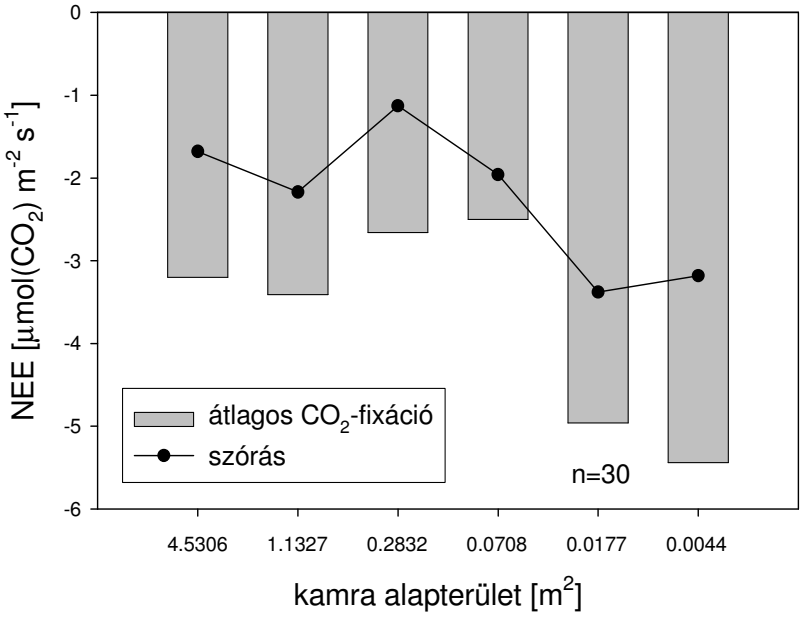
Kutatásunk során több, méréstechnikai újítást fejlesztettünk ki. A metodikai újítások keretében egyrészt megnövelt térfogatú, nem destruktív, állományléptékre alkalmas méretű, nyílt és zárt rendszerben egyaránt működtethető, 60 cm-es átmérőjű, hengerpalást alapú és félgömb tetejű CO_2- és vízgőzcserét mérő kamrát (CZÓBEL *et al.* 2004), valamint térbeli léptékfüggés vizsgálatára alkalmas, zárt rendszerben üzemelő, logaritmikusan növekvő alapterületű, plexi lapokból hajlított, henger alakú kamrasorozatot (CZÓBEL *et al.* 2005c) készítettünk (I. táblázat). A felül és oldalt egyaránt zárt – kivéve a ventillációs csövek bemeneti és kimeneti nyílását (ha voltak, LD. I. táblázat) –, hordozható kamrák minden esetben víztiszta, áttetsző, UV-B rezisztens plexianyagból, fémmerevítéssel készültek. Ennek következtében mérés során a kamrán belüli radiációs viszonyok megegyeztek a környezetével, továbbá a plexiborítás miatt a rendszer csak a kívánt csatornákon (nyílt rendszer: ventillációs csövek; zárt rendszer: a kamrán belüli szenzoroknak a kamrán kívüli LiCor 6200 IRGA-jához vezető analizátor csövein keresztül) volt átjárható a vizsgálni kívánt gázok (CO_2 és vízgőz) számára. Minden kamra alapi részén egy 5 cm-es fémgyűrű található, melynek talajba süllyesztése révén biztosítottuk, hogy a gázáramlás maximálisan kontrollált körülmények között történjen. A kamrán belüli ventilláció egyrészt a vizsgálni kívánt gázok kamrán belüli egyenletes keveredését szolgáltatta, másrészt megakadályozta a levélfelületi határréteg rezisztencia kialakulását, ami negatívan befolyásolta volna a mérési eredményeket (CZÓBEL *et al.* 2005c). Az általunk készített kamrák minden szempontból megfelelnek a szükséges technikai kritériumoknak (ŠESTÁK *et al.* 1971).

I. táblázat: Az alul nyitott, felül zárt hengeralakú kamrasorozat és az egyes kamrák ventillátorainak alapadatai. *beleértve a ventillációs cső tértogatát (ha van), **10 mérőpont átlaga. A táblázatban szereplő minden kamra magassága 0,7 m, míg a ventillátorok feszültségét mindig 230 V biztosította (CZÓBEL *et al.* 2005a).

Alapterület [m^2]	0,0044	0,0177	0,0708	0,2832	1,1327	4,5306
Átmérő [m]	0,075	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4
Kamra térfogat [m^3]	0,003092	0,012370	0,049479	0,197915	0,791658	3,166632
Össztérfogat [m^3]*	0,010632	0,022575	0,063050	0,219381	0,791658	3,166632
Ventillációs cső átmérője [m]	0,08	0,10	0,12	0,145	-	-
Ventillációs cső hossza [m]	1,5	1,3	1,2	1,3	-	-
Ventillátorok elhelyezése	külső	külső	külső	külső	belső	belső
Ventillátorok száma	1	1	1	1	1	2
Ventillátorok teljesítménye [W]	20	40	76	76	200	400 (2×200)
Névleges légszállítás [m^3 s^{-1}]	0,0236		0,139	0,139	0,83	1,66
Mért légszállítás [m^3 s^{-1}]	0,015		0,043	0,080		
Teljes légcsere számított ideje [s]	0,7	1,0	1,5	2,7	0,7	1,1
Legnagyobb légsebesség [m s^{-1}]	3,0		3,8	4,5	3,0	3,9
Legkisebb légsebesség [m s^{-1}]			1,9	1,1		1,1
Átlagos légsebesség [m s^{-1}]**			2,5	1,4	1,9	1,8

Nyílt kamrás mérésnél a folyamatos légcsere következtében a hőmérsékleti viszonyok, a PAR-hoz hasonlóan a mérés során végig azonosak voltak a külső – kamrán kívüli – közeggel. Zárt rendszerű

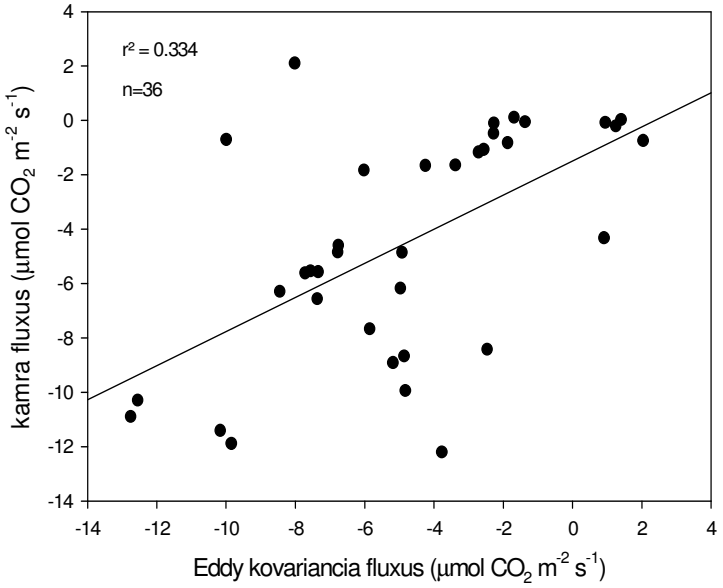
mérésnél a rövid ideig tartó mérési egységek (a ventilláció légkeverése révén már rövid idő múlva biztosított egyenletes gázeloszlás után maximum 1-2 perc), továbbá a mérések között a kamra alapjának felemelésével együtt járó „szellőztetés” tette lehetővé, hogy mindig a környezetével megegyező, az előző méréssel közel azonos kiindulási körülmények között történjenek az egymást követő mérések (CZÓBEL *et al.* 2005a).
Az általunk kifejlesztett kamrasorozat nemcsak különböző fátlan társulások eltérő méretű vegetációs foltjainak vizsgálatára alkalmas, hanem ezen metodikai újítással az egyes társulások, állományok szünfiziológiai minimi areája is meghatározható. Erre jó példa, hogy az általunk – többek között – vizsgált *Elymus repens* dominálta, évelő, ruderális *Falcario-Agropyretum repentis* gyomtársulás CO_2-asszimilációjának variabilitása egyértelmű térbeli léptékfüggést mutat (1. ábra). Az NEE legkisebb variabilitását mely feltehetőleg megegyezik az adott állomány szünfiziológiai minimi areájával a kis-közepes skálán (d=60 cm) kaptuk. Tehát az adott időszakban a vizsgált állománynak ez volt az a karakterisztikus léptéke, ahol az állományszintű működés a legstabilabb volt. (A léptékfüggés részletesebb, több állományra kiterjedő vizsgálata egy másik készülő doktori disszertáció témaköre lesz.)



1. ábra: A nettó ökoszisztéma gázcsere (NEE) térbeli léptékfüggése ruderális gyomvegetációban (Gödöllő, 2001. október 17.). A mérések hat különböző méretű kamrával és minden skálán 30 ismétléssel történtek (az alapterület 4.5306-0.0044 m^2 között változott). Az NEE átlagokat oszlopok, míg az egyes átlagokhoz tartozó szórásokat fekete pontok jelzik (Czóbel *et al.* 2005a).

A három éves vizsgálati időszak során az állományszintű CO_2-fluxusokat döntően – a 60 cm átmérőjű, félgömb alakú plexikamra és CIRAS 2 IRGA segítségével – nyílt kamrás módszerrel mértük, mert ez a fajta mérési technika lehetővé tette, hogy magas léghőmérsékleti viszonyok (Tair ≥ 35°C) mellett is pontos képet kapjunk a vizsgált objektumok szünfiziológiai működéséről. Mérési tapasztalataink során kiderült, hogy zárt rendszerű mérésnél, ilyen magas léghőmérsékleten a ventilláció a kismértékű, de állandó hőmérséklet emelkedés miatt a vizsgált növényzet gyors sztómazáródását eredményezte, így negatívan befolyásolta az NEE aktuális értékét. (Ezen kívül a nyílt kamrás metodikájú mérésnél egységnyi idő alatt sokkal több és finomabb felbontású információhoz juthatunk a zárt kamrás technikájú méréshez képest.) A kamrás mérés során kapott és feldolgozás során megszűrt eredmények minőség ellenőrzése a bugaci gyepen működő eddy kovariancia állomás LiCor7500 típusú IRGA-jával

azonos időszakban mért adatainak összehasonlításával történt. Az EC rendszer adattárolója a CO_2-fluxusok félórás átlagait rögzítette, ezért a homoki legelőn kamrás módszerrel mért NEE értékeket mi is kiátlagoltuk azonos időintervallumokra. Az eddy kovariancia és nyílt kamrás technikával mért CO_2-fluxusok félórás átlagainak összevetése nemcsak hasonló fluxus értékeket, hanem szignifikáns pozitív korrelációt ($P<0,05$) is eredményezett (2. ábra). A korrelációs egyenes meredeksége csak kismértékben tért el az 1:1 arányú illesztéstől. Az összehasonlítás alapján megállapítható, hogy az általunk használt kamrás mérés az adott időszakokra minimálisan alábecsülte a CO_2-fluxusokat az EC adatokhoz képest. A megfigyelhető különbségeket, valamint a regressziós egyenes 1:1 arányú illesztéstől való eltérését egyrészt a két mérési módszer eltérő térbeli léptéke, másrészt az EC állomás nem egyenletes – keleti irányban minimális, míg nyugat felé (legeltetéstől kizárt állomány) elnyújtott – forrásterülete (angolul footprint) okozta.



2. ábra: Eddy kovariancia és nyílt kamrás technikával mért CO_2-fluxusok összehasonlítása *Cynodonti - Festucetum pseudovinae* gyepben /Bugacpuszta, 2003-2004/

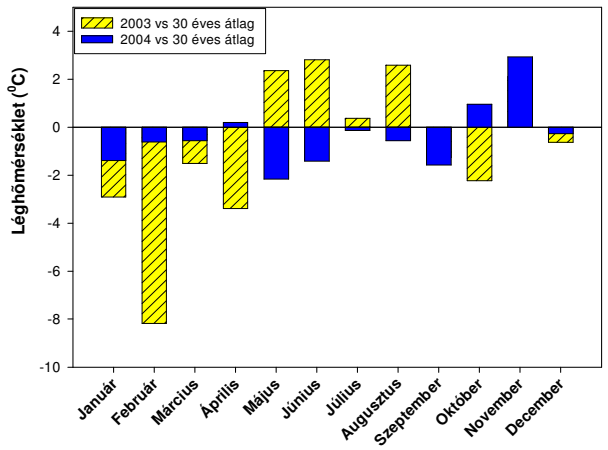
5.2. Meteorológiai paraméterek változása a vizsgálati periódus során

A klimatikus jellemzők és eltérések kiemelt fontosságúnak számítanak a szünfiziológiai működés eredményeinek értelmezésében. A vegetációdinamikai folyamatok, a szünfiziológiai működés, továbbá az évek közötti és szezonális eltérések értelmezéséhez nélkülözhetetlen – a mérésekkel párhuzamosan történő mikroklimatikus paraméterek rögzítése mellett – a főbb makroklimatikus tényezők, azaz az évi és havi léghőmérsékleti átlagok, a csapadék mennyiségének, valamint eloszlásának ismerete. A vizsgált paraméterek közül az évi átlaghőmérséklet egyedül 2002-ben volt magasabb (11,5°C) a hosszú távú átlagnál (10,3°C) és szintén ebben az évben tért el legnagyobb mértékben, 11,8%-kal. Ezzel szemben 2003-ban (9,45°C) 8%-kal, míg 2004-ben (9,89°C) 3,7%-kal volt alacsonyabb az éves átlaghőmérséklet, mint a 30 éves referencia átlag. 2002-ben a februártól augusztusig terjedő időszak havi léghőmérséklet átlaga végig a 30 éves átlag felett volt, akárcsak a novemberi átlag (II. táblázat). Jelentősebb hőmérséklet többlet csak februárban (4,29°C) és novemberben (3,28°C) figyelhető meg. Ezzel szemben a hidegebb őszi és téli hónapok közül csak decemberben számítottunk lényegesen alacsonyabb (1,58°C) havi átlagot.

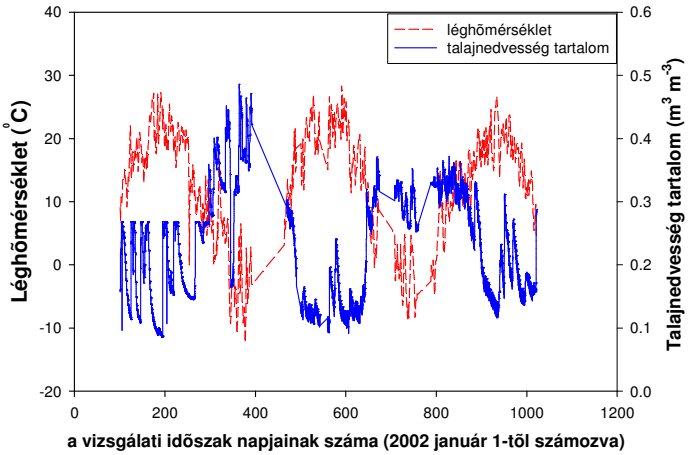
II. táblázat: A Bugacpusztán 2002-ben mért havi léghőmérsékleti átlagértékek és csapadékösszegek, valamint a Kecskemét városhoz tartozó K-puszta meteorológiai állomás hosszútávú adatsora alapján számított átlagos havi léghőmérséklet (30 éves; 1971-1999), ill csapadékösszeg (50 éves; 1951-1999)

	Jan	Feb	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szep	Okt	Nov	Dec
2002. évi Tair átlag (^oC)	-0,24	5,09	7,43	10,91	18,87	21,04	23,12	20,62	14,77	10,08	7,28	-1,08
30 éves Tair átlag (^oC)	-1	0,8	5,4	10,6	16,1	19,3	21,2	20,4	15,9	10,1	4	0,5
2002. évi havi Prec összeg (mm)	9,3	14,8	16,4	22,7	42,4	43,2	41,88	69	55	34,6	35,9	31
50 éves átlagos havi Prec összeg (mm)	29	29	28	41	55	67	54	45	37	34	49	44

Meteorológiai szempontból a sokéves átlagtól eltért a 2003-as és 2004-es esztendő, de ez a havi hőmérsékleti átlagok esetén csak 2003-ban számottevő. A havi hőmérsékleti átlagokat a 30 éves átlagértékekkel összevetve (3. ábra) megállapítható, hogy 2003 tele – különösen február – és a vegetációs időszak kezdete (március, április) jóval hidegebb, míg késő tavasza és nyara (májustól augusztusig) melegebb volt a sokévi átlagnál. Ezzel szemben 2004. vegetációs időszakában a májusi átlaghőmérséklet jelentősebben, míg a júniusi és szeptemberi középhőmérséklet kisebb mértékben volt alacsonyabb az átlagosnál. A vegetációs időszakban tapasztalható hőmérsékleti eltérések döntően a felhőtakaró hiányára (2003), illetve a túlzott felhőzöttség besugárzást csökkentő hatására (2004) vezethetők vissza. Az aktuális hőmérsékleti viszonyok természetesen szoros összefüggést mutatnak az adott élőhely talajnedvesség tartalmával (Manipulációs kísérleteink közül az öntözött állományok e téren kivételt képeztek.). A 4. ábrán jól látható, hogy a léghőmérséklet görbéjének egyfajta fordított tükörképe a vizsgált löszgyep monolitok talajnedvesség tartalma. A két görbe ellentétes futása különösen kifejezett a szárazságlimitált 2003-as esztendőben. A bugaci gyep léghőmérsékletének és talajnedvesség viszonyainak egybevetése hasonló negatív korrelációt eredményezett.



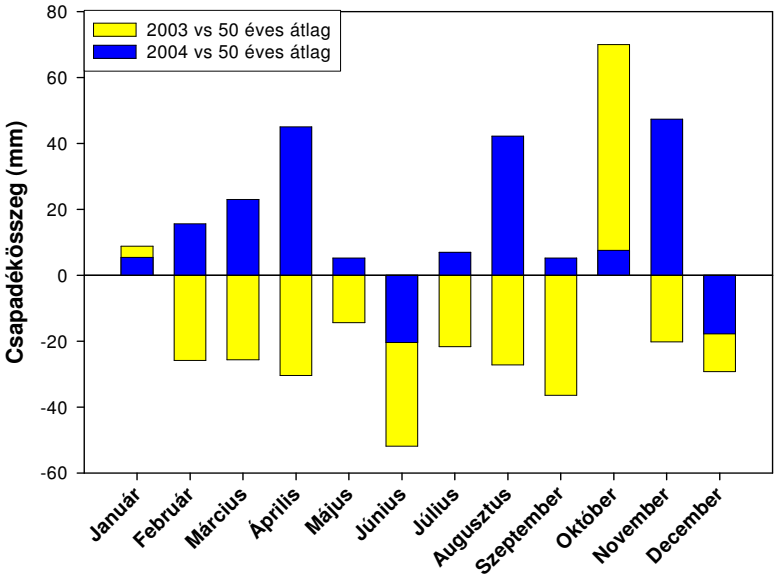
3. ábra: A bugacpusztai terület 2003. és 2004. évi havi léghőmérséklet átlagainak eltérése a 30 éves (1970-1999) átlagértékektől



4. ábra: A léghőmérséklet és a talajnedvesség összefüggése a transzplantált monolitok kontroll állományában mérve /Gödöllő, 2002-2004/

A csapadék évi összegét vizsgálva 2002-ben (416 mm) és 2003-ban (308 mm) egyaránt az átlagosnál (512 mm) kevesebb, míg 2004-ben (677 mm) az átlagosnál több csapadék hullott. A hosszú távú éves csapadékösszegtől és annak havi eloszlásától legkisebb mértékben tehát 2002 tért el a vizsgálati évek közül (II. táblázat). Ebben az évben az év első (január-július) és utolsó felében (november-december) csapadékhiány, míg a köztes időszakban (augusztus-október) csapadéktöbblet állapítható meg. A havi

összegek közül a legjelentősebb hiány áprilisban (-18,3 mm) és júniusban (-23,8 mm) figyelhető meg, melyet részben kompenzált az augusztusban (+24 mm) és a szeptemberben (+18 mm) lehullott eső. A legnagyobb mértékű eltérés 2003-ban (-39,8%) és 2004-ben (+32%) figyelhető meg az 50 éves átlagtól. A 2003-as és 2004-es év havi csapadékösszegeinek az 50 éves átlaghoz viszonyított eltéréseit (5. ábra) szemügyre véve megállapítható, hogy 2003-ban az átlagosnál lényegesen kevesebb csapadék hullott – október kivételével – a teljes vegetációs időszakban. A talaj vízzel való telítődése, valamint a gyepek intenzív növekedése szempontjából kulcsfontosságú hónapokban (február, március, április, június és szeptember) 20 millimétert is meghaladta a havi csapadékhiány. 2003. októbere kivételnek számít, ugyanis az ebben a hónapban lehulló csapadékmennyiség több mint 70 mm-rel haladta meg a sokévi átlagot. A 2004-es csapadékeloszlást vizsgálva az előző évitől gyökeresen különböző havi összegek figyelhetők meg. Június kivételével a vegetációs periódus teljes ciklusa alatt az átlagosnál több csapadék hullott, melynek mértéke áprilisban, augusztusban és novemberben több mint 40, míg márciusban több mint 20 mm-rel haladta meg az 50 éves átlagot. Az átlagos csapadékmennyiségű és eloszlású 2002-es év után a bugaci homoki legelőn 2003. első intenzív növekedési periódusában (március-június) a lehullott csapadék összmennyisége mindössze 40%-a volt az 50 éves átlagnak. Ezzel szemben 2004. hasonló időszakában a gyepre 3,5-ször több csapadék hullott, mint 2003-ban. Hasonló eltéréseket tapasztaltunk a vizsgált löszgyepek hőmérsékleti- és csapadékviszonyainak elemzésekor is.



5. ábra: A bugacpusztai terület 2003. és 2004. évi havi csapadékösszegeinek eltérése az 50 éves (1950-1999) átlagértékektől

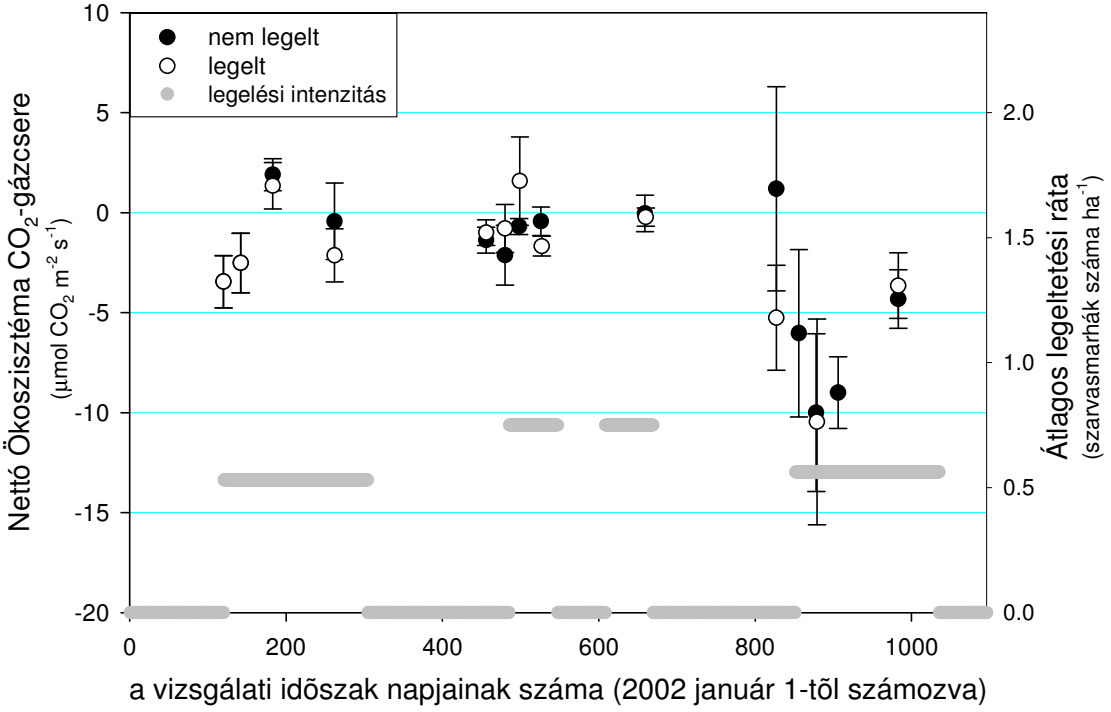
Meteorológiai méréseink és a sokéves átlagok összevetése alapján kijelenthető, hogy a hároméves vizsgálati ciklus során két szélsőségesen eltérő, extrém időjárási év is megfigyelhető. A 2003-as esztendő az átlagosnál jóval szárazabb, míg 2004. az átlagosnál csapadékosabb volt, mely jelentős mértékben befolyásolta a gyepek működését és produkcióját.

5.3. A CO_2-fluxus, a főbb abiotikus (Tair, PAR) paraméterek, valamint a WUE és a LAI évek közötti és szezonális variabilitása a kamrás gázcsere mérések során

5.3.1. Bugacpusztai homoki száraz legelő

5.3.1.1. A bugaci legeltetett és legeltetéstől elkerített gyep CO_2-fluxusának évek közötti és szezonális variabilitása

A mért NEE átlagok hasonló tartományban mozogtak, mint a hasonló fiziognómiájú gyepállományok más tanulmányokban megjelent értékei (FRANK *et al.* 2002, HUNT *et al.* 2002). A vizsgált bugacpusztai homoki legelő esetében nem volt szignifikáns eltérés a legeltetéstől elzárt és az extenzíven legeltetett gyep CO_2-fluxusa között a 2002-től 2004-ig terjedő vizsgálati ciklus során (6. ábra). Az időfaktoros variancia analízis azonban mind a legeltetéstől elkerített ($F=778,63$; $P<0,001$), mind a legeltetett kontroll ($F=446,33$; $P<0,001$) állománynál szignifikáns eltérést mutatott az NEE esetében, ami jelzi a CO_2-fixáció intenzitásának évek közötti és szezonális eltéréseit. Az 50 éves csapadékátlaghoz és eloszláshoz a három vizsgált év közül leginkább hasonló 2002-es esztendő kamrás CO_2-fluxus értékei jól mutatják a mérsékeltövi kontinentális gyepekre jellemző kettős növekedési ciklus időszakait és intenzitásbeli eltéréseit. 2002. tavaszán (április 30.-i és május 22.-i mérés), az intenzívebb első növekedési periódusban a gyep NEE átlagai az ebben az esztendőben mért összes NEE érték közül a legmagasabbak voltak. A többhónapos nyári aszály idejére a gyep fiziológiai aktivitása – más gyeptársulásokhoz hasonlóan (VALENTINI *et al.* 1995**,** SUYKER *et al.* 2003, LI *et al.* 2005, PINTÉR *et al.* 2007) – nagymértékben lecsökkent. A talaj- és gyökérlégzés miatt ebben az időszakban – LI *et al.* (2005) mongol sztyeppén mért adataihoz hasonlóan – pozitív NEE értékek figyelhetők meg (2002. július 2-3. mérés), ugyanis a légzés során kibocsátott CO_2-t nem volt képes kompenzálni a kismértékű CO_2-fixáció. A nyári aszály után ősszel, a második növekedési ciklusban ismét a C-fixáció jellemző, de ennek mértéke – részben a levelek klorofill tartalmának a növekedési szezon előrehaladtával megfigyelhető, homoki legelőre jellemző taxonokon is kimutatott (MÉSZÁROS & VERES 2006) csökkenése miatt – már nem éri el a tavaszi időszakét. A vizsgálati időszak második és harmadik évében a CO_2-fluxus időbeli dinamikáját a klimatikus anomáliák jelentősen befolyásolták. A 2003-as év aszályos tavaszi időszakában április végén (április 25-én) a legelt gyep NEE értékei szignifikánsan kisebbek voltak ($P<0,005$) az előző év április 30-án mért NEE értékeinél. 2003. májusában a szárazságstresszelt gyep CO_2-fixációja mindkét típusnál szignifikánsan alacsonyabb volt ($P<0,005$), mint 2002. májusában. Sőt a legelt gyep kamrás technikával mért NEE értékeinek többsége pozitív volt – hasonlóan az EC mérésekhez (NAGY *et al.* 2007b) –, azaz a gyep az adott mérési időszakra CO_2-kibocsátó lett, az év ezen periódusában megszokott CO_2-nyelő (megkötő) aktivitás helyett. 2003. őszén az átlagosnál nagyobb csapadékmennyiség ellenére a gyep fiziológiai aktivitása csak kismértékben emelkedett és az ekkor mért NEE átlagok kisebbek voltak, mint a 2002. őszén mért értékek. Ez is jelzi a 2003-as aszály volumenét és hatását a homoki legelő növényzetének működésére, azaz a gyep nem tudott teljes mértékben regenerálódni. Az Európa számos területén szintén megnyilvánuló extrém száraz 2003-as év (pl. CIAIS *et al.*, 2005, BALDOCCHI 2005) a gyepek fiziológiai aktivitása mellett befolyásolta a bugaci területre jellemző tradicionális kezelést (május elsejétől október végéig tartó féléves folyamatos, extenzív legeltetés) is, mivel a legeltetést 2003. nyarán két hónapra (július, augusztus) meg kellett szakítani. 2004-ben a legelt és a legeltetéstől elzárt gyep szén-dioxid felvétele mind a tavaszi, mind az őszi növekedési periódusban szignifikánsan nőtt ($P<0,005$), összevetve a 2003-as év szárazság-stresszelt értékeivel. A 2004. májusi (27. és 28.), valamint a legeltetett gyep 2004. őszi (szeptember 9.) értékei az előző két év azonos időszakában mért NEE értékekhez képest is szignifikánsan magasabbak voltak ($P<0,005$).

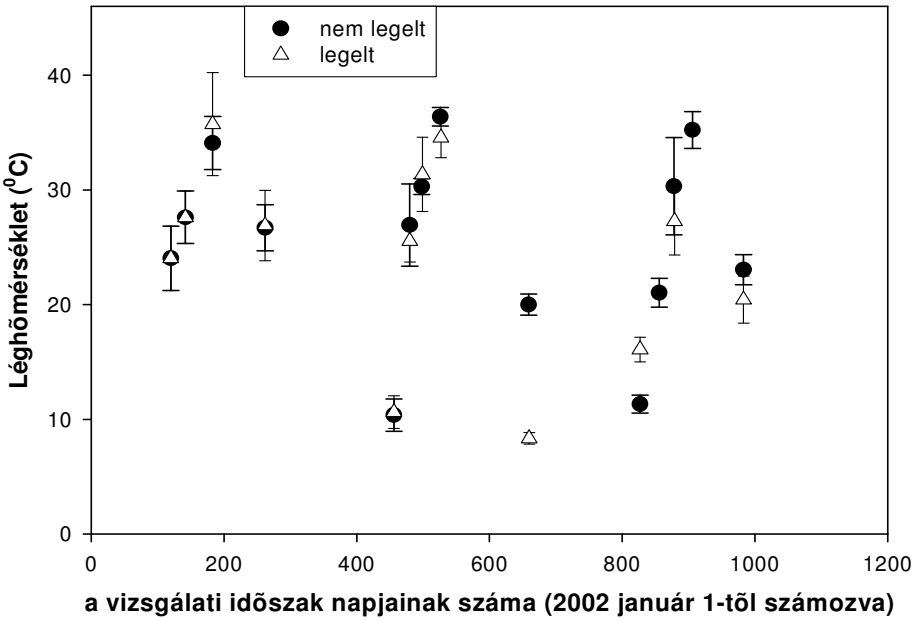


6. ábra: A CO_2-fluxus éven belüli és évek közötti dinamikája legeltetéstől elzárt és extenzíven legeltetett gyepben /Bugacpuszta, 2002-2004/

A legeltetett és a legeltetéstől elzárt gyep NEE értékeinek eltéréseit vizsgálva (6. ábra) megfigyelhető, hogy 2002-ben – az elkerítés után – a legelt gyep CO_2-megkötése (2002. júliusában kibocsátása) mindkét vizsgált alkalommal kisebb mértékű volt, mint a legeltetéstől elzárt területé. A mérési időszakban rögzített PAR különbözősége csak a 2002. júliusi átlagok kismértékű eltérését indokolja. 2003. tavaszán mind a három mérési alkalommal a nem legeltetett gyepben mért CO_2-megkötés volt magasabb, hasonló, illetve alacsonyabb (2003. május) PAR értékek mellett. Ezen időszakban a legelt gyep NEE szórás értékei is feltűnően magasak voltak (151% - 2003. április 25-én, 140% - 2003. május 14-én), mely egyrészt az állomány stressztényezők (szárazság- és legelési stressz együttesen) által előidézett instabilitását is jelzi, másrészt a vizsgált ökoszisztéma foltok, mérési időszakban tapasztalt CO_2-nyelő (megkötő) és –forrás (kibocsátó) aktivitásának köszönhető. 2003. júniusában és októberében a legelt gyep CO_2-megkötése kismértékben felülmúlta a legeltetéstől elzárt területen mért gyep NEE értékét, ami a méréskor rögzített magasabb radiáció értékeknek tudható be. Ezt igazolja mindkét állomány NEE átlagainak szignifikáns PAR függése (30. és 31. ábra). 2004-ben három alkalommal történt azonos időszakban mérés a két típusban. Ezek közül tavasszal (április 6. és május vége) a legeltetett, míg ősszel (szeptember 9.) a legeltetéstől elzárt gyep CO_2-fixációja volt jelentősebb. Az NEE eltérései szoros korrelációt mutatnak a radiáció különböző értékeivel. A kamrás mérések során 2004. április 6-án figyelhető meg a legnagyobb eltérés az NEE átlagai között, melyet a legelt állomány vizsgálatakor szignifikánsan magasabb ($P<0,005$) PAR okozott. A 2004. évi állományszintű kamrás vizsgálatok közül egyedül ekkor számítottunk pozitív NEE értékeket és átlagot (azaz CO_2-kibocsátást) a legeltetéstől elzárt gyep esetében. A 2003-as extrém száraz tavaszi és nyári periódus után a legelt területen 2004. áprilisában mért jelentős CO_2-megkötés (NEE átlag -5,26 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) a gyep gyors regenerációs potenciálját is jelzi. A legelt állományban mért magas NEE érték másik oka a lecsökkentett legelési ráta (2003-ban 0,75 LSU, míg 2004-ban 0,56 LSU a legeltetési időszakban).

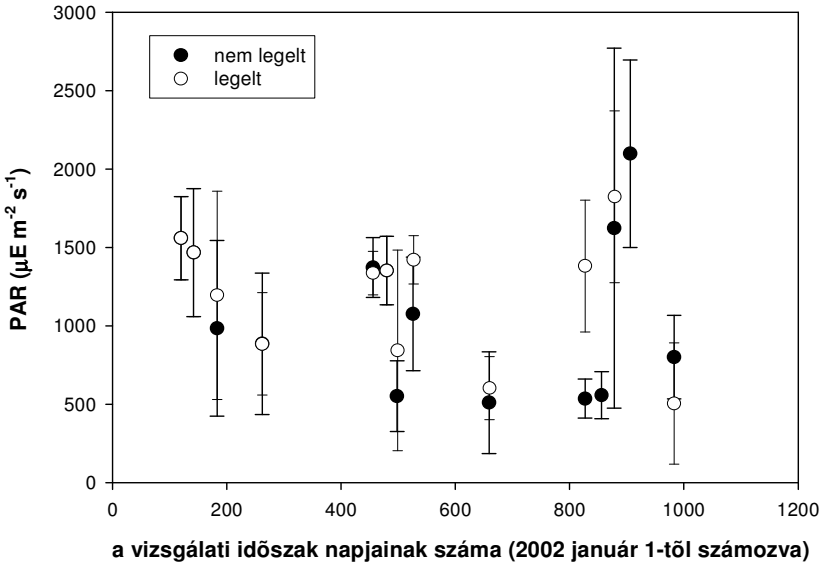
5.3.1.2. A bugaci legeltetett és legeltetéstől elkerített gyep CO_2-fluxusát befolyásoló főbb abiotikus (Tair, PAR) paraméterek változása a kamrás gázcsere mérések során

A legelt és nem legelt állomány NEE mérései során a léghőmérséklet átlagai többnyire csak kismértékben (0,26 és 3,04°C között) különböztek és a hőmérsékleti adatsorok átfedése jelentős volt a legtöbb esetben (7. ábra). A kamrás CO_2-fluxus mérések során mindössze két alkalommal különbözött szignifikánsan (P<0,005) a léghőmérséklet. 2003. októberében az elkerített gyep Tair átlaga 11,6°C-kal, míg 2004. április 6-án a legelt gyep átlagos léghőmérséklete 4,7°C-kal volt magasabb. Mindkét esetben az NEE mérés során a hőmérséklet csak szűk tartományban változott, így hiányoznak az átfedő értékek. A két időpont közül 2003. őszén a radiáció átlagai közel azonosak voltak, ellenben 2004. áprilisában – a Tair-hoz hasonlóan – szignifikánsan (P<0,005) különböztek. A klimatikus változók közül a hőmérséklet önmagában csak 2003. őszén, a legeltetett állományban mért NEE értéket befolyásolhatta (csökkenthette), de ennek ellentmond a legelt gyep CO_2-megkötésének minimális és negatív hőmérséklet függése (24. ábra). Megállapítható, hogy nem a hőmérsékleti eltérések okozták az NEE különbségeit.



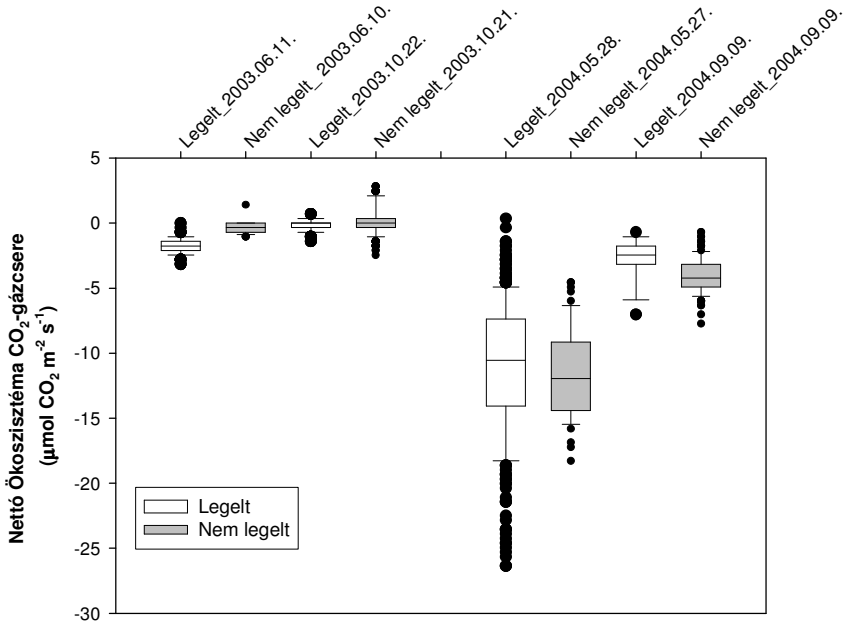
7. ábra: A léghőmérséklet eltérése legeltetéstől elzárt és legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* társulás állományszintű, kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere mérése során /Bugacpuszta, 2002-2004/

A bugaci gyep CO_2-fluxus vizsgálata során a két típus radiáció értékei között mindössze egyszer volt szignifikáns (2004. április 6-án) eltérés (P<0,005), amikor – a hőmérséklethez hasonlóan – a fényviszonyok is kedvezőbbek voltak a legeltetett állományban. 2002-ben csak a júliusi mérésnél volt magasabb a PAR átlaga a legelt gyepben (21,5%-kal), ami negatívan befolyásolhatta az elkerített gyep NEE értékét. 2003-ban a májusi és júniusi mérésnél számítottunk nagyobb eltérést a PAR értékek között. Mindkét esetben a legelt gyep mérése során volt magasabb a radiáció átlaga (53, ill. 32%-kal), akárcsak 2004-ban a már említett április eleji (257,9%-kal) és május végi (12,34%-kal) mérésnél. Az említett időpontokkal ellentétben 2004. őszén a nem legelt gyep radiációja 58,7%-kal haladta meg a legelt gyep PAR átlagát. A PAR átlagok és szórások fenti eltérései, továbbá a bugaci gyep CO_2-fluxusának erős fényfüggése (30. és 31. ábra) indokolta, hogy ahol a PAR és NEE adatok száma lehetővé tette, ott azonos radiáció tartományon belül hasonlítsuk össze az NEE értékeket. Ezáltal megállapítható a manipulációs kísérlet tényleges hatása az NEE értékekre, továbbá újabb információt szolgáltat az NEE fényfüggésének erősségéről.



8. ábra: A PAR eltérése legeltetéstől elzárt és legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* társulás állományszintű, kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere mérése során /Bugacpuszta, 2002-2004/

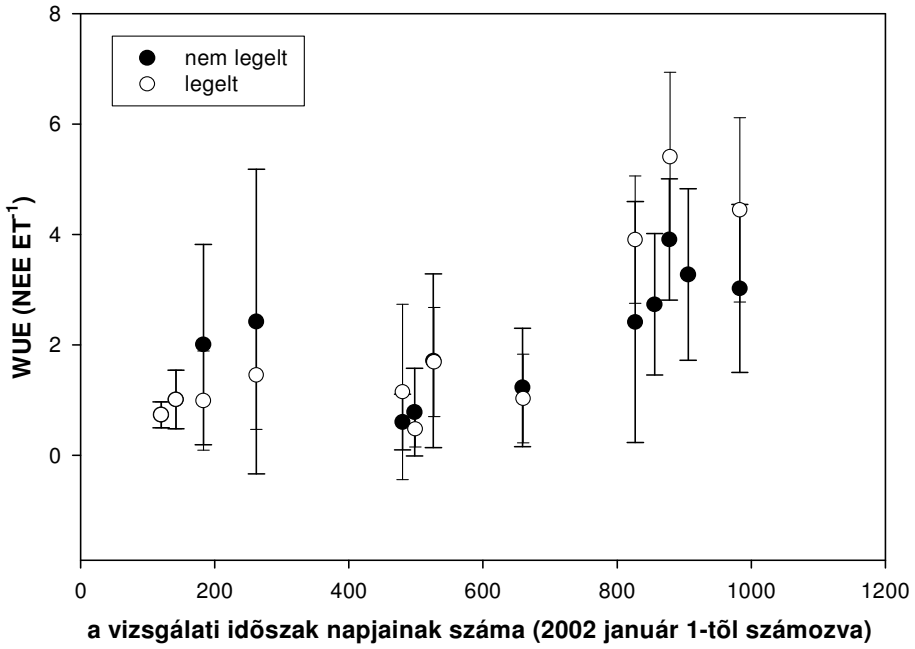
Azonos PAR tartomány mellett nem volt szignifikáns eltérés a legelt és a nem legelt állomány NEE értékei között (9. ábra). A mérési átlagok csak kismértékben tértek el mind a négy összehasonlítható időpontban. Azonos radiáció tartományra szűkítve az NEE értékeit csak a 2004. május végi átlagok esetén kaptunk eltérő eredményt a teljes adatsorhoz képest (6. ábra), ugyanis a legeltetéstől elkerített állomány átlagos CO_2-megkötése kissé meghaladta a legelt gyepnél számított értéket. 2003-ban a legelt, míg 2004-ben a legeltetéstől elzárt gyep CO_2-fixációjának átlaga volt kissé nagyobb mind a 2-2 vizsgált alkalommal, azonos PAR tartomány mellett. A két típus értékeit összevetve megállapítható, hogy 2003. júniusában a legelt gyep NEE átlaga és szórás tartománya szignifikánsan nagyobb volt ($P<0,005$) a nem legeltetett gyepnél, de a szélső értékek átfedtek. 2003. őszén a legeltetéstől elkerített, 2004. tavaszán a legelt gyep szórása és szélső értékeinek tartománya múlta jelentősen felül a másik vizsgált gyeptípusét.



9. ábra: A nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere értékei, azonos fényintenzitás-tartományban, extenzíven legeltetett és legeltetéstől elzárt gyepben /Bugacpuszta; 2003, 2004/

Összegezve a manipuláció (legeltetéstől elzárt gyep) hatásait az NEE-re megállapítható, hogy a mért CO_2-fluxusok nem tértek el lényegesen a legeltetett és a legeltetéstől elzárt gyep között azonos PAR tartomány mellett. Ez ellentétes CHEN *et al.* (2005) levélszintű mérésekre alapozott állításával, hogy a legeltetéstől elkerített, regenerálódó gyep legtöbb taxonjának magasabb a nettó fotoszintézise a legelt állományhoz képest. A Bugacon mért hasonló NEE értékek oka, hogy a magasabb biomassza mennyiséget és zöld levélfelületet kompenzálta a jelentősebb avar felhalmozódás, valamint a lebomlás következtében fellépő magasabb légzésintenzitás, a tápanyagok lassabb reciklizációja, illetve az elmaradt trágyázás.

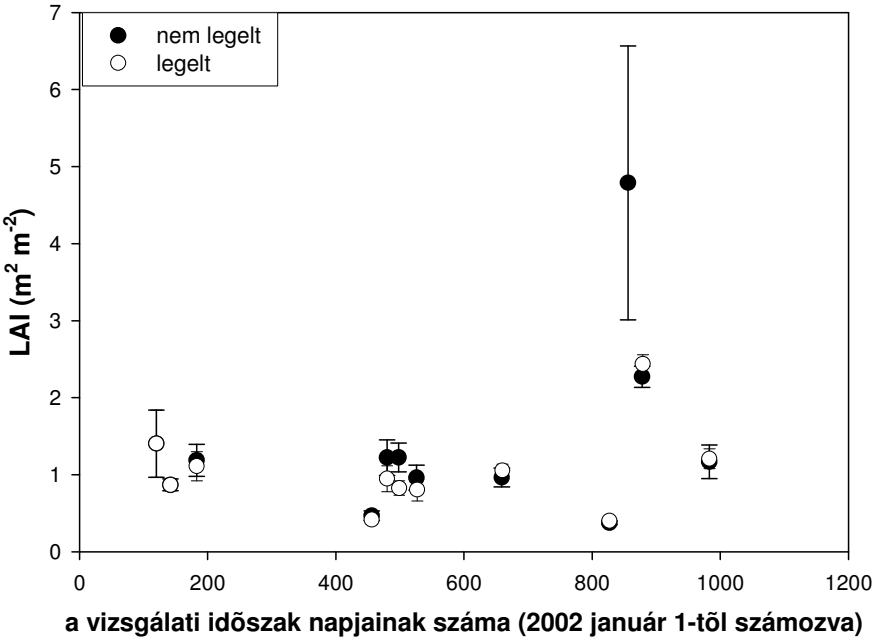
5.3.1.3. A bugaci legeltetett és legeltetéstől elkerített gyep vízhasznosítási hatékonyságának (WUE) és levélfelületének (LAI) évek közötti és szezonális variabilitása



10. ábra: A vízhasznosítási hatékonyság (WUE) időbeli dinamikája *Cynodonti -Festucetum pseudovinae* társulás legeléstől elzárt és legelt állományában /Bugacpuszta, 2002-2004/

A legelt és a legeltetéstől elzárt gyep vízhasznosítási hatékonyság értékei egyik vizsgálati alkalommal sem tértek el szignifikánsan (10. ábra). A legmagasabb WUE értékek 2004-ben figyelhetők meg, míg 2002. és 2003. tavaszi intenzív növekedési periódusában – a 2003-as aszály ellenére – hasonló átlagokat számítottunk. Ezen paraméter esetén egyedül a nagyobb szórások jelzik a gyep 2003. áprilisi és májusi csapadékhiányát. A vízhasznosítási hatékonyság értékeit a vizsgálati évek azonos időszakában összevetve megállapítható, hogy a legelt gyep 2004. májusi és szeptemberi WUE-ja szignifikánsan nagyobb ($P<0,005$), mint az előző két év hasonló időszakában, ellenben egyik típus esetén sem tért el szignifikánsan a WUE az adott vizsgálati éven belül. Az éven belüli görbéket figyelembe véve szembeötlő, hogy minden évben az áprilisi (egy kivételtől eltekintve legkorábbi) WUE értékek a legalacsonyabbak. Ennek oka nem csak a viszonylag alacsony NEE, hanem a nedvességgel többnyire telítődött talaj és a fiziológiailag újra aktivizálódott növényzet intenzív evapotranszspirációja, továbbá az őszi időszakban az NEE-vel párhuzamosan csökkenő ET. Az őszi mérések számított vízhasznosítási értékeit összevetve hasonló eltérések figyelhetők meg a WUE esetében is, mint az NEE-nél, azaz a WUE értékeinek átlaga 2004. szeptemberében volt a legmagasabb, míg 2003. őszén a legalacsonyabb. A legelt és nem legelt gyeptípus eltéréseit összehasonlítva megállapítható, hogy jelentősebb eltérések 2002-ben és 2004-ben figyelhetők meg az átlagok között.

2002-ben a manipuláció (elkerítés) beindítása után mindkétszer jóval alacsonyabb WUE átlagokat kaptunk a legelt gyepnél. Ennek oka júliusban az alacsonyabb CO_2-kibocsátással együtt mért magasabb ET, míg szeptemberben a nem legelt gyepnél az alacsonyabb ET értéket a jóval magasabb NEE kompenzálta. Ezzel szemben – CHEN *et al.* (2005) levélszintű mérésekből levont következtetésével ellentétben – 2004-ben mindhárom közös mérési időszaknál a legelt gyep WUE átlagai voltak magasabbak, áprilisban a nem legelt gyep alacsony NEE, míg májusban és szeptemberben a legelt gyep alacsonyabb ET értékei (75, ill. 54%) miatt. Várakozásunktól eltérően nem minden esetben a legelt gyep ET értékei voltak alacsonyabbak. A legelt gyepben magasabb – kissé meglepőnek számító – négy ET átlag közül három szárazságstresszelt időszakhoz köthető (2002. július, 2003. május és június), ami a legeltetéstől elzárt gyep komoly perturbációját jelzi.



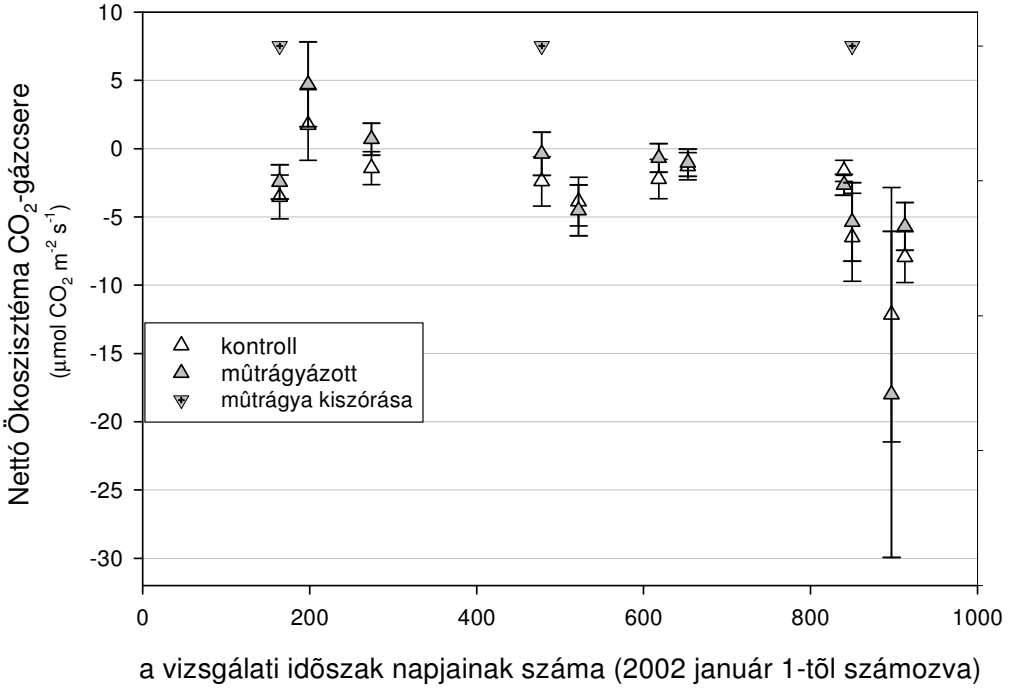
11. ábra: A levélfelület (LAI) eltérése legeltetéstől elzárt és legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* társulás kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) mérése során /Bugacpuszta, 2002-2004/

A ceptométerrel és infravörös kamerával becsült fotoszintetikusan aktív levélfelület-index értékek (zöld LAI) a vizsgált időpontok közül csak 2003. májusában voltak szignifikánsan magasabbak ($P<0,005$) a legeltetéstől elzárt területen (11. ábra). A legkisebb LAI értékeket 2003. és 2004. áprilisában számítottuk mindkét gyeptípusnál. A LAI értékek 2004. májusában mindkét állományban szignifikánsan magasabbak voltak ($P<0,005$) a kutatás első két évében azonos periódusban számított értékekhez képest. A vegetációs periódusban lehullott jelentős csapadékmennyiség ellenére, 2004. őszére a LAI adatok szignifikánsan ($P<0,005$) lecsökkentek a 2003. októberében becsült átlagokhoz hasonló értékekre. A 2002-ben számított LAI adatok méréstechnikai okok miatt – ceptométeres becslés – kismértékben alulbecsültek, ezért nincs nagyobb különbség az átlagos csapadékmennyiségű és eloszlású 2002-es és szárazságstresszelt 2003-as év levélfelület értékei között. Meglepő módon az elkerített gyepben nagyobb LAI értékeket (13-48 %-kal) csak 2003. tavaszán (április-június) figyelhetünk meg. Ennek oka részben az adathiány 2002-ben), valamint a 2004-ben jelentősen lecsökkentett legeltetési ráta (6. ábra). Utóbbi ok miatt a csekély számú legelésző állat nem volt képes lerágni az „átlagoshoz” képest szignifikánsan nagyobb levélfelületet. Együtt vizsgálva a LAI és az NEE többéves dinamikáját feltűnő, hogy egyes időszakokban kisebb vagy hasonló LAI értékek mellett is számottevő eltérés figyelhető meg az NEE átlagok között. 2002. júliusában a legelt gyep kisebb LAI-ja ellenére kevesebb CO_2-t bocsátott ki a légkörbe a vizsgált időszakban, melynek oka a mérés során

rögzített magasabb PAR. 2003. júniusában a legelt, míg 2004. szeptemberében a legeltetéstől elkerített gyep kisebb LAI átlaggal is jelentősebb szénmegkötő volt azonos ok miatt. 2004. áprilisában hasonló LAI értékek mellett ellentétes irányú CO_2-fluxusok tapasztalhatók, ugyanis a vizsgálat alatt a PAR szignifikánsan kisebb volt ($P<0,005$) a nem legelt gyepben, ez eredményezte a negatív NEE átlagot. Szintén az alacsony radiáció miatt nem párosult az elkerített gyep kiugró májusi LAI értéke (átlag 4,79) hasonlóan magas NEE értékkel.

5.3.2. Isaszegi löszpusztarét

5.3.2.1. Az isaszegi műtrágyázott és kontroll gyep CO_2-fluxusának évek közötti és szezonális variabilitása



12. ábra: A CO_2-fluxus éven belüli és évek közötti dinamikája extenzíven műtrágyázott és kontroll gyepben /Isaszeg, 2002-2004/

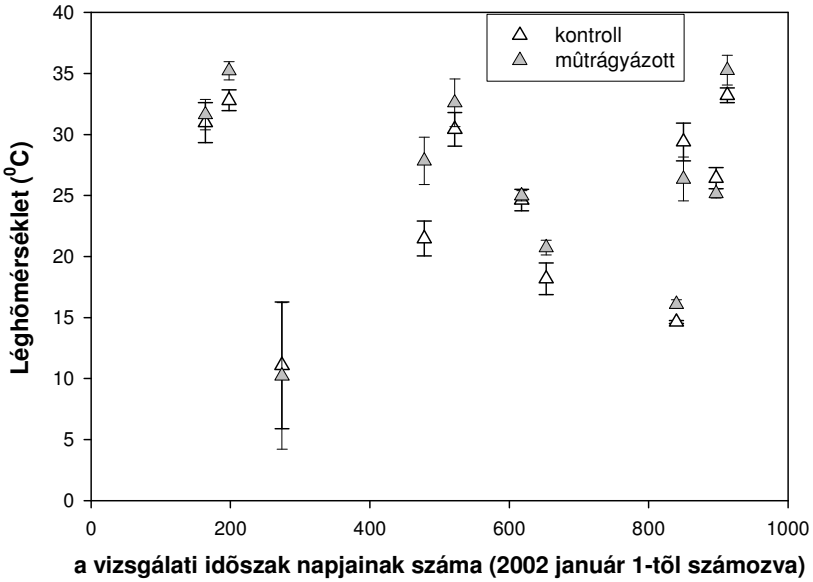
A löszpusztaréten mért NEE átlagok hasonló tartományban mozogtak, mint a hasonló fiziognómiájú magasfüvű préri vegetáció publikált értékei (DUGAS *et al.* 1999, SUYKER *et al.* 2003). Az isaszegi löszgyep társulás műtrágyázott és kontroll állományának NEE értékei között nem volt szignifikáns eltérés a teljes vizsgálati ciklus során (12. ábra). Mindhárom évben megfigyelhető az intenzívebb tavaszi, míg 2002- és 2003-ban a kisebb mértékű őszi növekedési periódus, valamint 2002. nyarán a vegetáció nyugalmi állapotának hatása – negatív átlagértékek, akárcsak LI és munkatársainak (2005) a mongol sztyeppén vízhiánystressz alatt mért adatai – az NEE értékekre. Az éven belüli NEE dinamika kiegyenlítettebb a kontroll gyep esetében, mint a kezelés miatt több anomáliával jellemezhető műtrágyázott állományban. (2002-ben a közös mérési protokoll véglegesítésének elhúzódása miatt csak június 13-án szórtuk ki az évente egyszer esedékes műtrágyát. Az ezt követő csapadékmentes időszak hatására a műtrágyázott gyep növényzetének egy része kiégett.) A bugaci gyephez hasonlóan a klimatikus anomáliák hatásai az isaszegi löszgyep CO_2-fluxusainál is megfigyelhetők, amire 2003. kisebb tavaszi fluxusai és a 2004. áprilisában, júniusában és július elején mért jelentős szénmegkötés egyaránt utal. Ennek ellenére a vizsgálati évek azonos időszakában vizsgált NEE fluxusok között csak kétszer, mindkét alkalommal a műtrágyázott állomány esetében – 2002. június 13. és 2004. június 15.,

illetve 2003. április 23. és 2004. április 29. között – volt szignifikáns különbség (P<0,005), bár az NEE átlagok többször is jelentősen eltérhettek. A kontroll gyep 2004. júniusi NEE átlaga a 2003. júniusban mért több mint háromszorosa (3,14), míg a műtrágyázott gyep 2004. júniusban számított értéke közel négyszerese (3,99) a 2003. júniusinak.
A kezelt és kontroll állomány CO_2-fluxusainak időbeli dinamikáját vizsgálva (12. ábra) megállapítható, hogy jelentősebb eltérések a műtrágyázott vegetációnál figyelhetők meg, melyeket a kezelés indukált. Utóbbi különbséget – valamint a kezelt gyep 2004. júniusi és 2002. júliusi kiugró értékeinek szerepét a varianciában – az időfaktoros variancia analízis is igazolta, mely a három éves vizsgálati ciklus CO_2-fluxus adatai alapján a műtrágyázott (F=169,88; P<0,001) és a kontroll (F=131,27; P<0,001) állomány NEE-jénél egyaránt szignifikáns eltérést mutatott ki. A két típus CO_2-fluxus értékei alapján megállapítható, hogy 2002-ben a kezelt gyep CO_2-fixációja jelentősen – de nem szignifikánsan – elmaradt a kontroll állománytól. Az első vizsgálati évben tapasztalt eltérést a műtrágyázást követő negatív hatások idézték elő, ugyanis a gyep egy része kiégett, ezért csökkent a kezelt állomány átlagos borítása, valamint a diverzitása és a fajszáma (53. és 54. ábra). A műtrágyázott gyep a mérések alatt kizárólag (2002. július) vagy döntően (2002. október) szénforrás volt, negatív NEE értékei miatt annak ellenére, hogy a PAR átlagok magasabbak voltak. 2003-ban az NEE átlagok egy kivétellel még magasabbak voltak a kontroll állományban, a kezelt gyep – szárazságstressz miatt lassabb – regenerációja és a csapadékhiány műtrágyázást döntően elimináló hatása miatt. A műtrágyázott gyep 2003. júniusában mért magasabb NEE átlagai a vizsgálati időszak magasabb PAR tartományának és átlagának köszönhető. A kezelt gyep a szárazságstressz és a regenerációs folyamatok együttes hatására a második évben már hasonló értékű szénelnyelővé alakult, mint a kontroll növényzet. 2004-re a kezelt gyep teljesen regenerálódott és a kedvező időjárási feltételeknek köszönhetően már az első mérésnél (április 19-én) magasabb NEE értékeket mértünk itt, mint a kontroll gyepben. Az április végi mérésnél a kontrollnál 20%-kal kisebb CO_2-fixáció oka az alacsonyabb PAR volt, míg az éves műtrágyázást követő 2004. júniusi mérésnél kiugróan magas NEE átlagot (a kontroll átlag másfélszeresét, azaz -18 $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$-ot) és értékeket mértünk. Az utolsó mérési alkalomra – részben a magas hőmérséklet, részben a C/N arány megnövekedése miatt – jelentősen lecsökken a kezelt gyep NEE értéke, ezért 2004. júliusban újra a kontroll gyep C-megkötése volt jelentősebb. (2004-ben a vizsgálati terület egy részét közrefogó szántóföldön napraforgót vetettek, melynek intenzív növekedése lehetetlenné tette a terület mérőműszerekkel történő megközelítését a vegetációs időszak hátralevő részében.) A műtrágyázott gyep CO_2 felvételében mind 2003-ban, mind 2004-ben negatív visszacsatolás figyelhető meg, melynek feltehető oka a gyors biomassza növekedés és N-akkumuláció következtében a vegetációs időszak előrehaladtával fellépő N-hiány volt. A műtrágyázás NEE-re és szénmérlegre (71. ábra) gyakorolt pozitív hatása csak a csapadékos 2004-es évben figyelhető meg, ugyanis a 2003-as C-fixációt nagymértékben limitálta az aszály.

5.3.2.2. Az isaszegi műtrágyázott és kontroll gyep CO_2-fluxusát befolyásoló főbb abiotikus (Tair, PAR) paraméterek változása a kamrás gázcsere mérések során

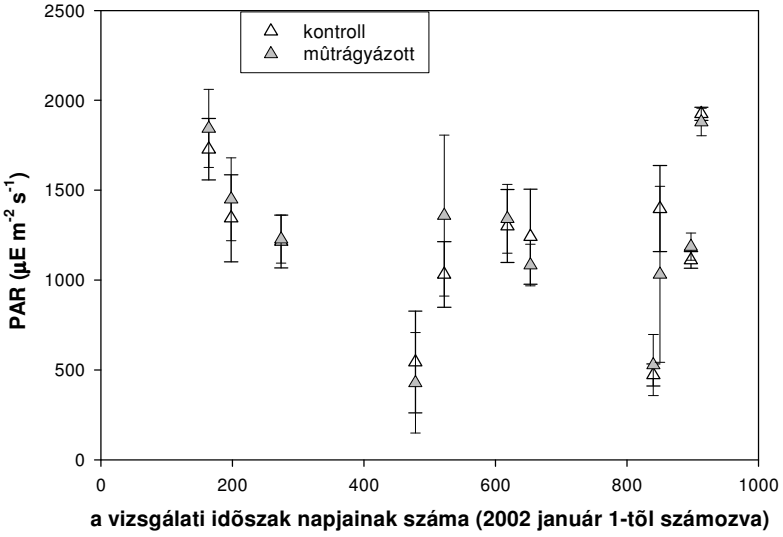
A bugaci objektumtól eltérően az isaszegi állományok NEE mérése mindig ugyanazon a napon történt, egymást követően és rövid időintervallumon belül. A műtrágyázott és kontroll állomány NEE mérései során a léghőmérséklet öt alkalommal különbözött szignifikánsan (P<0,005), de a Tair átlagok nem különböztek jelentősen (13. ábra). A többi esetben szintén csak kismértékben (0,36 és 3,04^oC között) tértek el a Tair átlagok, továbbá a hőmérsékleti adatsorok átfedése is jelentős volt. A szignifikáns (P<0,005) eltéréseknél minden esetben a műtrágyázott állomány Tair átlaga volt magasabb. Utóbbiak közül a legnagyobb léghőmérséklet különbséget (6,36^oC) 2003. április 23-án számítottuk, míg 2002. júliusában 2,42; 2003. októberében 2,56; 2004. április közepén mindössze 1,45; míg 2004. júliusában csak 2,05^oC volt az eltérés az NEE átlagok között. Utóbbi négy esetben az NEE mérések során a hőmérséklet csak szűk tartományban változott, ezért hiányoznak az átfedő értékek. A szignifikáns Tair különbségek idején a két állomány PAR értékei jelentősen átfedtek és a radiáció átlagai csak

kismértékben különböztek (14. ábra). Szélsőségesen meleg (35°C<) hőmérsékleti értékeket két alkalommal mértünk, mindkétszer a műtrágyázott állományban (2002. július 35,2°C-os, 2004. júliusban 35,3°C-os Tair átlag). Ez a hőmérsékleti tartomány a döntően C_3-as fajok alkotta gyep sztómazáródása és fénylégzése révén csökkenthette a C-fixáció mértékét és növelhette a CO_2-kibocsátást. A mérési alkalmak többségénél megfigyelhető átfedés a hőmérséklet értékek között, a Tair átlagok csekély eltérése, valamint a műtrágyázott és kontroll gyeptípus CO_2-megkötésének minimális hőmérséklet függése (26. és 27. ábra) alapján megállapítható, hogy a hőmérsékleti eltérések csak két alkalommal (2002. július és 2004. július) okozhatták a CO_2-fixáció eltéréseit.



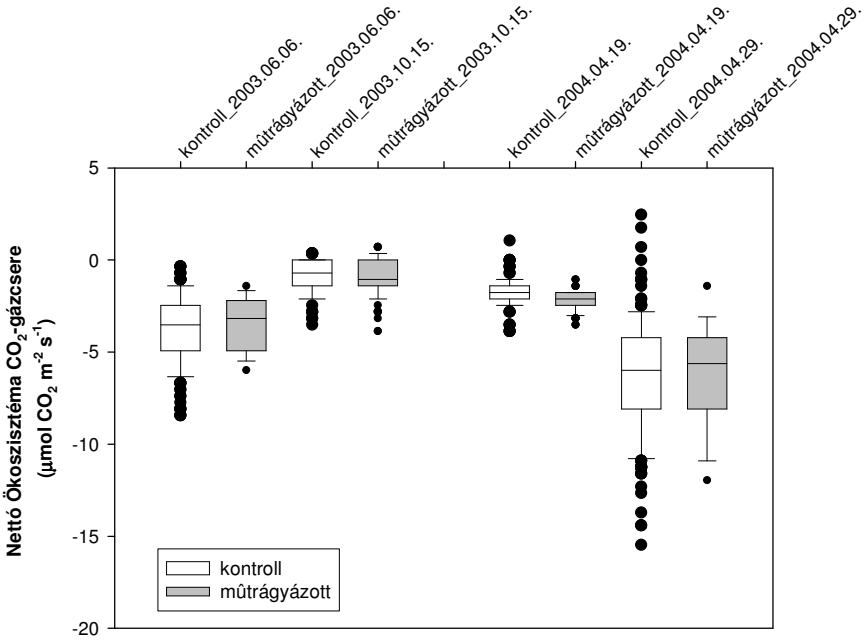
13. ábra: A léghőmérséklet eltérése műtrágyázott és kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* társulás állományszintű, kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) mérése során /Isaszeg, 2002-2004/

Az isaszegi gyep CO_2-fluxus vizsgálata során a műtrágyázott és kontroll gyep radiáció értékei között – ellentétben a hőmérséklettel – nem volt szignifikáns eltérés (14. ábra). A három évben mindössze kétszer tértek el jelentősebben a PAR átlagai. A műtrágyázott állományban 2003. június 6-án 31,7%-kal magasabb, míg 2004. április 29-én 35,4%-kal alacsonyabb volt az átlagos PAR a fluxus mérések során. (A 10%-nál magasabb PAR átlag eltérésű és nyílt kamrás technikával mért NEE adatok összevetése, azonos PAR mellett a 14. ábrán látható.) 2002-ben mindhárom NEE mérés magasabb PAR átlagérték mellett történt a műtrágyázott állományban, de a kismértékű (<10%) eltérések nem befolyásolták lényegesen a mért NEE értékeket. (Ezt igazolja az állomány NEE átlagok elhanyagolható fényfüggése /32. és 33. ábra/.) Mindössze csekély mértékben csökkenthették a kontroll állomány amúgy is magasabb CO_2-fixációját (illetve 2002. júliusában az alacsonyabb állományszintű CO_2-kibocsátást). 2003-ban és 2004-ben 2-2 alkalommal számítottunk magasabb, illetve alacsonyabb radiációs értékeket mindkét típusnál. 2003. szeptemberében, valamint 2004. júniusában és júliusában a műtrágyázott és kontroll gyep mérése idején a PAR átlagok eltérése minimális volt (<7%), ezért ezekben az időpontokban a radiáció különbségei nem okozhatták az NEE eltéréseit. Összességében megállapítható, hogy a műtrágyázott és kontroll állomány esetenként különböző PAR átlagai és tartománya csak minimális mértékben befolyásolta a CO_2-fluxusok eltérő értékeit.



14. ábra: A PAR eltérése műtrágyázott és kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* társulás állományszintű, kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) mérése során /Isaszeg, 2002-2004/

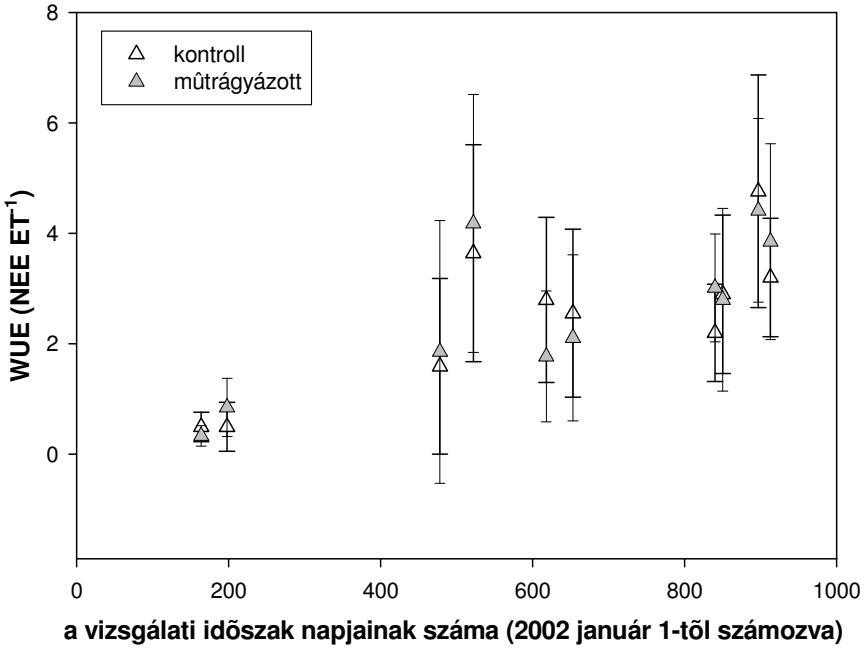
A négy vizsgált időszakban, azonos PAR mellett csak kismértékű, de nem szignifikáns eltérés volt a műtrágyázott és kontroll állomány NEE átlagai és értékei között (15. ábra). Ez a szárazságstresszelt 2003-as év és a regenerálódó műtrágyázott gyep együttes hatásának tudható be (2004-ben csak a műtrágyázás előtti időszak méréseinek összehasonlítása volt indokolt a 10%-nál nagyobb PAR átlag eltérések miatt.). A négy mérés közül háromszor a kontroll gyep nagyobb NEE értéktartománya, valamint 2003. júniusában nagyobb szórása figyelhető meg. Ez az állomány instabilabb, szárazság által nagyobb mértékben stresszelt, illetve lassabban regenerálódó voltára utal. 2003-ban azonos PAR tartomány mellett júniusban a kontroll – ellentétben a teljes adatsor átlagával (12. ábra) –, míg októberben a műtrágyázott állomány CO_2-megkötésének átlaga volt kismértékben nagyobb. 2004. áprilisában – a műtrágya kiszórás előtt – azonos radiáció tartomány mellett kisebb különbség, de megegyező trend figyelhető meg az NEE átlagok között, mint a teljes mérési adatsor összehasonlításánál.



15. ábra: A nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere értékei, azonos fényintenzitás-tartományban, műtrágyázott és kontroll gyepben /Isaszeg; 2003, 2004/

5.3.2.3. Az isaszegi műtrágyázott és kontroll gyep vízhasznosítási hatékonyságának (WUE) és levélfelületének (LAI) évek közötti és szezonális variabilitása

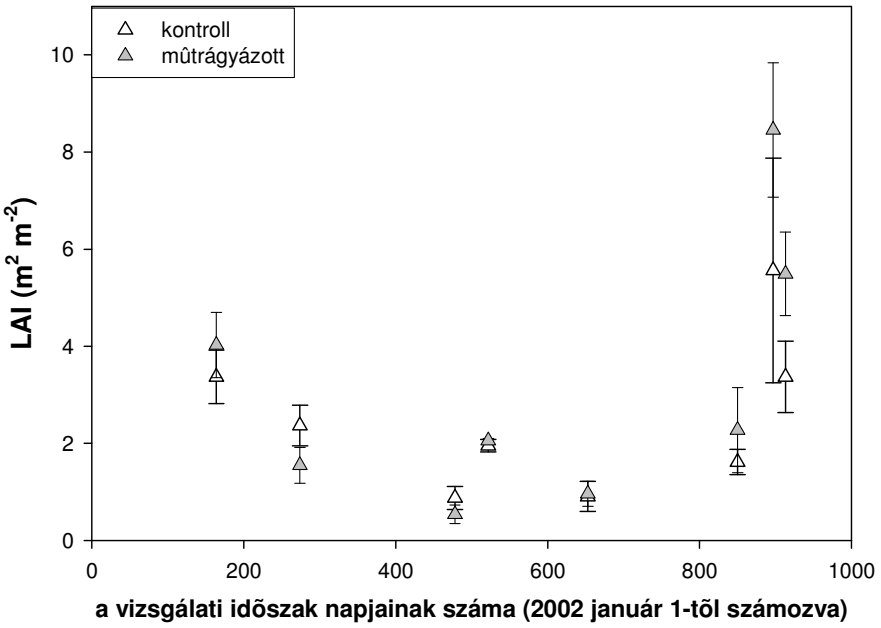
Egyik vizsgált időpontban sem volt szignifikáns eltérés a műtrágyázott és kontroll gyep WUE értékei között (16. ábra). 2002-ben kaptuk a legkisebb, míg – nem számítva a 2003. júniusi kiugróan magas WUE átlagokat és értékeket – 2004-ben legnagyobb értékeket mindkét típusnál. A 2002-es feltűnően alacsony WUE-t a kiugróan magas ET értékek okozták. Az ekkor még zárt típusú kamrás mérésnél a magas transzspirációs adatok, lehetséges, hogy mérési hiba következményei, ezért az NEE transzspiráció függésénél nem lettek figyelembe véve. A 2003-as WUE értékek, az említett összes mérést tekintve második legmagasabb WUE átlagoktól és értékektől eltekintve, a 2002-es átlagos csapadékú és a 2004-es csapadékos év közötti tartományba estek. A vizsgálati periódusban – a bugaci gyeppel ellentétben – közepesnek számító 2003-as WUE értékek is jelzik, hogy a löszgyepet a 2003. évi aszály kevésbé stresszelte, mint a homoki legelőt. A 2003-as csapadékhiány negatív hatása a WUE értékek jelentős szórásában nyilvánul meg, mely a gyep szünfiziológiai működésének instabilitását jelzi. A szórások különösen a tavaszi és júniusi csapadékhiányos időszakban és a regenerálódó műtrágyázott gyepnél kiugróan magasak. Az éven belüli szezonális eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy minden évben az első WUE átlagok – kivéve a 2003. szeptemberi kezelt állományt – a legalacsonyabbak, míg 2003-ban és 2004-ben egyaránt a júniusi átlagok és értékek a legmagasabbak. A 2003-as és 2004-es év állományszintű WUE értékei tehát nem különböztek szignifikánsan és mindkét típusnál hasonló tartományban mozogtak, azaz állományszinten nem igazolódott be az a levélszintű méréseken alapuló feltételezés (LD. NAGY *et al.* 1994, SZENTE *et al.* 1996), hogy a cönológiai degradációval együtt a fotoszintézis vízhasznosítási hatékonysága is szükségszerűen megváltozik.



16. ábra: A vízhasznosítási hatékonyság (WUE) időbeli dinamikája *Salvio -Festucetum rupicolae* társulás műtrágyázott és kontroll állományában /Isaszeg, 2002-2004/

A műtrágyázott és kontroll gyep eltéréseit összehasonlítva megállapítható, hogy mindhárom évben a mérések felénél a kezelt, másik felénél a kontroll gyep WUE átlagai voltak a magasabbak. A mérések többségénél a magasabb CO_2-fixációjú gyeptípus WUE átlaga volt nagyobb, de minden évben voltak ettől eltérések is. 2002. júliusában a műtrágyázott gyep magasabb WUE átlagát döntően a magasabb abszolút értékű NEE okozta, annak ellenére, hogy a kezelt gyep ET átlaga valamivel magasabb volt a kontrollnál. 2003. áprilisában a műtrágyázott gyep nagyobb WUE átlagát a kisebb NEE-hez hasonlóan

szintén alacsony ET értékek idézték elő, míg 2004. júniusában a kontroll némiképp magasabb vízhasznosítási hatékonysága a magas NEE-hez társuló, a műtrágyázott gyepnél arányítva is magasabb ET-nak a következménye. A kezelt gyep 2004. júniusi magasabb WUE átlagát és értékeit a kezeletlen gyep azévi legmagasabb mért ET-ja eredményezte. A fentebb említett CO_2-megkötéssel ellentétes WUE átlagokon kívül jelentősebb eltérést a két gyeptípus között 2003. szeptemberében és 2004. áprilisában tapasztaltunk. Előbbi esetben a műtrágyázott gyep kisebb WUE értékeit a jelentősebben lecsökkent NEE okozta, míg utóbbinál a kezelt gyep magasabb WUE-a a jelentősebb szénmegkötés következménye.



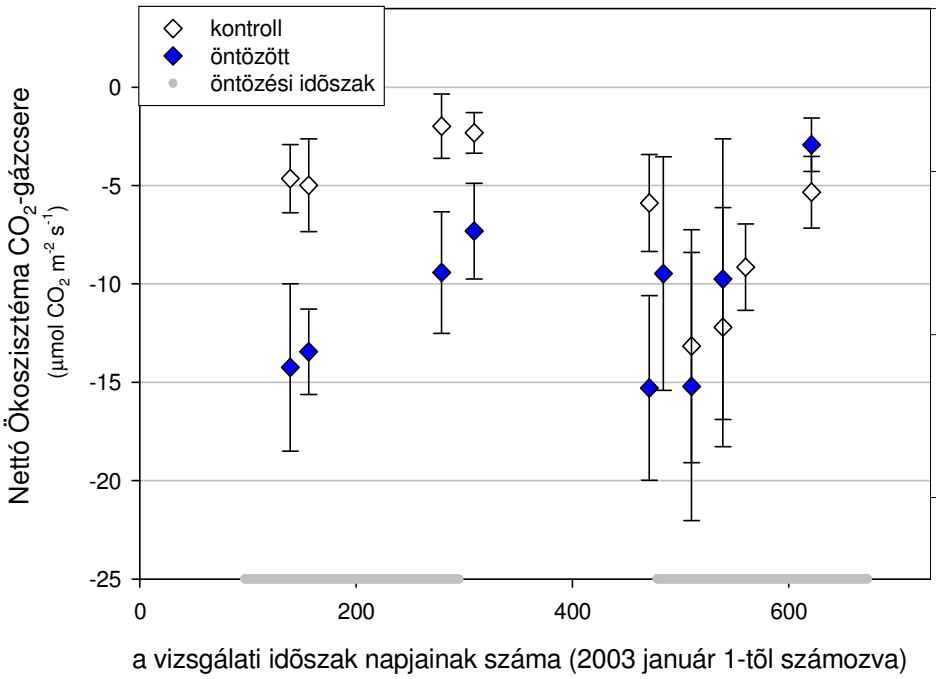
17. ábra: A levélfelület (LAI) eltérése műtrágyázott és kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* társulás kamrás (NEE) mérése során /Isaszeg, 2002-2004/

A műtrágyázott és kontroll gyep ceptométerrel és infravörös kamerával becsült zöld LAI értékei között csak a 2004. július eleji mérés idején volt szignifikáns (P<0,005) eltérés (17. ábra). A LAI értékek változását az évi kétszeri biomassza vágás kismértékben (melynek során a gyep 10 cm fölötti levélfelületét eltávolítottuk), míg a kezelés jelentősen befolyásolta. 2002-ben a késői műtrágyázás negatív hatásaként a műtrágyázott állomány LAI-ja szignifikánsan lecsökkent (P<0,005), a gyepben üres foltok („gap”-ek) jöttek létre egyes taxonok (pl. Festuca ovina ssp. rupicola) eltűnése miatt. A legkisebb LAI értékeket 2003-ban, a legnagyobbakat 2004-ben mértük, hasonlóan a bugaci homoki legelőhöz. Szignifikáns eltérés (P<0,005) az évek azonos időszakai közt több alkalommal is megfigyelhető, mint 2003. és 2004. áprilisa, valamint 2003. és 2004. júniusa között mindkét állományban, továbbá 2002. és 2004. júniusa közt a műtrágyázott, valamint 2002. és 2003. októbere között a kontroll gyepben. Az éven belüli eltéréseket vizsgálva 2002-ben és 2003-ban a júniusi LAI értékek szignifikánsan magasabbak voltak (P<0,005) az októberinél mind a két állomány esetében. A LAI szezonális görbéje a teljes vizsgálati időszakban és mindkét állomány esetében nagyfokú hasonlóságot mutat a CO_2-fixáció dinamikájával. A jelentősebb CO_2-fixáció – a műtrágyázott állomány néhány esetét leszámítva – mindig nagyobb levélfelület értékekkel együtt figyelhető meg. A kivételek közül 2002. júniusában a magasabb LAI és a kedvezőbb mikroklimatikus paraméterek (Tair és PAR) ellenére a kezelt gyep NEE átlaga alacsonyabb volt. 2003. októberében és 2004. április végén a műtrágyázott állomány nagyobb LAI-ja, az alacsonyabb PAR értékek miatt kisebb CO_2-megkötéssel párosult, míg 2004. júliusában a magas Tair- és a N-hiány okozhatta ugyanezen állományban a szignifikánsan több levélfelület (P<0,005) ellenére kisebb NEE átlagot.

A műtrágyázott és a kontroll állomány levélfelületének eltéréseit vizsgálva megállapítható, hogy a manipuláció kezdetekor a kiindulási átlagok különböztek, ugyanis a kezelt gyepben közel 20%-kal magasabb volt az átlagos LAI. A műtrágyázott állomány LAI-ja 2002-ben a késői műtrágyázás és az azt követő csapadékhiány együttes negatív hatására szignifikánsan lecsökkent (P<0,005). Ennek következtében, 2002. októberében a kontroll gyep LAI-ja – a júniusihoz képest szintén szignifikáns (P<0,005) csökkenés ellenére – másfélszerese volt a műtrágyázott gyepnek. A kezelt gyep regenerációja következtében – a szárazságstressz növekedést limitáló hatása ellenére – 2003-ban az itt mért LAI átlag már meghaladta a kontroll foltokét (5,4%-kal). A LAI értékek 2003. júniusától – a júniusi biomassza vágás ellenére – közel azonos mértékben változtak a kezelt és a kontroll foltokban a vegetációs időszak végéig. 2003-ban a műtrágyázást toleráló fajok a tápanyag utánpótlás hatására növelték levélfelületüket, magasabbra nőttek, kompenzálva az eltűnt, illetve lassan adaptálódó fajok hiányzó levélfelületét és biomassza tömegét. 2004-ben a csapadékos időjárás következtében a műtrágyázás kedvezően befolyásolta a kezelt gyep levélfelület növekedését, mely ennek következtében intenzívebb volt ezen foltokban. A műtrágyázott és kontroll állomány LAI átlagának különbsége folyamatosan nőtt a tavaszi intenzív növekedési időszakban (az áprilisi 40%-ról júniusban 52%-ra). A kezelt gyep július elsejei, vágás előtti értéke – az előző LAI adatokhoz képest szignifikáns csökkenés ellenére (P<0,005) –, a legnagyobb mértékben múlta felül (63%-kal, P<0,005) a kontroll gyep levélfelületét. Összességében a kezelés és a csapadékviszonyok egyaránt jelentősen befolyásolták a levélfelület alakulását, valamint a LAI értékek többnyire szoros korrelációt mutattak a CO_2-fixációval.

5.3.3. Gödöllőre transzplantált löszgyep

5.3.3.1. A gödöllői öntözött és kontroll gyep CO_2-fluxusának évek közötti és szezonális variabilitása



18. ábra: A CO_2-fluxus éven belüli és évek közötti dinamikája öntözött és kontroll gyepben /Gödöllő, 2003-2004/

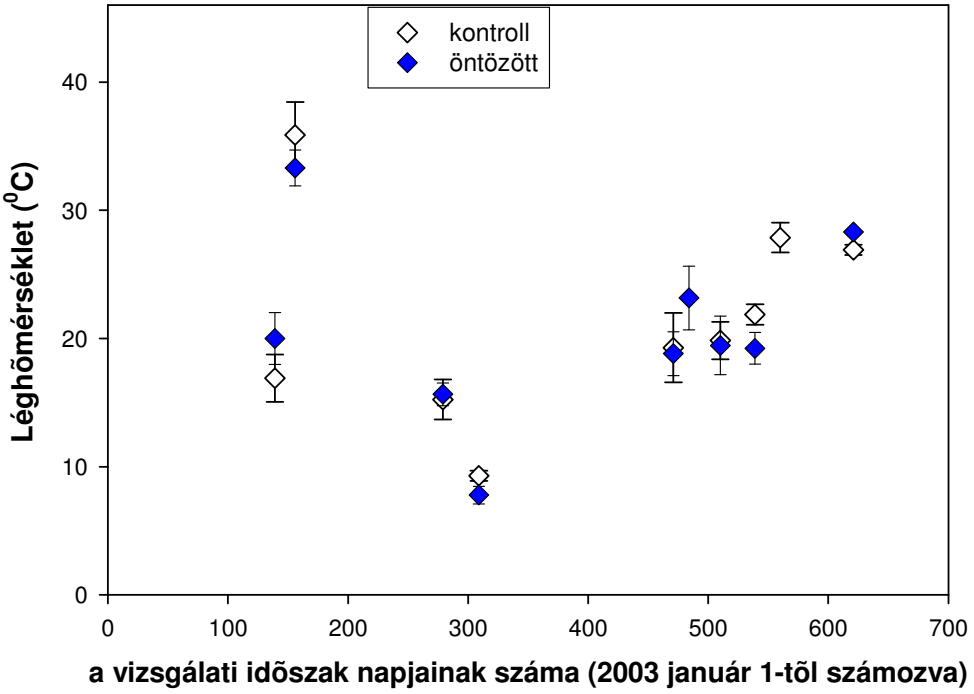
Az öntözött és kontroll állomány CO_2-fluxus mérései során az összes NEE átlag és szórás negatív volt, azaz a vizsgált napokon és időpontokban – ellentétben a másik két manipulációs kísérlettel – a gyepek szénmegkötők voltak (18. ábra). A gödöllői transzplantált monolitok esetében a vizsgált két évben* öt

alkalommal (2003-ban mind a négyszer, valamint 2004. április közepén) is szignifikánsan nagyobb ($P<0,005$) CO_2-fixációt mértünk az öntözött gyepben a kontroll állományhoz képest. A vizsgált manipulációs kísérletek közül egyedül itt tapasztaltunk szignifikáns eltérést az NEE értékek között. Ez egyben jelzi a szárazságstressz volumenét, valamint a közel optimális vízellátottság fontosságát, továbbá ezen tényezők hatását a szünfiziológiai működésre. Az NEE éven belüli szignifikáns eltérése mindkét állománynál megfigyelhető. Az öntözött gyep esetében 2003. májusában és júniusában, illetve 2004. április közepén és májusban sokkal nagyobb ($P<0,005$) szénmegkötést mértünk, mint 2003. novemberében, ill. 2004. szeptemberében, míg a kontroll állománynál csak a 2004. májusi és szeptemberi mérés között volt szignifikáns eltérés. A vizsgálati évek azonos időszakában mért NEE fluxusokat összehasonlítva az öntözött állomány CO_2-fixációja 2004. őszén szignifikánsan kisebb volt ($P<0,005$), mint 2003. szeptemberében. A kontroll állománynál jelentős CO_2-fixáció csökkenés ($P<0,005$) 2003. májusa és novembere, valamint 2004. májusa és szeptembere között tapasztalható.
Az öntözött és kontroll gyepnél egyaránt jól megfigyelhető (18. ábra) a CO_2-fixáció szezonalitása mindkét évben, mely az öntözött állománynál kifejezettebb 2003-ban, míg a kontroll állománynál 2003-ban és 2004-ben is kiegyenlítettebb. Az időfaktoros variancia analízis mind az öntözött ($F=285,02$; $P<0,001$), mind a kontroll ($F=301,43$; $P<0,001$) állománynál – a kétéves adatsorok alapján – szignifikáns eltérést adott az NEE-re, ami igazolja az öntözött állomány CO_2-fixációjának szezonálitását. Az öntözött gyepnél mindkét évben feltűnő a tavaszi intenzívebb növekedési ciklus jelentősebb C-megkötése az őszihez képest. A műtrágyázott állományhoz hasonlóan az öntözött gyep CO_2-felvételére is jellemző a vegetációs időszak második felében egyfajta negatív „feedback", melynek oka a gyors biomassza növekedés és N-akkumuláció következtében a vegetációs időszak végén fellépő N-hiány. 2003-ban az öntözés többszörösére (közel háromszorosára 2003. júniusban, több mint háromszorosára 2003. májusban és novemberben, közel ötszörösére 2003. októberben) növelte az állományfoltok CO_2-elnyelését a kontrollhoz képest. Ez nemcsak a CO_2-asszimiláció, hanem a szénmérleg értékekben (LD. biomassza értékek a 73. ábrán) is megmutatkozik, mely a vegetációs periódus végére a kontroll állományban többszörösére nőtt. A megfelelő vízellátottság következtében az egyébként forró és csapadékhiányos nyári hónapokban is jelentős CO_2-megkötést mértünk az öntözött gyepben. Az egyenletes vízellátottság a C-fixáció növekedéséhez képest jóval kisebb mértékben növelte a talajlégzést, mely irodalmi adatokból ismert (BOUMA & BRYLA 2000). 2004-re az előző évben szárazságstresszelt kontroll állomány teljesen regenerálódott és NEE értéke – a 2004. április közepén mért szignifikánsan alacsonyabb ($P<0,005$) érték után – május végére már csak kismértékben maradt el (15,6%) az öntözött gyeptől. Sőt az utolsó két közös mérés során (június és szeptember) – a szignifikánsan alacsonyabb PAR átlagok ellenére – a kontroll állomány NEE átlaga már jelentősebben meghaladta a kezelt gyep CO_2-fixációját. Összességében megállapítható, hogy az öntözés NEE-re és szénmérlegre (73. ábra) gyakorolt pozitív hatása mindkét évben megfigyelhető, továbbá a löszgyep szünfiziológiai működését, CO_2-fixációjának mértékét a homoki legelőnél kisebb mértékben csökkentette a 2003-as aszály, melyet a vegetáció – ötéves szárazság után a prérin is megfigyelt (ARCHIBOLD 1995) – gyors regenerációs potenciálja is jelez.

/*2002-ben a transzplantálás következtében az öntözött és kontroll állományok fajkészlete lecsökkent egyes, mélyebben gyökerező vagy bolygatást kevésbé tűrő taxonok eltűnése miatt. Ezenkívül a transzplantált monolitok közti repedésekből feláramló jelentős CO_2-fluxus a zárt kamrás mérési technika során mérési hibát (extrém nagy CO_2-kibocsátás) eredményezett, ezért a 2002. évi NEE méréseket nem ábrázoltuk. 2003-ra a talaj repedéseit azonos helyről származó talajmaradékkal kipótoltuk, mellyel megszűntettük a mérési eredményekre negatívan ható talajfluxusokat./

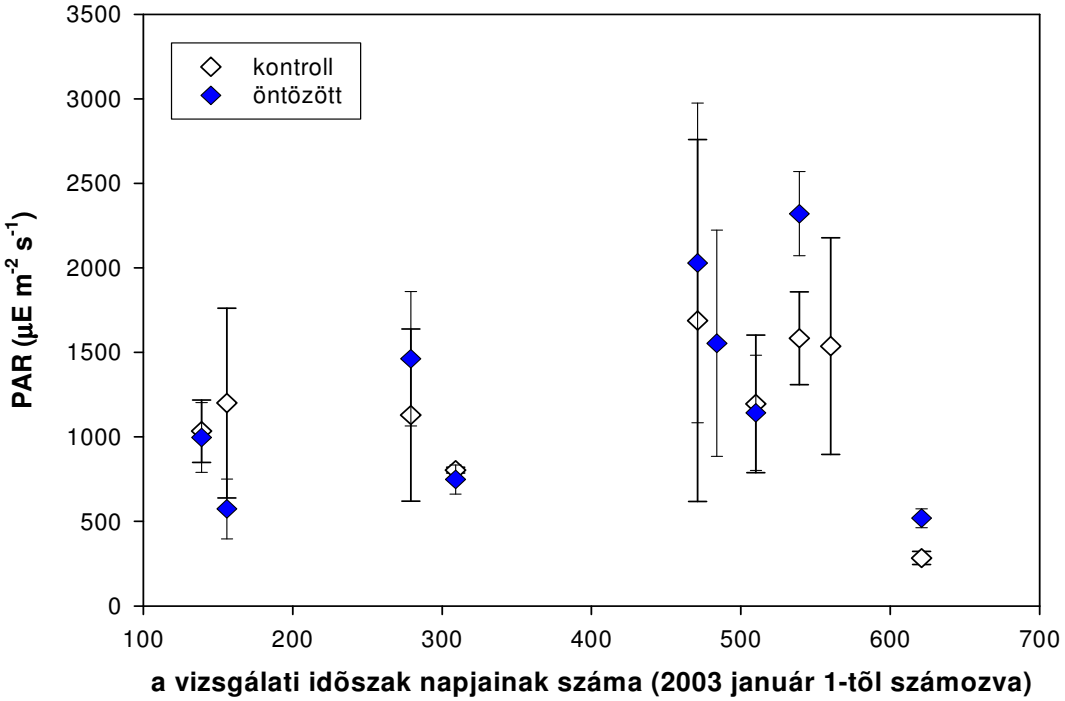
5.3.3.2. A gödöllői öntözött és kontroll gyep CO_2-fluxusát befolyásoló főbb abiotikus (Tair, PAR) paraméterek változása a kamrás gázcsere mérések során

Az isaszegi objektumhoz hasonlóan a gödöllői NEE mérések – a két típus együttes mérése esetén – mindig ugyanazon a napon történtek a két állományban, egymást követően és rövid időintervallumon belül. Ennek következtében a Tair átlagok nem különböztek jelentősen, bár ennek némiképp ellentmondani látszik, hogy az öntözött és kontroll állomány NEE mérései során a léghőmérséklet többször is szignifikánsan eltért (19. ábra). A szignifikáns (P<0,005) eltéréseknél két esetben a kontroll, míg egyszer az öntözött állomány Tair átlaga volt valamivel magasabb. A szignifikáns eltérések közül a legnagyobb léghőmérséklet különbséget (2,63°C) 2004. júniusában számítottuk, míg 2003. novemberében mindössze 1,5; 2004. szeptember közepén 1,38°C volt az eltérés a Tair átlagok között.



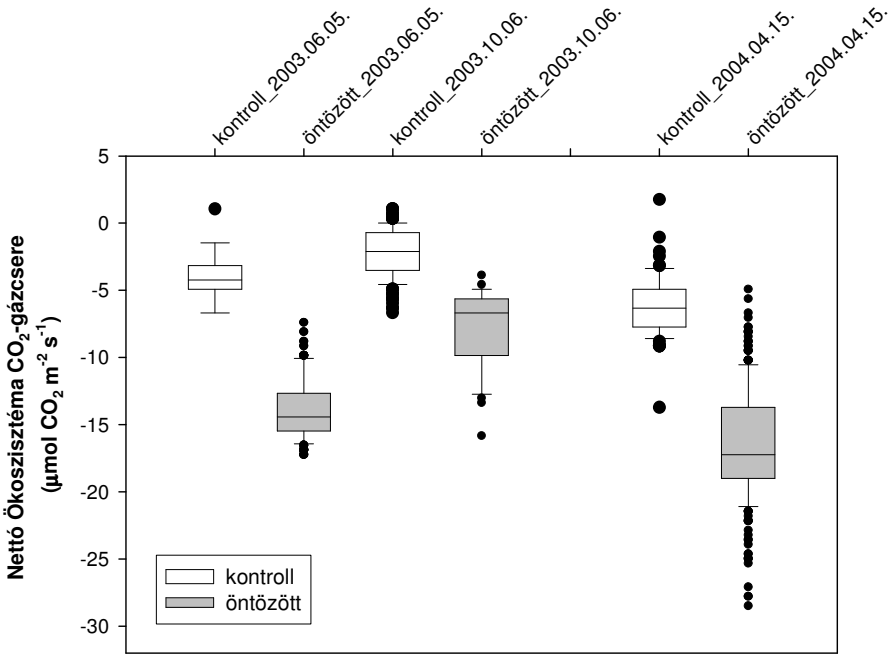
19. ábra: A léghőmérséklet eltérése öntözött és kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* társulás állomány-szintű, kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) mérése során /Gödöllő, 2003-2004/

Mindhárom esetben az NEE mérések során a hőmérséklet csak szűk tartományban változott, ezért hiányoznak az átfedő értékek. A szignifikáns Tair különbségek közül 2003. november elején – a legnagyobb arányú eltérésnél (19,3%) –, a két állomány PAR értékei jelentősen átfedtek és a radiáció átlagai csak kismértékben különböztek (20. ábra). Ezzel szemben a 2004. évi kisebb arányú (13,7 és 5,1%), de szignifikáns hőmérséklet különbségek idején, a PAR értékek is szignifikánsan eltértek. Az összes többi mérési napon szintén csak kismértékben (0,39 és 3,09°C között) különböztek a Tair átlagok, továbbá a hőmérsékleti adatsorok átfedése is jelentős volt. Szélsőségesen meleg (35°C<) hőmérsékleti értékeket csak 2003. júniusában (Tair átlag 35,9°C) mértünk a kontroll állományban, ami a döntően C_3-as fajok alkotta gyep sztómazáródása és fénylégzése révén csökkenthette a C-fixáció mértékét és növelhette a CO_2-kibocsátást. A Tair átlagok és értékek a mérések többségénél alacsonyabbak voltak az öntözött gyepnél, melynek oka a nagyobb nedvességtartalommal együtt megnőtt ET hűtő hatása. A Tair átlagok csekély eltérése, a mérési alkalmak többségénél megfigyelhető átfedés a hőmérséklet értékek között, valamint az öntözött és kontroll gyeptípus CO_2-megkötésének minimális hőmérséklet függése (28. és 29. ábra) alapján megállapítható, hogy a hőmérsékleti különbségek csak egy alkalommal (2003. június) növelhették a CO_2-fixáció eltéréseit.



20. ábra: A PAR eltérése öntözött és kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* társulás állományszintű, kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) mérése során /Gödöllő, 2003-2004/

A Gödöllőre transzplantált gyep CO_2-fluxus vizsgálata során az öntözött és kontroll gyep radiáció értékei között két alkalommal (2004. június és szeptember) volt szignifikáns (P<0,005) eltérés (20. ábra). Mindkét esetben az öntözött gyep PAR értékei voltak sokkal magasabbak (átlag 46,5, ill. 83,3%-kal), ennek ellenére az NEE mértéke mind a két esetben kisebb volt a kezelt gyepnél, feltehetőleg a megváltozott C/N arány miatt. A szignifikáns eltéréseken kívül még három alkalommal tértek el jelentősebben (10%<) a PAR átlagai, mely esetekben elvégeztük az NEE értékek összehasonlítását azonos PAR tartomány mellett (21. ábra). Az öntözött állományban 2003. június 5-én 53%-kal alacsonyabb, míg 2003. októberében 29,5%-kal, 2004. április közepén 20,2%-kal magasabb volt az átlagos PAR a fluxus mérések során. A jelentősebb és eltérő irányú radiáció különbségek ellenére mindhárom esetben szignifikánsan nagyobb (P<0,005) volt a CO_2-fixáció az öntözött állományban. 2003-ban a kontroll gyep PAR átlaga háromszor, az öntözötté egyszer volt magasabb. 2004-ben 2-2 alkalommal számítottunk magasabb, illetve alacsonyabb radiációs átlagokat mindkét típusnál. A telepített löszgyep állományok NEE-jének kisebb mértékű PAR függését igazolja, hogy bár a minimális (<10%) radiáció eltérések esetén mindig az öntözött gyep PAR átlaga volt alacsonyabb, ennek ellenére mindhárom esetben jóval nagyobb mértékű – kétszer is szignifikánsan – volt az öntözött gyep CO_2-megkötése. A PAR eltérései tehát sem az NEE értékeket, sem az öntözött és kontroll állomány C-megkötése közti különbségeket nem befolyásolták lényegesen. A nagyobb PAR eltérések mindössze csekély mértékben csökkenthették/növelhették a vizsgált állományok CO_2-fixációját.



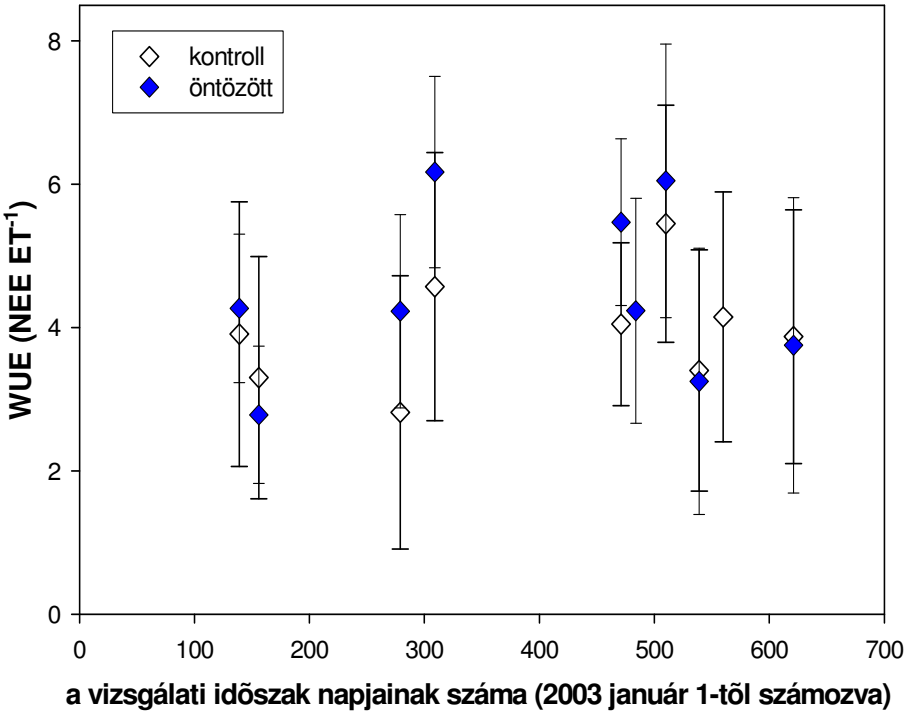
21. ábra: A nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere értékei, azonos fényintenzitás-tartományban, öntözött és kontroll gyepben /Gödöllő; 2003, 2004/

Azonos PAR mellett három eltérő időszakban hasonlítottuk össze a CO_2-fixáció különbségeit az öntözött és a kontroll gyep között (21. ábra). /A csekély számú összevetés oka, hogy a PAR átlagok három esetben csak minimális mértékben (<10%), míg további két alkalommal szignifikánsan különböztek./ Mind a három vizsgált napon megmaradt a szignifikáns különbség ($P<0,005$), azaz az öntözött állomány NEE-je a megegyező PAR tartomány ellenére jelentősen felülmúlta a kontroll gyep CO_2-megkötését. A radiáció szűkítésének következtében 2003. júniusában az NEE átlagértéke a kontrollnál kismértékben csökkent, míg az öntözöttnél emelkedett, továbbá a szélső értékek között sem volt átfedés. 2003. októberében az NEE átlaga csak az öntözött típusnál csökkent, ennek ellenére mindössze a szélső értékek fednek át a két állomány között, azaz a szignifikáns különbség megmaradt. 2004. áprilisában a kisebb radiáció tartomány miatt csak az öntözött gyep NEE átlaga nőtt, de a szélső értékek (a kontroll legmagasabb értéke, valamint az öntözött legalacsonyabb fluxusai) így is átfednek a két gyeptípus között. Összességében megállapítható, hogy nem a PAR eltérései okozták az öntözött és kontroll állomány NEE különbségeit.

5.3.3.3. A gödöllői öntözött és kontroll gyep vízhasznosítási hatékonyságának (WUE) és levélfelületének (LAI) évek közötti és szezonális variabilitása

A vizsgálati időszakban nem volt szignifikáns különbség az öntözött és kontroll gyep vízhasznosítási hatékonysága között (22. ábra). Ez jelzi, hogy a 2003. évi aszály által limitált növekedésű kontroll állomány jól akklimatizálódott a szárazságstresszhez, mivel a lecsökkent CO_2-fixáció kismértékű evapotranszspirációval társult, így a gyep számított WUE értékei nem különböztek szignifikánsan az öntözött állománytól. A kontroll állomány 2003-as csapadékhiányát az öntözött gyepnél többnyire kisebb WUE értékek, valamint a 40-78%-kal nagyobb szórások jelzik. A két vizsgált évet összehasonlítva 2004. tavaszi, kora nyári intenzív növekedési ciklusának azonos periódusaiban (május és június) mindkét állománynál magasabb WUE átlagokat kaptunk, melyek közül a májusi eltérés volt jelentősebb. Az őszi időszakokat összevetve az öntözött gyepnél 2004-ben alacsonyabb, míg a kontrollnál a 2003. októberinél magasabb, de a novemberinél alacsonyabb volt a WUE átlaga. Az évek közötti és éven belüli szezonális eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy a vízhasznosítási

hatékonyság sem az évek azonos időszakaiban, sem az adott vizsgálati éveken belül nem különbözött szignifikánsan az öntözött, illetve kontroll állománynál.

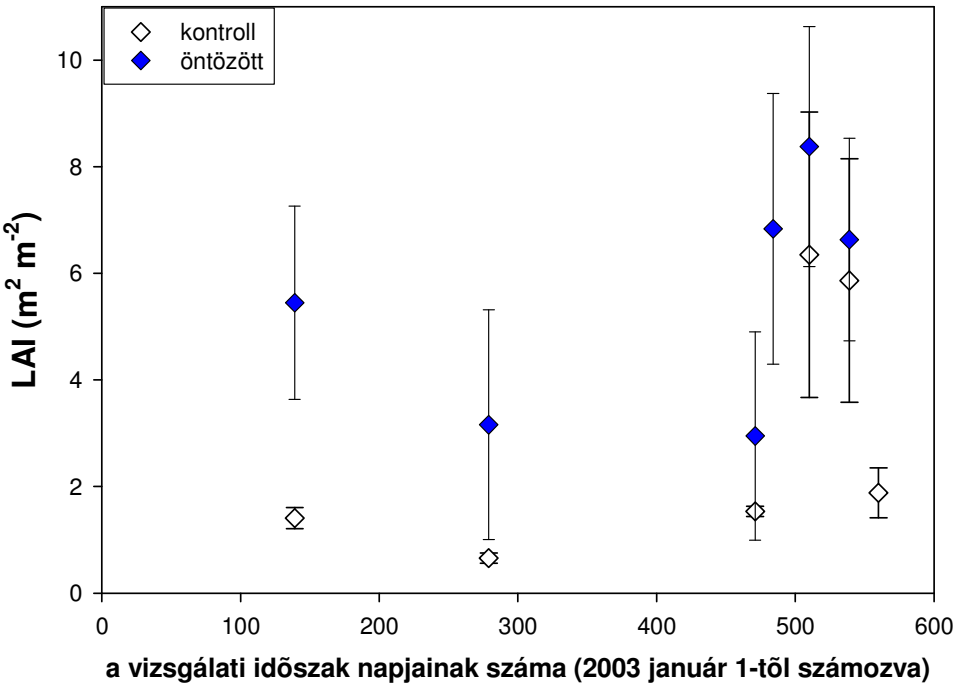


22. ábra: A vízhasznosítási hatékonyság (WUE) időbeli dinamikája transzplantált *Salvio -Festucetum rupicolae* társulás öntözött és kontroll állományában /Gödöllő, 2003-2004/

A WUE átlagai 2003-ban egy, míg 2004-ben két eset kivételével az öntözött állományban voltak nagyobbak. A kontroll gyep magasabb WUE átlagainak oka – az eltérő eltérő időjárású évek mellett –, hogy 2003. júniusában az öntözött állomány evapotranszspirációja nagyobb mértékben múlta felül a kontroll gyep ET-át, mint a kezelt gyep CO_2-fixációja, míg 2004. júniusában és szeptemberében az öntözött gyep jelentősebben lecsökkent NEE-nek következménye a kontroll magasabb WUE-a. Az öntözött állománynál jelentősebben (35-50%) kisebb WUE átlagokat a kontroll típusnál csak három egymást követő mérési időszakban tapasztaltunk. 2003. októberében mindkét állomány ET értékének átlaga közel azonos volt – egyben a kontroll állománynál a 2003. évi legmagasabb, a csapadékosabb őszi időszak miatt –, de ez nem párosult szignifikánsan magasabb NEE értékkel. 2003. november elején a különbséget az okozta, hogy az öntözött állomány CO_2-megkötése még mindig jelentős volt, de az ET értékei már lecsökkentek. 2004. április közepén a szignifikánsan alacsonyabb NEE értékek miatt kisebb a kontroll gyep WUE-ja.

Az öntözött és kontroll gyep infravörös kamerával becsült zöld LAI értékei között csak 2003-ban volt szignifikáns ($P<0,005$) eltérés (23. ábra). A vizsgált manipulációs kísérletek közül 2003-ban egyedül itt tapasztaltunk ilyen mértékű eltérést a LAI esetében, mely egyben jelzi a közel optimális vízellátottság hatását a LAI-ra és ezen keresztül a szünfiziológiai működésre. A LAI értékek változását az évi kétszeri biomassza vágás kismértékben (melynek során a gyep 10 cm fölötti levélfelületét eltávolítottuk), míg a kezelés és a klimatikus eltérések jelentősen befolyásolták. Kizárólag az öntözés következtében fejleszthetett jelentős levélfelületet a kezelt állomány 2003-ban, míg a 2004-es csapadékos vegetációs időszak eredményeként nem alakult ki szignifikáns különbség a két típus levélfelülete között. Az évek azonos időszakát és a szezonális eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy szignifikáns különbség ($P<0,005$) csak a kontroll gyepnél figyelhető meg mindkét esetben. 2004. májusában, a kontroll állományban a LAI átlag 4,5-ször volt nagyobb, mint egy évvel korábban.

Szintén szignifikáns (P<0,005) volt a levélfelület eltérése 2003. májusa és októbere (csökkenés), valamint 2004. áprilisa és májusa (növekedés), illetve 2004. júniusa és júliusa (csökkenés) között a kontroll gyepben. Az öntözött gyep LAI dinamikáját vizsgálva megfigyelhető, hogy 2004-ben magasabb LAI értékeket becsültünk, mint 2003-ban, azaz a szárazságstressz kismértékben limitálta az öntözött állomány 2003. évi növekedését.

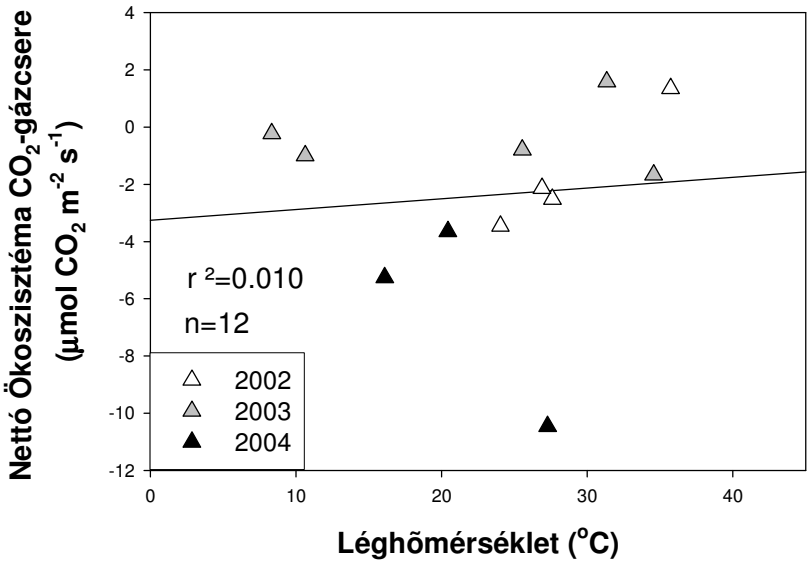


23. ábra: A levélfelület (LAI) eltérése öntözött és kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* társulás kamrás ökoszisztéma CO_2-gázcsere (NEE) mérése során /Gödöllő, 2003-2004/

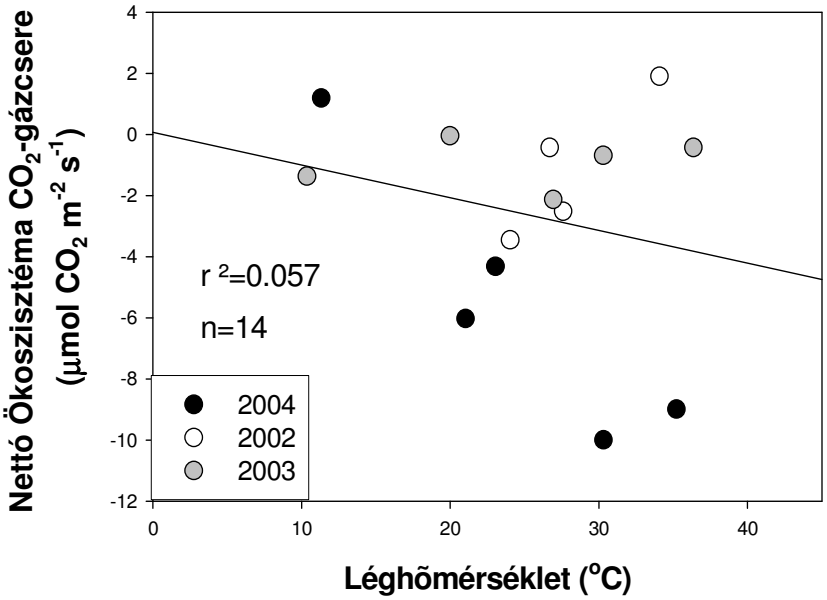
Az öntözött és kontroll állomány LAI átlagait és értékeit összehasonlítva megállapítható, hogy minden vizsgált időszakban az öntözött gyep levélfelülete volt a nagyobb. Az öntözés pozitív hatásaként a szárazság-stresszelt 2003-as évben közel négy-(május), illetve ötszörösére (október) nőtt a zöld LAI a kontroll állományhoz képest. 2004-ben a legnagyobb különbség a tavaszi intenzív növekedési időszak elején (április közepe) figyelhető meg (192%), de az eltérés a két állomány átlagos LAI-ja között fokozatosan csökkent a vegetációs időszak előrehaladtával (június végén már csak 13%). Feltűnőek az öntözött gyep levélfelületének nagy szórásai (különösen 2003-ban), míg a kontroll állomány szórásai két alkalom kivételével (2004. május és június) meglepően kicsik. A LAI szezonális görbéje – hasonlóan a többi manipulációs kísérlethez – a vizsgált időszakban és mindkét állomány esetében nagyfokú hasonlóságot mutat a CO_2-fixáció dinamikájával. A LAI és NEE együttes adatai esetén, jelentősebb CO_2-fixáció – az öntözött állomány egy esetét leszámítva – mindig nagyobb levélfelület értékekkel együtt figyelhető meg. A kivételnek számító 2004. júniusi méréskor az öntözött állomány nagyobb LAI-ja és szignifikánsan magasabb PAR értékei ellenére a kontrollnál kisebb volt a mért NEE átlag, feltehetőleg a C/N arány megnövekedése miatt. Némi eltérés figyelhető meg a két paraméter értékei között 2004. áprilisában, amikor csak az NEE-nél volt szignifikáns eltérés, a LAI-nál nem.

5.4. A CO_2-fluxus abiotikus és biotikus paraméterektől való függésének vizsgálata a manipuláció és az eltérő eltérő időjárású évek függvényében

5.4.1. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése



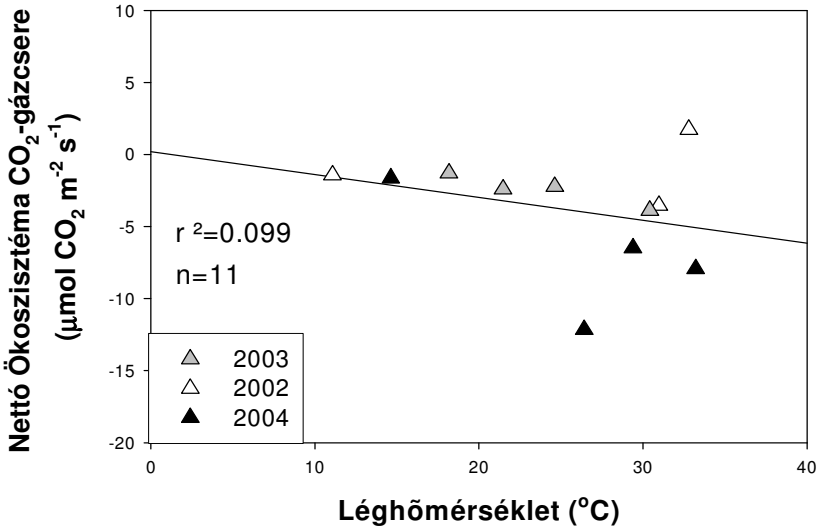
24. ábra: Legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése /Bugacpuszta 2002-2004/



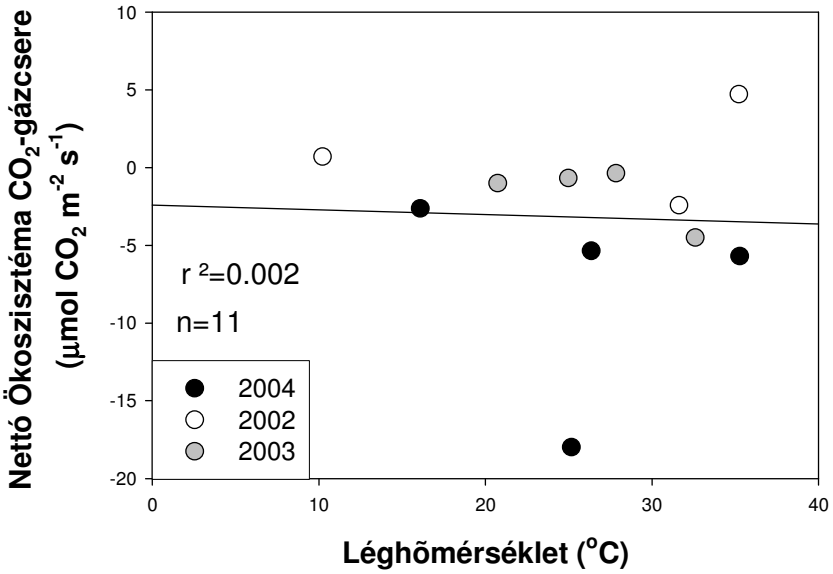
25. ábra: Nem legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése /Bugacpuszta 2002-2004/

A két bugaci állomány teljes vizsgálati ciklusra kiterjedő hőmérséklet függését összehasonlítva (24. és 25. ábra) megállapítható, hogy a CO_2-fixáció Tair függése negatív a legeltetett és pozitív a legeltetéstől elkerített gyepnél. Ezenkívül a korreláció mindkét esetben kismértékű és egyik típusban sem szignifikáns. Az éves adatok Tair függését vizsgálva kijelenthető, hogy 2004-ben mindkét állományban lineáris és szoros korrelációt kapnánk, ezt az összefüggést azonban negatívan befolyásolta 2002.

néhány kiugró, továbbá a 2003-as szárazságstressz időszak szinte összes – csak kismértékű CO_2-fixációt jelző – NEE értéke. A legeltetett gyep kiugró értékei közül megemlíthető a 2004. május 28.-i jelentős CO_2-megkötés közel 30°C-os hőmérsékleten, valamint a 2003. május 14.-i (31,4°C) és 2002. július 2.-i (35,7°C) pozitív NEE értékek. A legeltetéstől elkerített állománynál feltűnő a 2004. május (30,3°C), ill. június végi (35,2°C) jelentős CO_2-fixáció, továbbá a 2002. júliusi (34,1°C) CO_2-kibocsátás. /Az említett kiugró értékek okait az előző fejezetekben tárgyaltuk./ A hőmérsékleti skálákat és a fent említett példákat vizsgálva megállapítható, hogy az „átlagostól" eltérőbb értékek nem csak extrém magas hőmérsékleti tartományhoz köthetők, továbbá a magas léghőmérsékleti átlagok (35°C<) nem feltétlenül párosulnak pozitív NEE értékekkel.



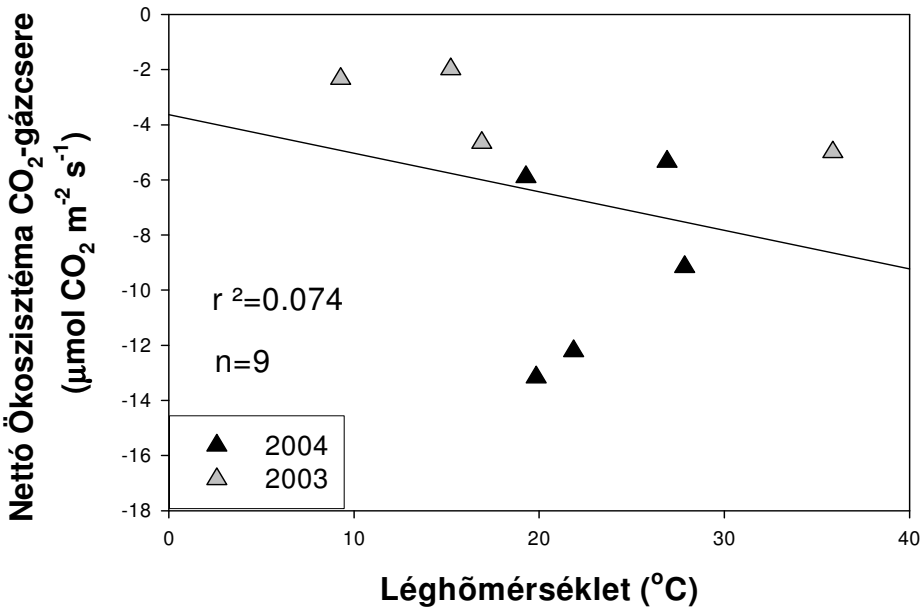
26. ábra: Nem kezelt *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése /Isaszeg 2002-2004/



27. ábra: Műtrágyázott *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése /Isaszeg 2002-2004/

A CO_2-fixáció szempontjából mindkét isaszegi állománynál pozitív, de csak csekély mértékű Tair függés figyelhető meg (26. és 27. ábra), mely sokkal kisebb a műtrágyázott gyep esetében. Ennek oka,

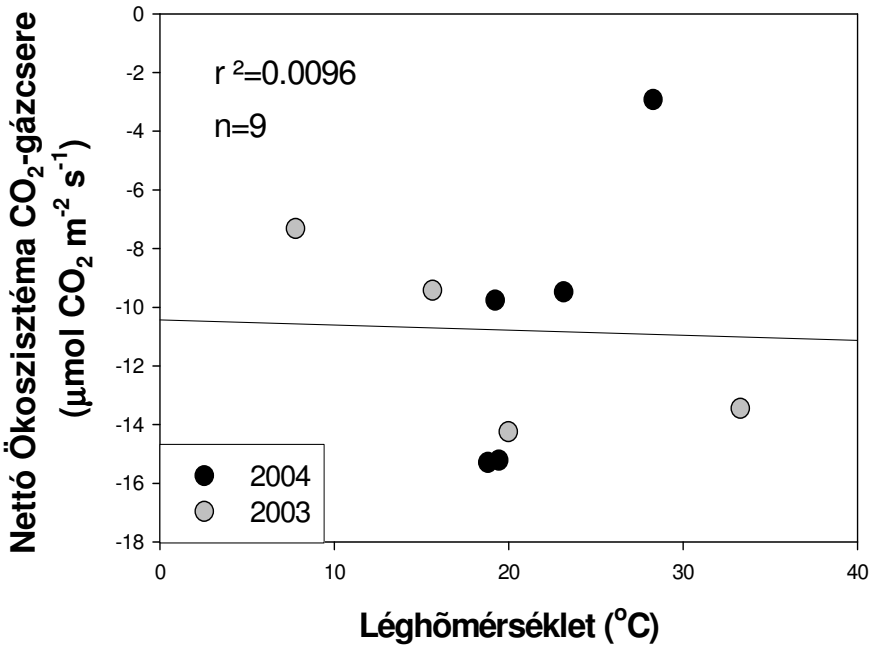
hogy a műtrágyázott gyep szélső értékei sokkal nagyobb mértékben térnek el a többi értéktől, mint a kontroll állomány kiugró adatai. Akárcsak a bugaci gyepnél itt is megállapítható, hogy csak a 2004-es értékeket figyelembe véve nagyobb mértékű lenne a korreláció, de a 2002. nyarán, valamint 2003. jelentős részében tapasztalt szárazságstressz jelentősen csökkentette a teljes vizsgálati ciklus Tair függésének mértéket. A kontroll gyep összes adatára illesztett regressziós egyenestől legnagyobb mértékben két érték különbözik, melyek közül a jelentős CO_2-fixációval párosulót 2004. június közepén (26,4^{o}C), míg az állományszintű C-kibocsátással együtt járót 2002. júliusában (32,8^{o}C) mértük. A műtrágyázott állomány átlagostól lényegesebben eltérő – de hasonló NEE előjelű és nagyságrendű – értékeit a kontroll gyeppel azonos időpontokban, némiképp eltérő hőmérsékleti viszonyok mellett /2004.06.15.: 25,2^{o}C, 2002.07.17.: 35,2^{o}C/ mértük. Mindkét állományban a kiugróan negatív NEE értéket az átlagosnál kedvezőbb csapadékviszonyok és jelentős LAI, míg a negatív NEE-t a nyári szárazságstressz fiziológiai működésre kedvezőtlen hatása, továbbá a műtrágyázott állománynál a késői műtrágyázás negatív következménye okozta. A csak a műtrágyázott állományban megfigyelhető szélsőségesen magas Tair értékekhez tartozó (35°C<) NEE átlagok lényegesen eltérőek (2002.07.17: +4,7; 2004.07.01: -5,7) és a bugaci gyephez hasonlóan nem feltétlenül párosulnak pozitív NEE értékekkel.



28. ábra: Transzplantált, kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése /Gödöllő 2003-2004/

A Gödöllőre transzplantált monolitok átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése mindkét gyeptípusnál csak kismértékben volt pozitív, de a vizsgált két paraméter korrelációja lényegesen kisebb az öntözött állománynál (28. és 29. ábra). Ennek oka, hogy az öntözött gyep egyetlen kiugró értéke sokkal nagyobb mértékben tért el a többi értéktől, mint a kontroll állomány átlagostól eltérőbb adatai. Ellentétben a bugaci és isaszegi állományokkal, a kezelés hatására az öntözött gyeptípusnál – a már említett kiugró érték miatt – 2003-ban nagyobb mértékű volt a korreláció, mint 2004-ben. Utóbbi évben az NEE értékek hasonló hőmérsékleti tartomány mellett is jóval szélesebb értéktartományban változtak mindkét állományban. A kontroll gyep mindkét kiugró értéke a 2004-es csapadékos év legintenzívebb növekedési periódusához köthető és jelentős CO_2-fixációt jelez (NEE átlag -12,2 és -13,2), közel azonos hőmérsékleti átlagok mellett (21,9 és 19,8^{o}C). Az öntözött állomány egyetlen kiugró értékét 2004. szeptemberében mértük, amikor a kedvező hőmérsékleti tartomány (átlag 28,3^{o}C) csak kismértékű CO_2-fixációval társult, elsősorban az intenzív növekedés következtében fellépő

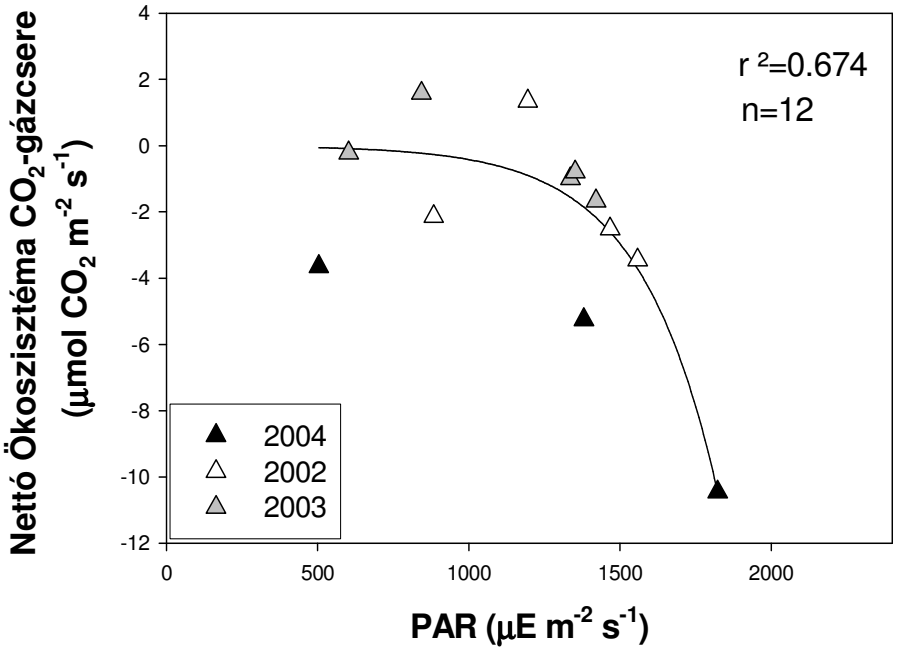
nitrogénhiány miatt. Mindkét állománynál egy alkalommal (2003.06.05.) mértünk NEE-t magas hőmérsékleti tartományban. Ez nem befolyásolta lényegesen az öntözött állomány (33,3°C) CO_2-fixációt (NEE átlag -13,5), mely a kezelés hatására jelentős szénmegkötést eredményezett. Ezzel szemben a kontroll gyep szárazságstresszelt állomány fiziológiai aktivitását az extrém magas Tair (átlag 35,9°C) jelentősen lecsökkentette, melyre a csekélyebb mértékű C-fixáció (NEE átlag -5) is utal.



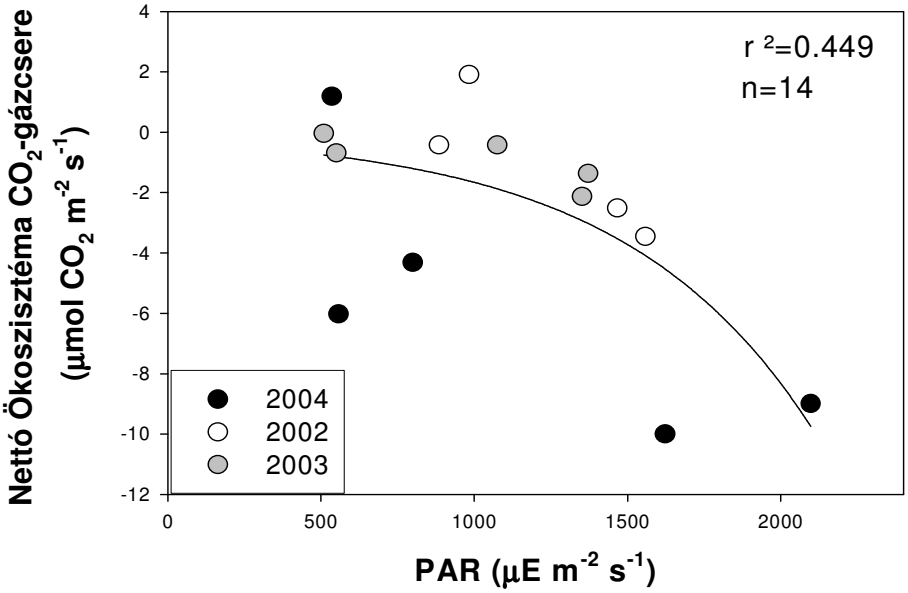
29. ábra: Transzplantált, öntözött *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának hőmérséklet függése /Gödöllő 2003-2004/

Összességében megállapítható, hogy a nettó ökoszisztéma CO_2-megkötés hőmérséklet függése egyetlen vizsgált állományban sem volt szignifikáns. Minden típusban csak kismértékű és jellemzően pozitív volt a Tair függés, kivéve a bugaci legeltetett állományt, ahol negatív hőmérséklet függés figyelhető meg a CO_2-fixáció szempontjából. Legerősebb hőmérséklet-függés az isaszegi és gödöllői kontroll állománynál tapasztalható. Mind a három földhasználati változás gyengébb hőmérséklet-függést eredményezett.

5.4.2. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése



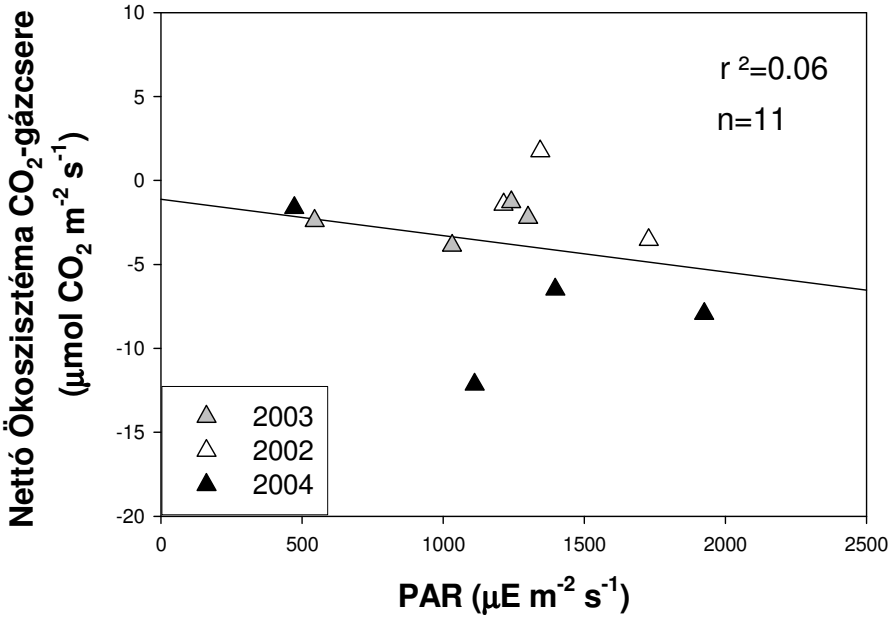
30. ábra: Legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése /Bugacpuszta 2002-2004/



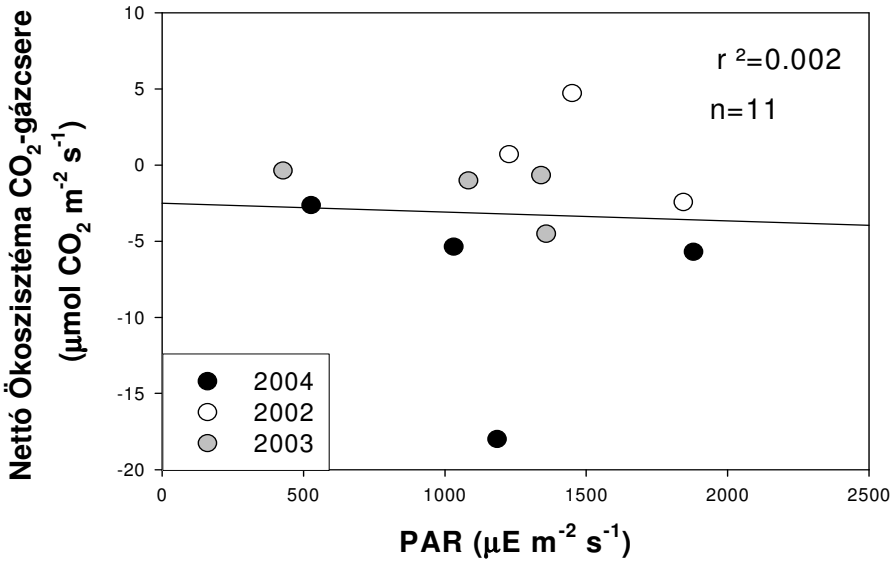
31. ábra: Nem legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése /Bugacpuszta 2002-2004/

A két bugaci állomány fényfüggését vizsgálva megállapítható (30. és 31. ábra), hogy mindkét gyeptípusnál a CO_2-fixáció és a PAR között szignifikáns az összefüggés ($P<0,005$). A szignifikancia mértéke valamivel erősebb a legeltetett állománynál, de mindkét gyeptípusnál exponenciális jellegű. További azonosság a két típus között, hogy a 2003-as és 2002-es értékek illeszkednek legjobban a regressziós görbére. A három év összes adatára illesztett görbétől a legeltetett állománynál legnagyobb mértékben a 2004. szeptemberi mérési eredmény tért el, amikor a relatíve alacsony PAR érték (átlag 504) ellenére a szénmegkötés mértéke jelentős volt (NEE átlag -3,7). Ennek oka, hogy a mérés során

még számottevő asszimiláló felülethez (LAI átlag 1,2) kedvező mikroklimatikus (Tair átlag 20,4°C) és talajtani (SWC: 0,14) viszonyok társultak. Hasonló okokra vezethető vissza a legeltetéstől elzárt gyep regressziós görbéjétől legjobban eltérő 2004. május eleji mérés, ahol a kis PAR érték ellenére (átlag 558) a C-fixáció mértéke jelentős (NEE átlag -6) volt. Utóbbi esetben az alacsony PAR ellenére kiugróan magas NEE átlagot a kedvező biotikus (LAI átlag 4,8) és abiotikus (Tair átlag 21°C, SWC: 0,11) paraméterek együttesen okozták.



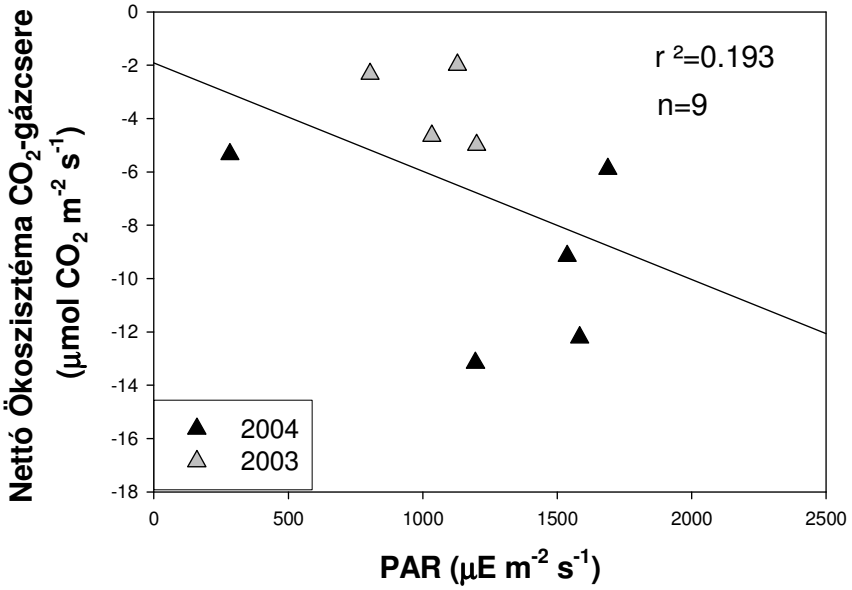
32. ábra: Nem kezelt *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése /Isaszeg 2002-2004/



33. ábra: Műtrágyázott *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése /Isaszeg 2002-2004/

Az isaszegi állományoknál – ellentétben a bugaci gyeppel – csak kismértékű fényfüggés figyelhető meg, melynek mértéke alacsonyabb a műtrágyázott típusnál (32. és 33. ábra). A gyenge fényfüggés feltehető okai egyrészt a kiugró értékek és a 2003-as szárazságstressz, valamint az, hogy a mérések

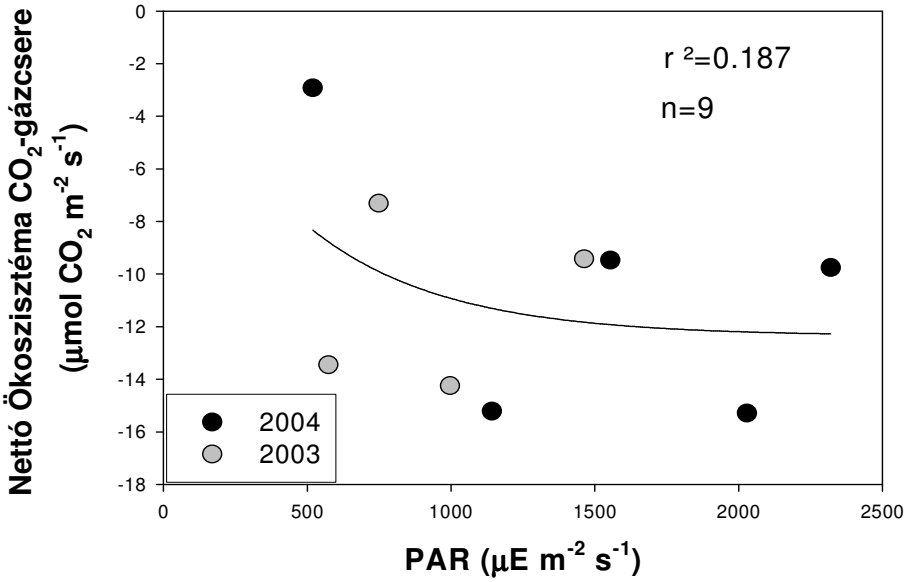
többségénél a PAR tartománya a fénytelítődési érték alatt volt. Mindkét típusnál 2004-ben tapasztalható a legnagyobb mértékű fényfüggés. 2003-ban az alacsony PAR tartomány és a szárazságstressz együttesen, míg 2002-ben az intenzív növekedési időszak méréseinek hiánya és két nyári szárazságstresszelt mérés csökkentette a fényfüggés mértékét. Mindkét típusnál kiugró értéknek számít a 2002. július közepi mérési adat. Ebben az időpontban közepes radiáció értékekhez (átlag 1345 és 1450) jelentős szénkibocsátás társult (NEE átlag +1,75 és +4,7). A deviancia elsődleges oka a nyári aszály előidézte dormancia, valamint a mérési időszakra jellemző magas hőmérséklet (Tair átlag 32,8, ill. 35,2^{o}C), továbbá a kezelt állománynál a műtrágyázás negatív hatásai. Ezeket a negatív körülményeket a mérési időszak előtt lehulló csapadék talajnedvesség tartalomra gyakorolt pozitív hatása sem (kontroll SWC 0,286) volt képes kompenzálni. Szintén jelentősebben eltért mindkét állomány esetében a 2004. június közepén mért eredmény, amikor közepes PAR átlagok mellett (1112 és 1185) az összes mérési nap közül legjelentősebb C-megkötés figyelhető meg. Ennek oka, hogy a hőmérsékleti (Tair átlag 26,4; ill. 25,2^{o}C), talajnedvesség (kontroll SWC 0,231) és fenológiai viszonyok (LAI átlag 5,6 és 8,5) egyaránt közel optimálisak voltak a mérési periódus alatt.



34. ábra: Transzplantált, kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése /Gödöllő 2003-2004/

A vizsgált löszgyepek közül a gödöllői monolitok mindkét állományánál – ellentétben az isaszegi gyeppel – erős, csaknem szignifikáns fényfüggés figyelhető meg, mely minimális mértékben gyengébb az öntözött típusnál (34. és 35. ábra). Az illesztés jellege eltérő a két állomány esetében, ugyanis a kontroll állománynál a szélső értékek miatt a lineáris, míg az öntözöttnél exponenciális jellegű telítődési görbe adta a legnagyobb fokú korrelációt. Egyedül a kontroll gyep esetén figyelhető meg évek közötti eltérés, mivel a 2003-as szárazságstressz nagymértékben limitálta a szünfiziológiai működést. A kontroll állomány regressziójától leginkább eltérő adat a 2004. május végi, amikor közepes radiáció (átlag 1196) mellett jelentős CO_2-fixáció (-13,2) figyelhető meg. Ennek oka részben az adott év klimatikus viszonyainak pozitív hatása a talajnedvességre (SWC 0,264) és a levélfelületre (6,35), továbbá a fiziológiai aktivitás szempontjából kedvező léghőmérséklet (átlag 19,8^{o}C). Amennyiben csak az adott eltérő időjárású évek adatait elemezzük, akkor 2004-ben az április közepén mért érték is eltérést jelent az azévi átlagtól, hiszen a magas PAR (1689) értékhez – kedvező hőmérsékleti viszonyok mellett (Tair 19,3^{o}C) – a potenciálistól kisebb NEE (-5,9) társult, az intenzív talajlégzés és a kisebb LAI átlag miatt (1,54). Az öntözött állománynál a kezelés kompenzálta a

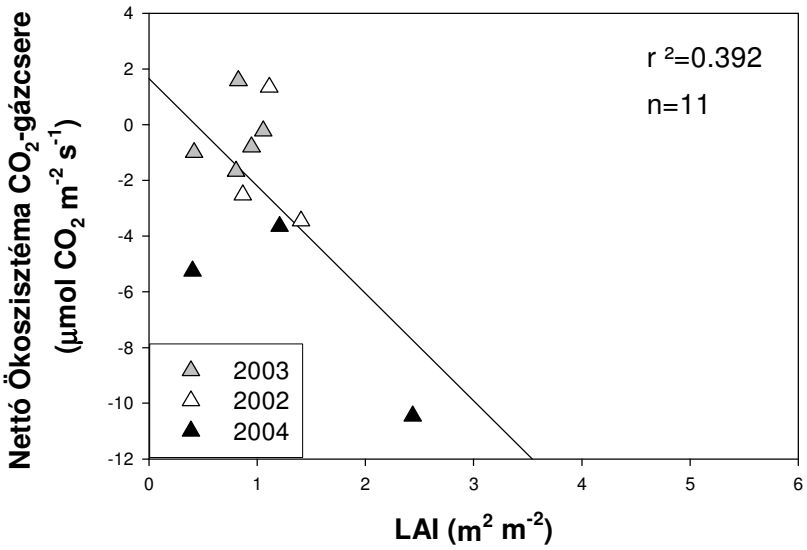
szárazabb periódusok hatását, ezért nem tapasztalható sem évek közötti eltérés, sem az illesztéstől lényegesebben elkülönülő fényfüggés. A kezelt gyep egyetlen „átlagostól” kissé eltérő adata a 2004. szeptemberi, amikor a N hiány negatív „feed-back”-ként némiképp csökkentette a C-megkötés mértékét (NEE átlag -2,9).



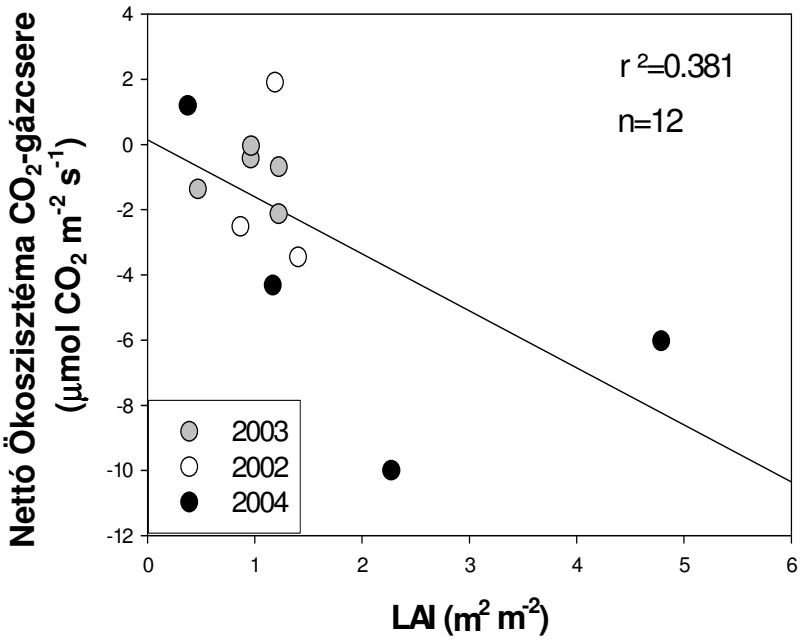
35. ábra: Transzplantált, öntözött *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának fényfüggése /Gödöllő 2003-2004/

Összefoglalva kijelenthető, hogy a nettó ökoszisztéma CO_2-megkötés fényfüggése mindkét gyeptípus összes állományában megfigyelhető. A kontroll isaszegi gyep kivételével mindenhol nagyobb volt a fényfüggés, mint a hőmérséklet-függés, ami megegyezik HUI és munkatársainak (2003) erdőállomány vizsgálata során kapott eredményével. Az NEE és a PAR között szignifikáns, exponenciális jellegű összefüggés (P<0,005) csak a *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* gyep legeltetett és legeltetéstől elkerített állományaiban tapasztalható. A löszgyep esetében egyik állománynál sem volt szignifikáns a fényfüggés, de a transzplantált gödöllői monolitoknál szorosabb volt a korreláció, mint az isaszegi állományoknál. Legszorosabb fényfüggés a legeltetett, míg leggyengébb a műtrágyázott állománynál figyelhető meg. Mind a három földhasználati változás gyengébb fényfüggést eredményezett.

5.4.3. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának levélfelület függése



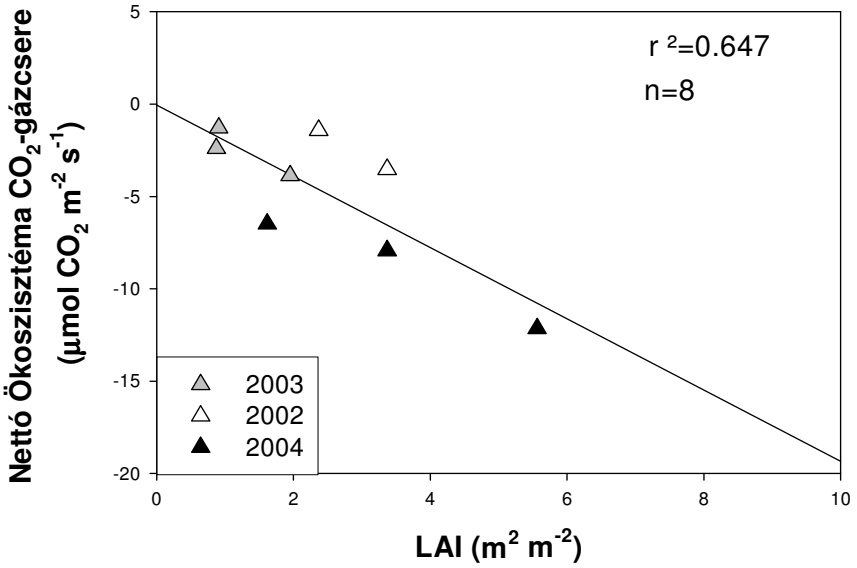
36. ábra: Legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
átlagos CO_2-fluxusának levélfelület (LAI) függése /Bugacpuszta 2002-2004/



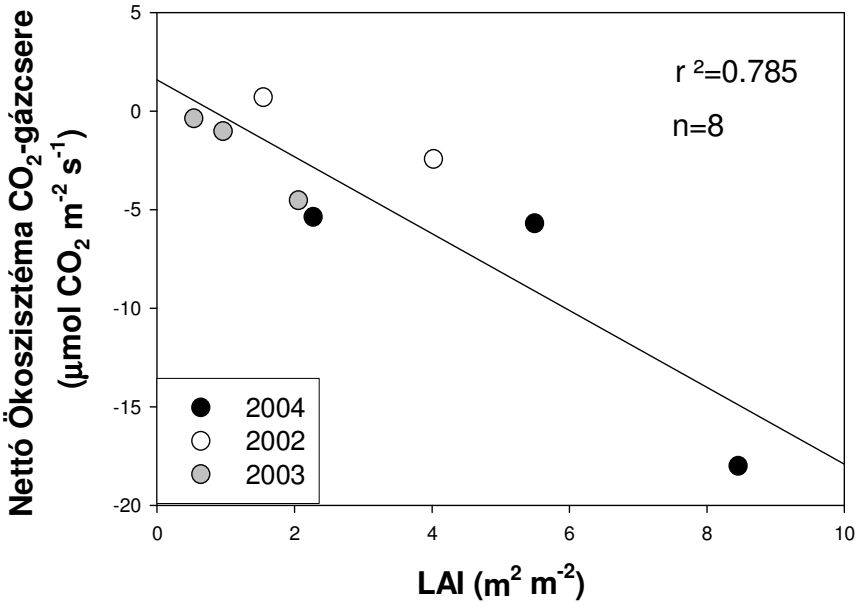
37. ábra: Nem legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
átlagos CO_2-fluxusának levélfelület (LAI) függése /Bugacpuszta 2002-2004/

Mindkét bugaci állomány CO_2-fixációjának levélfelület függése pozitív és szignifikáns korrelációt mutat ($P<0,05$). A lineáris összefüggés mértéke kismértékben erősebb a legeltetett gyep esetében (36. és 37. ábra). További egyezés a két típus között, hogy a vizsgált évek közül 2004-ben a legerősebb a korreláció az NEE és a LAI között. A nem legelt gyepnél ennek oka egyrészt az LSU lecsökkenése, továbbá – ezzel párhuzamosan – a kedvező mikroklimatikus viszonyok. Mindkét típusnál egy, a regressziós egyenestől nagyobb mértékben eltérő érték figyelhető meg. A legeltetett gyepnél 2004. április elején relatíve kis LAI (átlag 0,4) mellett is jelentős C-fixáció (NEE átlag -5,3) történt, a kedvező abiotikus körülmények miatt (Tair: 16°C, PAR: 1381, SWC: 0,23). 2004. május végén a

legeltetéstől elzárt gyep az összes mérési napot tekintve legnagyobb mértékű C-fixációja kisebb levélfelületi átlaggal párosult (2,27). Ennek okai egyrészt a kedvező fenológiai (LD. LAI) és mikroklimatikus adottságok (Tair: 30,3°C, PAR: 1623), másrészt a bugaci gyepek esetében a LAI becslés nem a kamrás mérések területén, hanem hasonló fenofázisú fix pontokon történt.



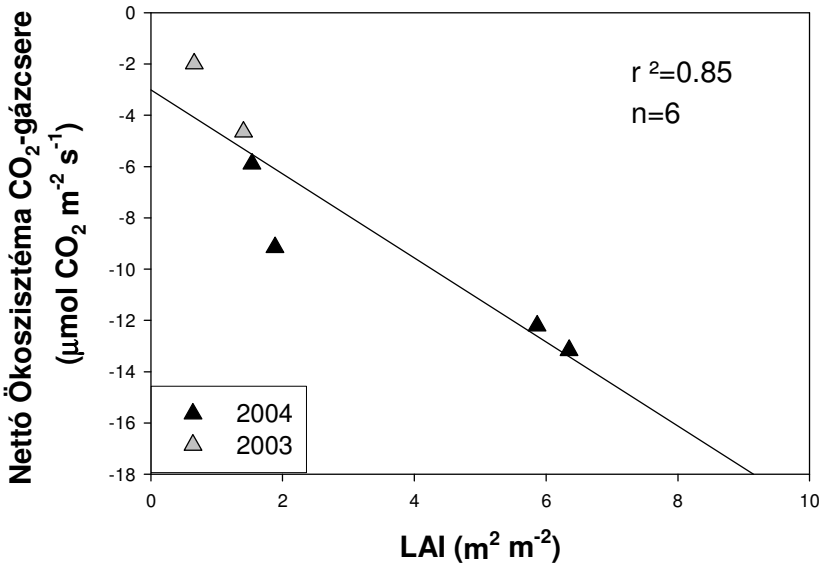
38. ábra: Nem kezelt *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány
átlagos CO_2-fluxusának levélfelület (LAI) függése /Isaszeg 2002-2004/



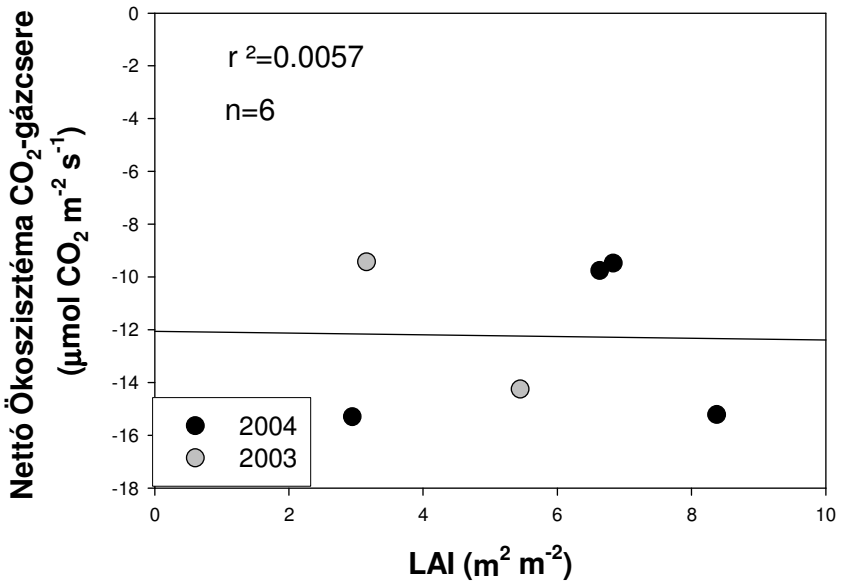
39. ábra: Műtrágyázott *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány
átlagos CO_2-fluxusának levélfelület (LAI) függése /Isaszeg 2002-2004/

Az isaszegi löszgyepben – a bugacihoz hasonlóan – mindkét állomány CO_2-megkötésének levélfelület függése pozitív és szignifikáns korrelációt mutat (38. és 39. ábra). A lineáris jellegű regressziós koefficiens valamivel erősebb ($P<0,005$) a műtrágyázott gyepben, mint a kontrollnál ($P<0,05$). Mindkét állományban közös, hogy 2003-ban és 2004-ben egyaránt szoros az NEE LAI függése. A 2002-ben tapasztalható kisebb mértékű korreláció a kevés mintázási időszak mellett döntően a mérési

időpontokban megnyilvánuló csökkent fiziológiai működéssel magyarázható (június közepe: az intenzív növekedés vége, a dormancia kezdete; október eleje: csekélyebb mértékű növekedési időszak). A regressziós egyenestől jelentősebben eltérő, kiugró értékek egyik állománynál sem figyelhetők meg.



40. ábra: Transzplantált, kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának levélfelület (LAI) függése /Gödöllő 2003-2004/



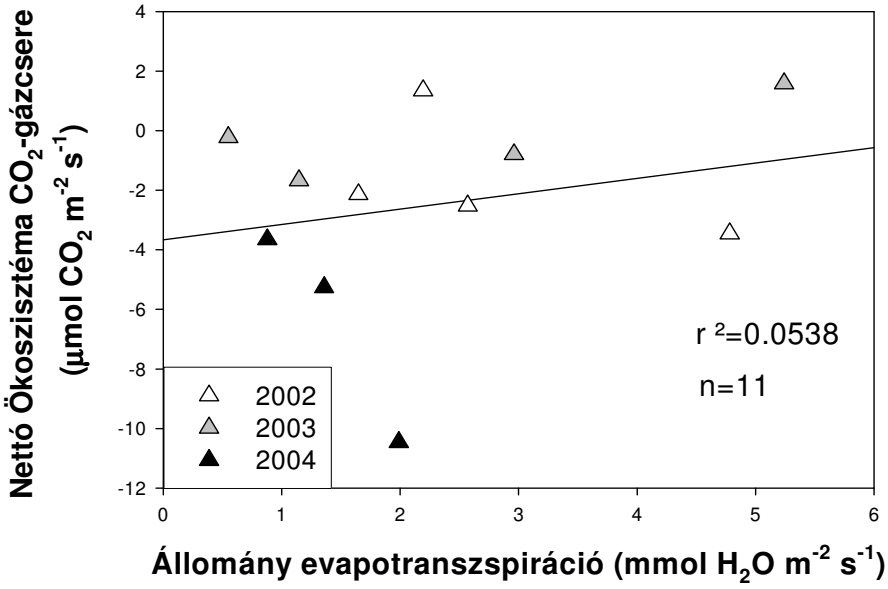
41. ábra: Transzplantált, öntözött *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának levélfelület (LAI) függése /Gödöllő 2003-2004/

A gödöllői állományoknál is mindkét típus CO_2-megkötésének levélfelület függése pozitív (40. és 41. ábra), de szignifikáns korrelációt csak a kontroll gyepnél kaptunk ($P<0,005$). Az öntözött gyep minimális LAI függésének oka, hogy a kezelés következtében folyamatosan jelentős NEE és LAI értékeket mértünk, ezért hiányoznak a nagyobb mértékű korrelációhoz szükséges kis levélfelület és C-megkötés értékek. Az évek közötti eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy az NEE LAI függése a kontroll gyepnél mindkét évben, míg az öntözöttnél 2003-ban jelentős. A kontroll állomány regressziós egyenestől leginkább eltérő értékét 2004. július közepén mértük, amikor a relatíve kisebb LAI-hoz

(1,88) jelentősebb NEE érték (-9,15) társult, melyet a kedvező abiotikus körülmények eredményeztek (PAR: 1537, Tair: 27,9°C, SWC: 0,131). Az öntözött állománynál 2004-ben legjobban az április közepi átlag tért el a többi értéktől. Ennél a mérésnél szintén a kedvező abiotikus tényezőknek (PAR: 2029, Tair: 18,8°C) köszönhető a csekélyebb levélfelület (2,95) ellenére mért jelentős C-fixáció (NEE -15,3).

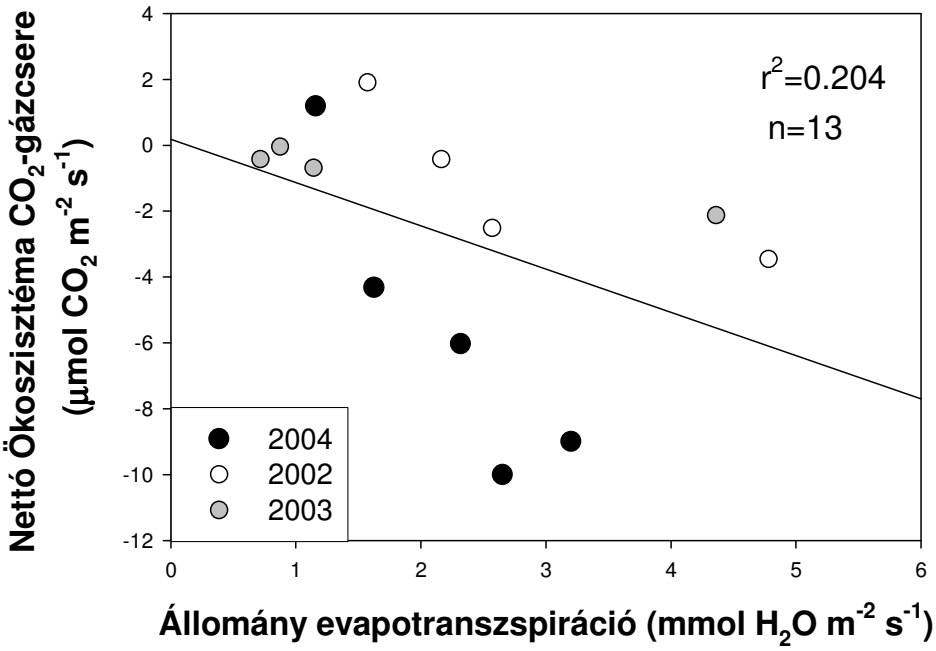
A nettó ökoszisztéma CO_2-fixáció levélfelület függése a transzplantált öntözött gyep kivételével minden állományban szignifikáns pozitív korrelációt eredményezett, ami megerősíti LI és munkatársainak (2005) azon megfigyelését, hogy az NEE napi eltérései jelentős mértékben a LAI változásával függnek össze. A vizsgált hazai állományok közül a legszorosabb összefüggés (r^2=0.85) a transzplantált kontroll, míg a leggyengébb – csak kismértékben pozitív – a transzplantált öntözött állomány esetében figyelhető meg. A földhasználati változás csak a műtrágyázott állományban eredményezett a kontrollhoz képest erősebb korrelációt.

5.4.4. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése



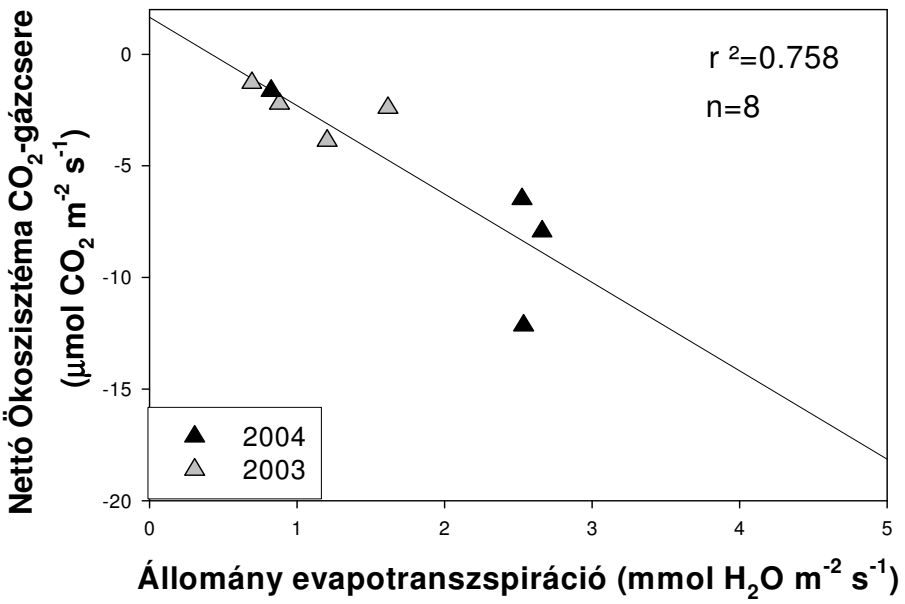
42. ábra: Legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése /Bugacpuszta 2002-2004/

A bugaci gyep CO_2-fixációjának evapotranszspiráció függése mindhárom vizsgálati évet figyelembe véve eltérő képet mutat a két állományban (42. és 43. ábra), de egyik típusnál sem szignifikáns az ET függés. A legeltetett gyepnél negatív, míg a legeltetéstől elzárt típusnál pozitív lineáris korreláció figyelhető meg a szénmegkötés szempontjából. A regresszió mértéke erősebb a nem legelt gyepnél (r^2=0,204). A legelt állomány kissé meglepő negatív összefüggése néhány kiugró érték következménye (2002. július eleje és 2003. május közepe). Ezt igazolja, hogy a vizsgálati éveket összehasonlítva, 2004-ben erős pozitív korreláció figyelhető meg az NEE és az ET között a legelt gyepben. A nem legelt állományban szintén 2004-ben a legszorosabb az összefüggés a két paraméter között. A legelt típusban a három éves adatsorra illesztett egyenestől legnagyobb mértékben a 2004. május végi mérés tér el a jelentős C-fixáció (-10,5) miatt, mely a kedvező biotikus (LAI: 2,4) és abiotikus (Tair: 27,3°C, PAR: 1823) tényezők következménye. Ez a mérési adat nem számít kiugrónak, ha csak a 2004-es értékeket vizsgáljuk.

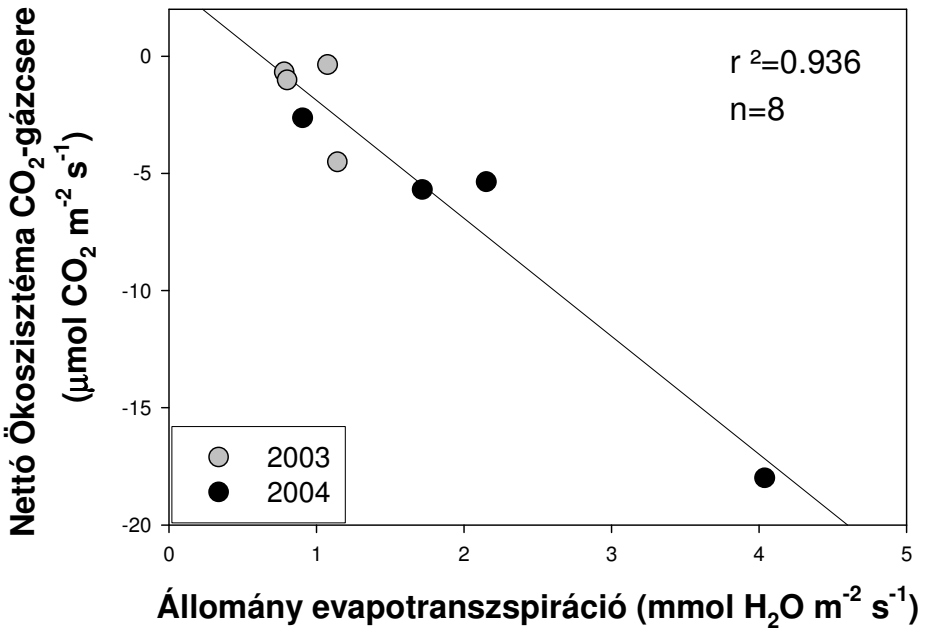


43. ábra: Nem legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése /Bugacpuszta 2002-2004/

A szezonális eltérések közül 2002-ben kiugrónak számít a júliusi érték, amikor közepes ET értékhez (2,2) szénkibocsátás (NEE +1,35) járult. Ennek oka egyrészt a magas hőmérsékletet (Tair átlag 35,7°C) kísérő sztómazáródás, másrészt a gyep kezdődő nyugalmi állapotával együtt járó csökkentett fiziológiai aktivitás. Szintén jelentősen eltér a 2003-as értékektől a május közepi mérési eredmény, ahol magas ET érték (átlag 5,24) ugyancsak pozitív NEE átlaggal (1,58) társult, döntően a szárazságstressz, valamint az alacsony PAR (átlag 843) miatt. A legeltetéstől elzárt gyepnél a regressziós egyenestől legnagyobb mértékben a május végi átlag különült el az összes mérést tekintve legnagyobb mértékű C-fixáció (NEE -10) miatt, mely optimális fenológiai (LAI 2,27) és mikroklimatológiai (Tair: 30,3°C, PAR: 1623) viszonyokkal párosult. A szezonális értékeket összevetve 2002-ben a legelt gyephez hasonlóan kiugrónak számít a 2002. július elején mért átlag, mely eltérés jellege és ennek okai megegyeznek a legelt típusnál már említettekkel. Ebben a gyeptípusban lényegesen eltért a 2004. április elején mért érték a pozitív NEE miatt (átlag +1,19). Ennek oka egyrészt a kis levélfelület, az alacsonyabb hőmérséklet (11,3°C) és radiáció (535), másrészt az intenzív növekedési periódussal és SWC-vel (0,231) együtt járó jelentős talajlégzés (különösen a gyökérlégzés).

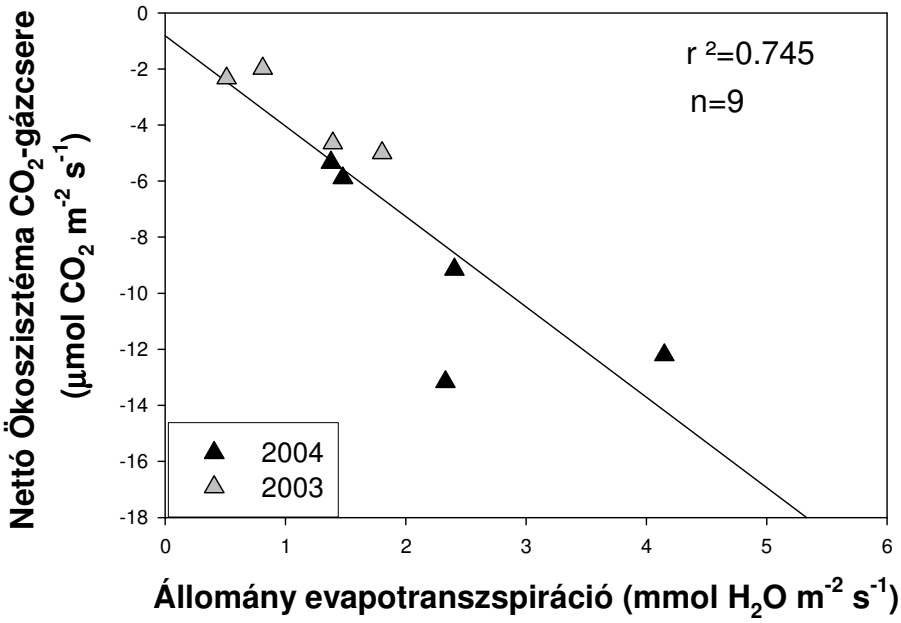


44. ábra: Nem kezelt *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány
átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése /Isaszeg 2003-2004/

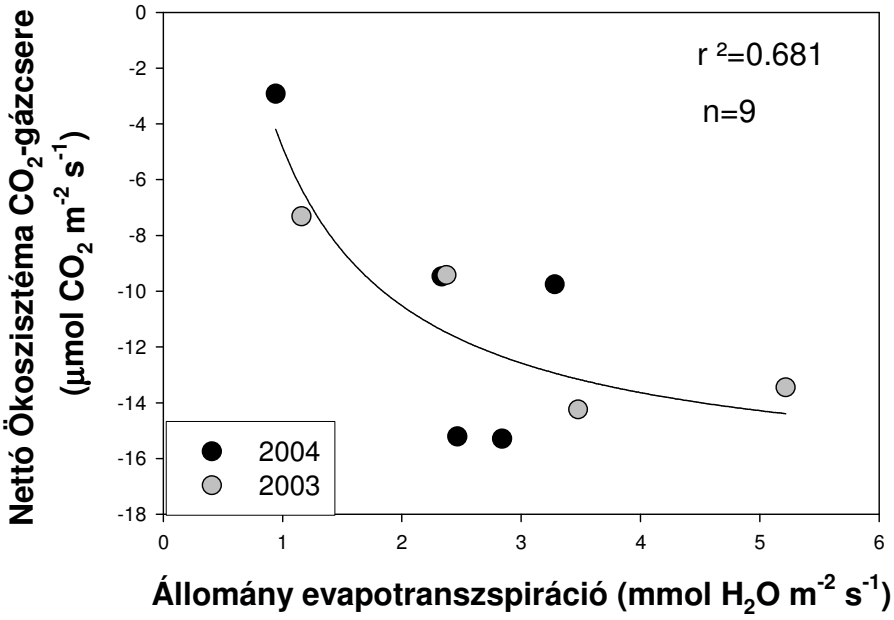


45. ábra: Műtrágyázott *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány
átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése /Isaszeg 2003-2004/

Az isaszegi löszgyep mindkét állományánál szignifikáns ($P<0,005$) és lineáris jellegű korreláció figyelhető meg a CO_2-fixáció és az ET között (44. és 45. ábra). Az összefüggés erőssége valamivel nagyobb a műtrágyázott állománynál ($r^2=0,936$). Az évek közötti jellemzőket összevetve kijelenthető, hogy egyik típusnál sem tapasztalható eltérés a két év között az ET függés erősségében. A regressziós egyenestől egyedül a kontroll állományban fedezhető fel egyetlen, kissé eltérő érték. A 2004. június közepi átlagnál az evapotranszspirációs értékekhez képest jelentősebb C-megkötés (NEE -12,2) okozza az eltérést, ami a kedvező biotikus (LAI 5,6) és abiotikus (Tair: 26,4^{o}C, PAR: 1112, SWC: 0,231) tényezők eredménye.



46. ábra: Transzplantált, kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése /Gödöllő 2003-2004/

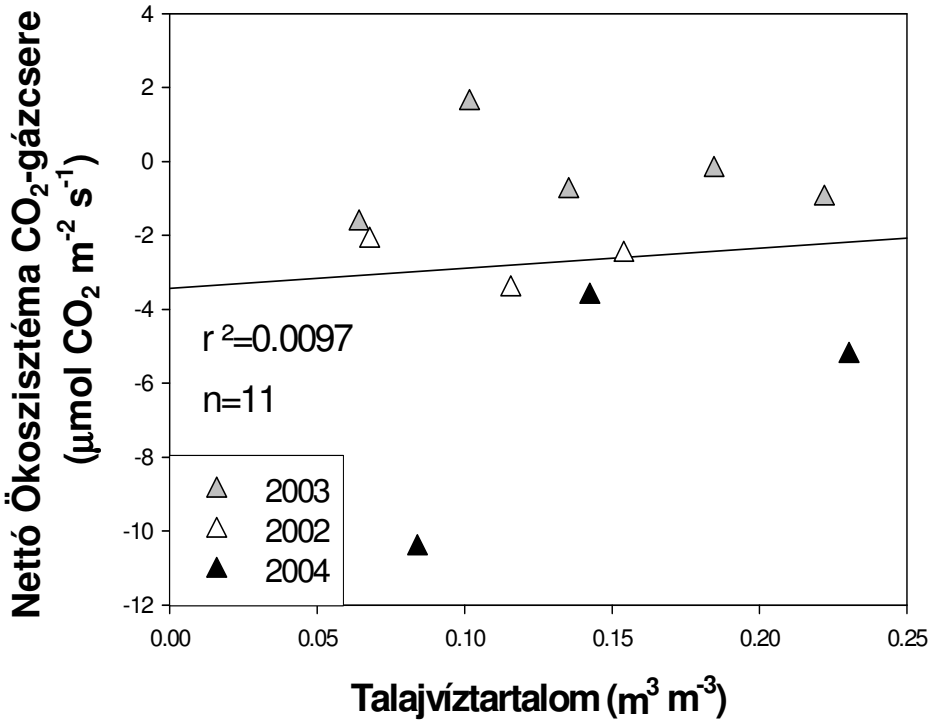


47. ábra: Transzplantált, öntözött *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának evapotranszspiráció függése /Gödöllő 2003-2004/

A gödöllői monolitoknál – az isaszegi állományokhoz hasonlóan – mindkét típusnál szignifikáns ($P<0,005$) összefüggés figyelhető meg a CO_2-fixáció és az ET között (46. és 47. ábra), melynek mértéke némiképp gyengébb az öntözött gyepnél. A korreláció jellege azonban eltér a két állomány között, mivel a kontrollnál lineáris, míg az öntözöttnél hiperbola görbe adta a legszorosabb regressziót a két paraméter között. Évek közötti eltérést csak a kontroll állománynál tapasztaltunk, ahol a kedvezőbb talajnedvesség viszonyok miatt 2004-ben mindkét változó értéke megnőtt és ez nagyobb mértékű ET függést eredményezett. A kontroll gyepnél egyedül a 2004. május végi érték tér el nagyobb CO_2-fixációja miatt lényegesebben a regressziós egyenestől. Az eltérés a kedvező biotikus (LAI 6,35)

és abiotikus (Tair: 19,8°C; PAR: 1196; SWC: 0,264) tényezőknek köszönhető. Az öntözött állománynál két 2004-es adat tér el jobban a regressziós görbétől az átlagosnál nagyobb (NEE -15,2 május 24-én), illetve kisebb (NEE -9,8 június 22-én) C-fixációja miatt. Mindkét esetben hasonló volt a Tair (19,5 és 19,2°C) és az SWC, ezért májusban az intenzívebb növekedési időszak és a nagyobb zöld levélfelület (8,4), míg júniusban – a magas PAR (átlag 2320) ellenére – a jelentős biomassza képzés miatt fellépő N-hiány okozta az eltéréseket.
A nettó ökoszisztéma CO_2-fixáció evapotranszspiráció függése a legeltetett bugaci gyep kivételével minden állományban pozitív korrelációt mutat. Az NEE ET összefüggése a löszgyepnél minden esetben szignifikáns volt. A legszorosabb összefüggés (r^2=0,936) a műtrágyázott állomány, míg a leggyengébb – negatív – a legeltetett gyep esetében figyelhető meg. A földhasználati változás csak az öntözött állományban eredményezett a kontrollhoz képest kissé gyengébb korrelációt.

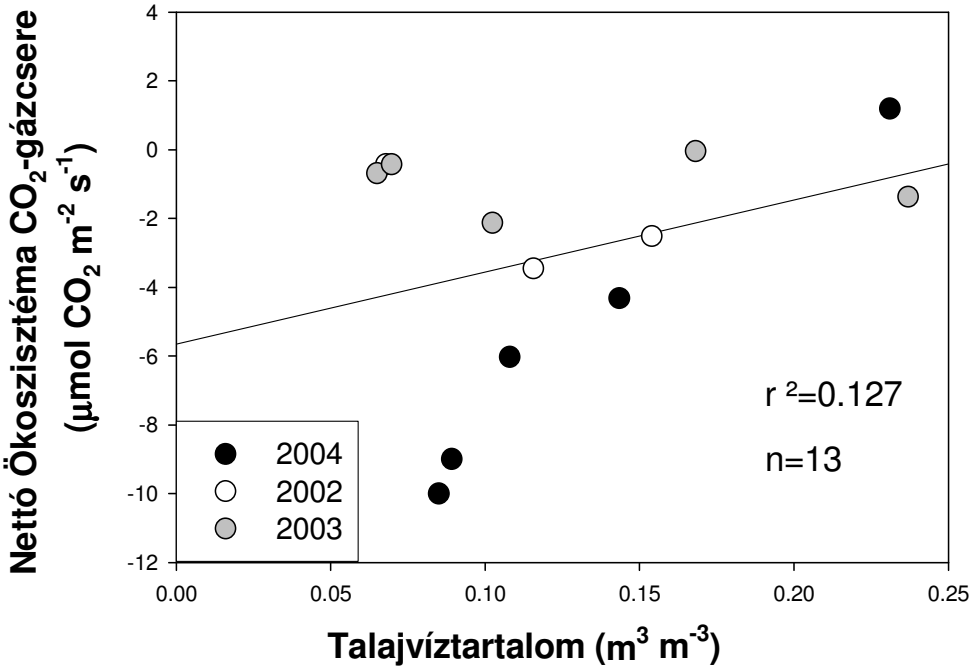
5.4.5. A vizsgált gyepállományok átlagos CO_2-fluxusának talaj víztartalom függése



48. ábra: Legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
átlagos CO_2-fluxusának talajnedvesség függése /Bugacpuszta 2002-2004/

Az összes értéket figyelembe véve mind a két bugaci állomány esetében negatív, lineáris korreláció figyelhető meg a CO_2-felvétel és a talajnedvesség tartalom között (48. és 49. ábra). A negatív összefüggés egyik esetben sem szignifikáns, de erősebb a legeltetéstől elkerített állomány esetében (r^2=0,127). Lényeges eltérés nem volt a két típus SWC tartalma között, ami különösen 2003-ban meglepő, de egyben jelzi, hogy az extrém szárazság mindkét terület talajnedvesség tartalmát közel azonos mértékben csökkentette. A legkisebb SWC értékek nélkül mindkét állománynál exponenciális és szintén negatív jellegű görbe lenne illeszthető az adatokra. Ez egyben jelzi, hogy nem csak az alacsony SWC értékekhez köthető kismértékű C-fixáció, hanem jelentős talajnedvesség tartalom mellett is lehet kicsi vagy akár pozitív az NEE. Utóbbira a legelt és a nem legelt típusban egyaránt megfigyelhető több példa. A legelt állományban 2003. április elején és október végén egyaránt kis C-

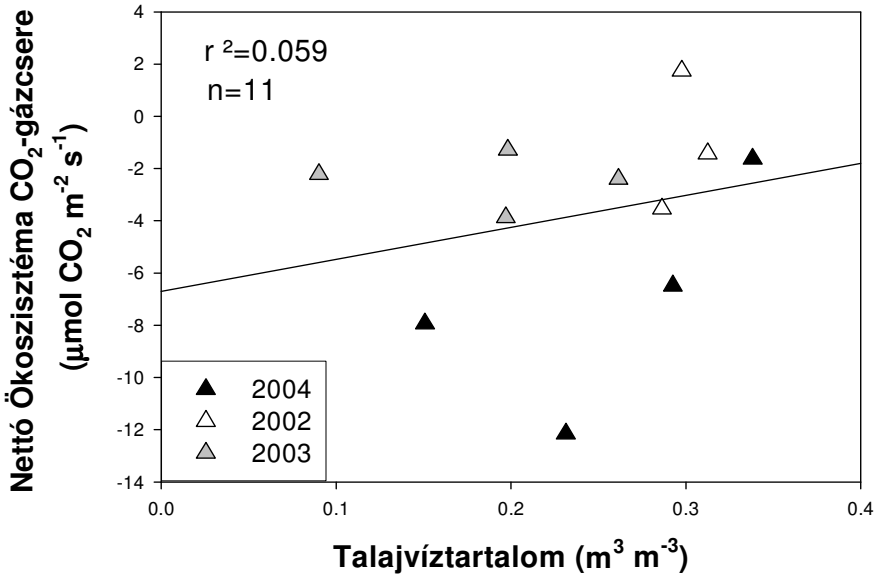
megkötést mértünk (NEE átlag -1 és -0,22) magas SWC (0,222 és 0,185) mellett. Az áprilisi mérésnél ennek oka a növekedési időszak elejére jellemző kis levélfelület (átlag 0,418) csekélyebb asszimiláló képessége, míg október végén a szenescencia ellenére még jelentősebb zöld LAI-hoz (átlag 1,06) kedvezőtlen mikroklimatikus paraméterek (Tair: 8,3°C; PAR: 602) társultak.



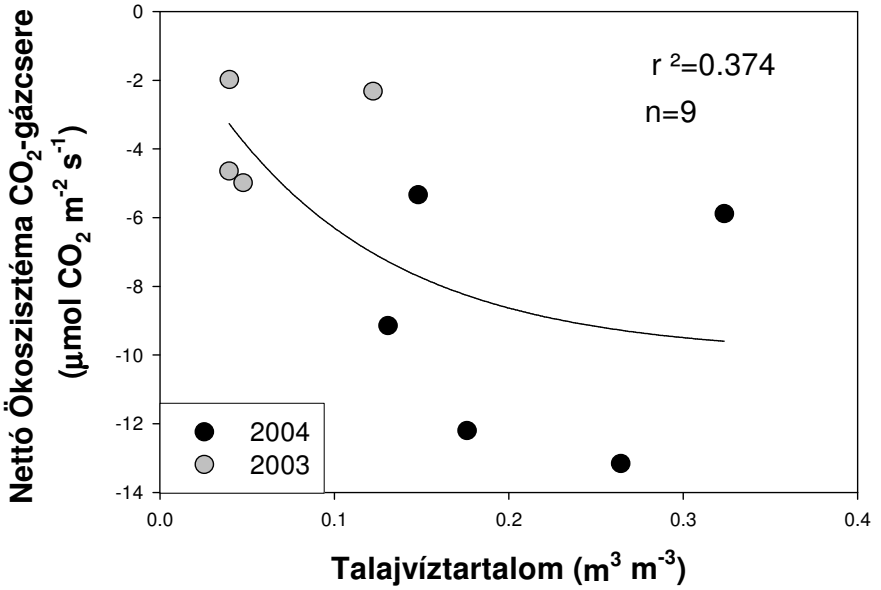
49. ábra: Nem legeltetett *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány átlagos CO_2-fluxusának talajnedvesség függése /Bugacpuszta 2002-2004/

A legeltetéstől elkerített állományban nemcsak ebben a két időpontban figyelhető meg – a legelt állománynál már említett okok miatt – alacsony C-fixáció magas SWC mellett, hanem 2004. április elején is. Utóbbi időpontban a gyep szénforrásként (NEE +1,2) működött a jelentős talajnedvesség (SWC 0,231) ellenére, mely a csekély asszimiláló felület (LAI 0,376) és az alacsony PAR (535) mellett az intenzív talaj- és avarlégzésnek is köszönhető. Az említett példák alapján kijelenthető, hogy a magas SWC ellenére kismértékű vagy negatív NEE a vegetációs időszak kezdeti és késői szakaszára jellemző. Az összes adatra illesztett egyeneshez képest mindkét típusban a 2004. május végi érték tér el a legjobban. Ekkor volt a kedvező biotikus (LAI 2,44 és 2,27) és mikroklimatikus (Tair: 27,3 és 30,3°C; PAR: 1823 és 1623) paraméterek miatt a legnagyobb mértékű a C-megkötés (-10,5 és -10), az alacsonyabb SWC átlagok (0,084 és 0,085) ellenére. Ez egyben jelzi, hogy nem szélsőséges talajnedvesség viszonyok mellett a LAI és a PAR nagyobb mértékben determinálják a szünfiziológiai működést, mint az SWC. Az évek közötti eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy mindkét állománynál 2003-ban a legkisebb, míg 2004-ben a legnagyobb mértékű a korreláció az NEE és az SWC között. További azonosság, hogy a legkisebb talajnedvesség értékeket 2003-ban mértük (június 11-én a legelt és május 13-án a nem legelt állománynál).

A löszgyep állományok közül mindössze kettőnél ábrázoltuk az NEE SWC függését. A műtrágyázott állománynál adathiányok miatt nem lett kiértékelve az SWC-függés, míg az öntözött állománynak a mikroklimatikus viszonyoktól függetlenül közel egyenletes volt a talajnedvesség tartalma. (Megjegyzendő, hogy az isaszegi műtrágyázott gyep azonos időszakból származó SWC értékei hasonlóak voltak a kontroll állományban mért nedvesség adatokhoz.)



50. ábra: Nem kezelt *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának talajnedvesség függése /Isaszeg 2002-2004/



51. ábra: Transzplantált, kontroll *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány átlagos CO_2-fluxusának talajnedvesség (SWC) függése /Gödöllő 2003-2004/

Az isaszegi kontroll gyepnél – a bugaci állományokhoz hasonlóan – negatív, de nem szignifikáns korreláció figyelhető meg a CO_2-megkötés és az SWC között (50. ábra). A legkisebb talajnedvesség értéket nem számítva itt is negatív exponenciális jellegű görbe illeszthető a többi adatra. Az NEE és az SWC között 2004-ban a legnagyobb, míg 2002-ben a legkisebb mértékű az összefüggés. Utóbbi a

tavaszi mérések hiányának a következménye. Az évek közötti eltéréseket vizsgálva az is megállapítható, hogy bár a mérési időpontokban a talajnedvesség jóval tágabb határok között változott 2003-ban, mint 2002-ben, az NEE értékek csak kismértékben tértek el. Ez is jelzi az extrém szárazságstressz negatív hatásának volumenét a szünfiziológiai működésre. 2002-ben és 2004-ben egyaránt egy-egy kiugró érték figyelhető meg. 2002. július közepén a jelentős SWC (0,286) ellenére szénkibocsátást (átlag +1,75) mértünk, melynek elsődleges oka nem a magas léghőmérséklet (átlag 32,8^{o}C), hanem a gyep nyári nyugalmi állapota. Annak ellenére, hogy az állomány legmagasabb talajnedvességét (SWC 0,338) 2004. április közepén rögzítettük, a C-fixáció feltűnően alacsony (NEE átlag -1,63), melynek oka döntően az alacsony radiáció (PAR 472), valamint a magas SWC-vel együtt járó megnövekedett talajlégzés. A közepes SWC (0,231) mellett nagy C-megkötéssel (NEE -12,15) jellemezhető 2004. június közepi érték csak a teljes vizsgálati ciklusra illesztett regressziós egyeneshez képest számít jelentős eltérésnek. Ebben az esetben a jelentős állományszintű asszimiláció, döntően a jelentős lombozatnak (LAI 5,56), valamint a közel optimális hőmérsékletnek (Tair: 26,4^{o}C) köszönhető.

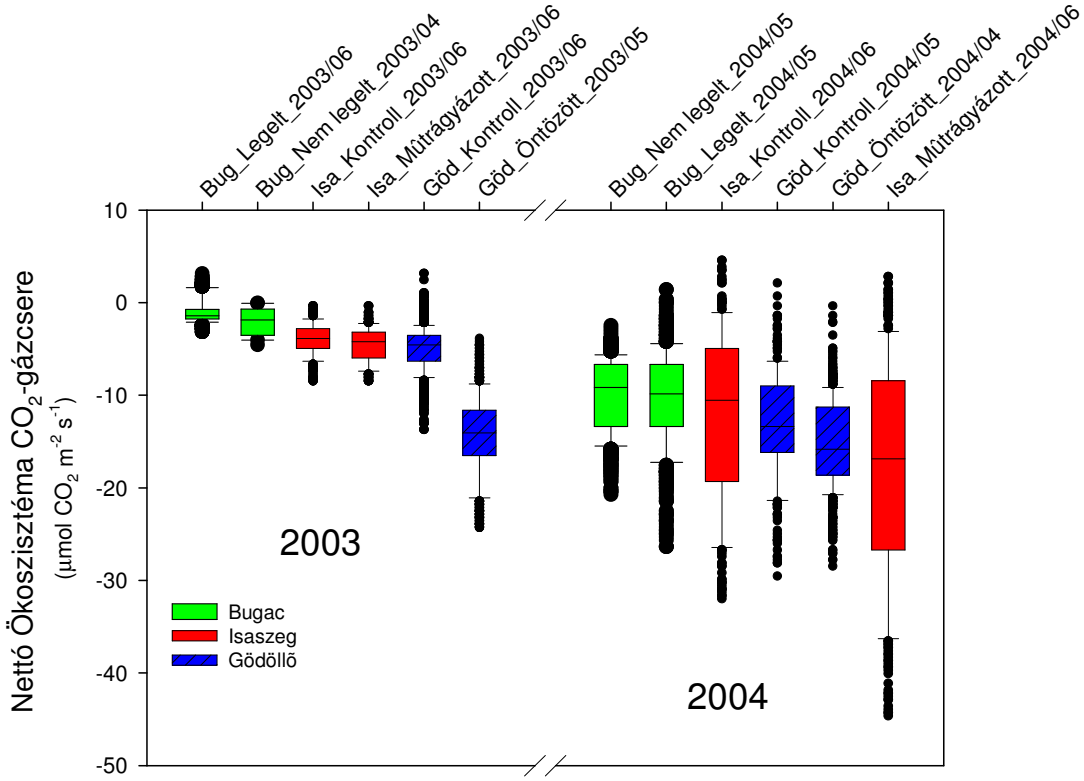
A gödöllői kontroll állománynál a CO_2-fixáció SWC függése pozitív és szignifikáns ($P<0,05$). A két változó közti korreláció – az előzetes elképzeléseknek megfelelően – exponenciális, telítődés jellegű (51. ábra). A talajnedvesség és az NEE értékek klimatikus okok miatt 2004-ben jóval nagyobb értéktartományban és értékhatárok között változtak. Mindkét évben egy-egy kiugróbb érték figyelhető meg. A 2003. november eleji mérés során a regressziós görbe átlagos értékéhez képest kisebb volt az NEE (-2,3), a szenescencia és a kedvezőtlenebb mikroklimatikus paraméterek (Tair: 9,3^{o}C; PAR: 804) miatt. 2004. április közepén, a legnagyobb mért SWC átlaghoz (0,324) társuló, szintén csekélyebb mértékű C-fixáció (-5,9) a csekélyebb lombozat (LAI átlag 1,54) és feltehetőleg a jelentősebb talajlégzés következménye.

A nettó ökoszisztéma CO_2-megkötés talajnedvesség-függése a vizsgált négy állományból csak a gödöllői transzplantált gyepnél eredményezett pozitív és egyben szignifikáns korrelációt. A CO_2-fixáció szempontjából leggyengébb, egyben negatív összefüggés a bugaci legeltetéstől elkerített állománynál figyelhető meg. A gyeptípusokat összehasonlítva megállapítható, hogy a löszgyep SWC-je nagyobb tartományban változott, továbbá átlagosan magasabb volt, mint a homoki legelőé. A löszgyep kevésbé szélsőséges vízgazdálkodása mellett is csak az egyik állománynál figyelhető meg a hipotetikusan várt összefüggés, azaz a növekvő SWC egyben megnöveli a C-megkötés mértékét, sőt mindkét gyeptípusnál ezzel ellentétes értékek is megfigyelhetők. Ez egyben azt is jelzi, hogy csak bizonyos talajnedvesség tartomány (a nagyon alacsony és általában a nagyon magas) csökkenti jelentősen a szünfiziológiai működést, míg a köztes tartományban az SWC a vártnál kisebb mértékben determinálja a C-fixációt. A földhasználati változás hatása az említett okok miatt csak a bugaci gyepnél értékelhető, ahol a legeltetés felhagyása negatívabb talajnedvesség függést eredményezett az NEE szempontjából.

5.5. A maximális fotoszintetikus ráta évek közötti variabilitása gyepállományokban eltérő klimatikus viszonyok között

Összehasonlítottuk a kamrás technikával mért maximális fotoszintetikus ráta évek közötti variabilitását a vizsgált homoki száraz legelőn (*Cynodonti-Festucetum pseudovinae*) és löszpusztaréten (*Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae*), eltérő eltérő időjárású évek (2003 és 2004) és klimatikus viszonyok között (52. ábra). A gödöllői öntözött állomány kivételével minden állományban sokkal nagyobb mértékű C-fixációs átlagok figyelhetők meg 2004-ben, mint a szárazságstresszelt 2003-as évben. További eltérés, hogy 2004-ben minden állománynál jóval tágabb értéktartományon belül láthatók a fluxusok, elsősorban a megnövekedett számú szélsőérték miatt. A fluxusok nagyobb kilengése nem az instabilitás jele, hanem természetes velejárója az intenzívebb működésnek, azaz a jelentősebb C-megkötésnek. 2003-ban a kisebb szórások (kivéve az öntözött állomány) egyértelműen jelzik a

szárazságstressz szünfiziológiai működésre gyakorolt negatív hatását. A vizsgált állományok egy része eltérő időszakban (hónapban) érte el legnagyobb mértékű állományszintű fotoszintetikus aktivitását 2004-ben, mint 2003-ban. Egyedül a két isaszegi gyepnél tapasztalható egyezés-e téren a két év között, ugyanis mindkét típusnál a júniusi mérések során kaptuk a legnagyobb mértékű C-elnyelést. A bugaci homoki legelőn 2004-ben mindkét típusnál májusban – a zöld levélfelület maximális kifejlődése idején, kedvező abiotikus körülmények között (Tair, PAR) – volt a legnagyobb a mért fotoszintetikus ráta. Az aszály perturbációs hatását az is jelzi, hogy 2003-ban a legelt állománynál egy hónappal később, míg a legeltetéstől elzárt területen egy hónappal korábban mértük kamrás technikával az NEE maximumát. Gödöllőn 2004-ben mindkét vizsgált gyepnél egy hónappal korábban tapasztaltuk a legnagyobb mértékű C-fixációt. Ennek oka a kontroll állományban a 2004. évi optimálisabb csapadékeloszlás, míg az öntözött gyepnél az intenzív növekedés indukálta N-hiány következtében mértük a vártnál korábban (április) a legmagasabb NEE-t.

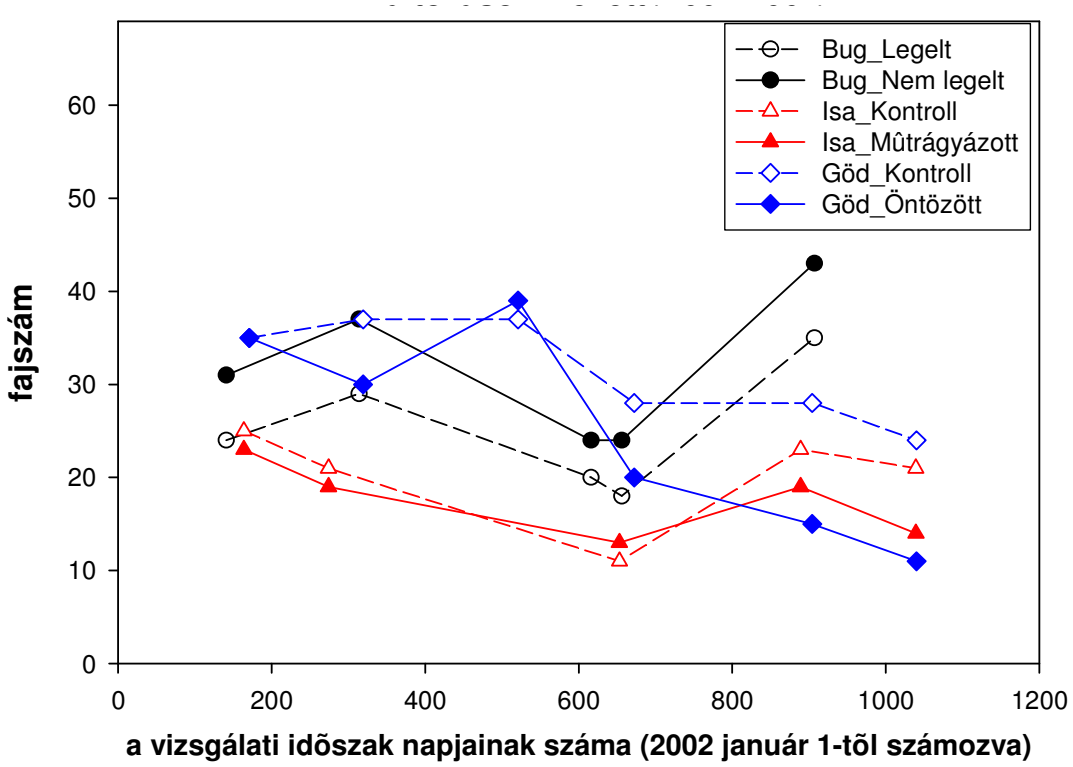


52. ábra: A maximális nettó ökoszisztéma CO_2-gázcsere variabilitása homoki száraz legelőn és löszpusztaréten, eltérő eltérő időjárású évek között /2003, 2004/

Meglepő eredmény, hogy a homoki gyep CO_2-megkötése az optimális vízellátottságú és fenológiai fázisú 2004-es évben a vizsgált kontroll löszgyepekhez hasonló volt. Ez elsősorban a vizsgált állomány talajának jelentős széntartalmával magyarázható (84. ábra). 2003-ban azonban mindkét homoki állomány maximális mért fotoszintetikus rátájának átlaga jelentősen elmaradt a szintén stresszelt löszgyepek értékeitől. Az extrém száraz 2003-as év a szünbotanikai viszonyokat (LD. később) és fiziológiai aktivitást tekintve egyaránt nagyobb mértékben stresszelte a kevésbé strukturált, de humuszban gazdag homoki gyepet, mint a löszgyepet.

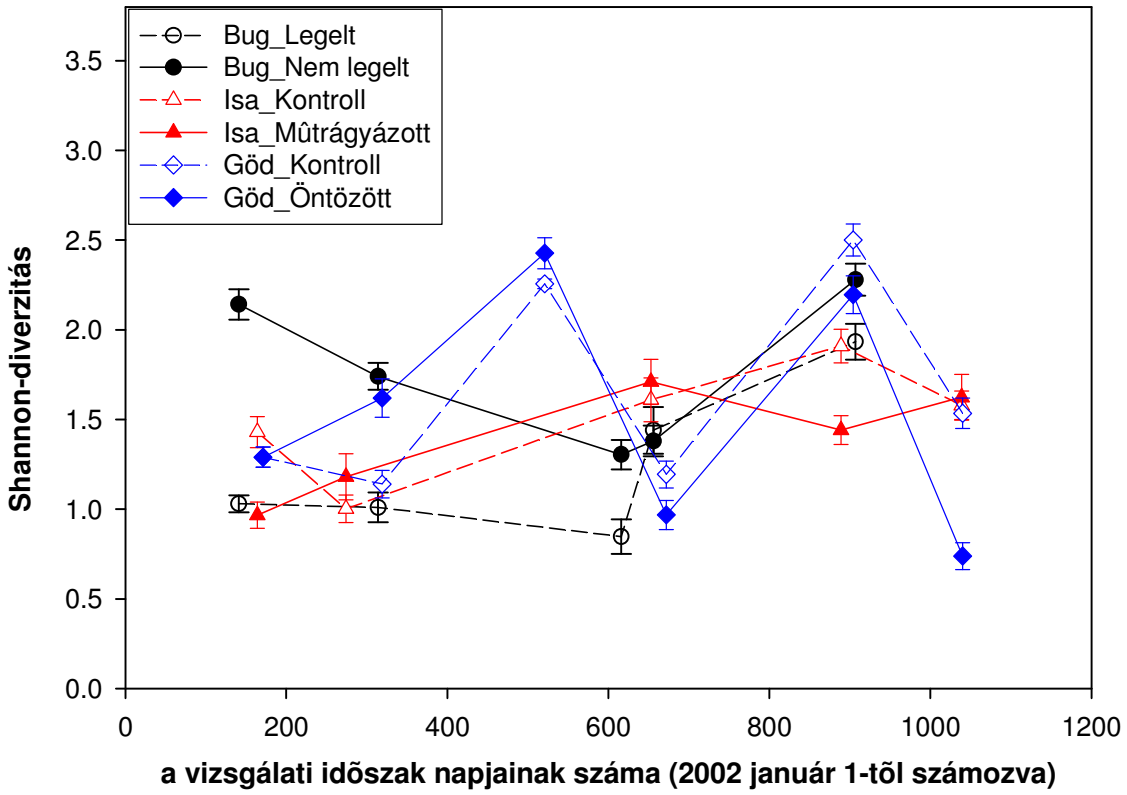
5.6. Cönológiai vizsgálatok eredményei

5.6.1. A fajszám és a diverzitás évek közötti és szezonális eltérései manipulált és kontroll állományokban



53. ábra: A vizsgálati területek összfajszámának éven belüli és évek közötti variabilitása homoki száraz legelőn és löszpusztaréten, eltérő földhasználati változások mellett /2002-2004/

A kiskunsági homoki legelőn a legeltetés felhagyása nem befolyásolta lényegesen a fajszámot (53. ábra) és a diverzitást (54. ábra), melyek értékei szoros korrelációt mutattak a csapadékmennyiség fluktuációjával (CZÓBEL *et al.* 2005b). A bugaci tapasztalatok tehát nem egyeznek VIRÁGH & BARTHA (1996) löszgyepekben, bekerítés hatására 3 év alatt tapasztalt drasztikus fajszám csökkenésével. A nem legelt területen minden alkalommal több faj szerepelt a cönológiai felvételekben, mint a legelt gyepben – akárcsak CHEN *et al.* (2005) vizsgálatánál –, továbbá a diverzitás értékek 2003. októbere kivételével is végig magasabbak voltak az elkerített területen. Az évek közötti eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy mindkét állomány 2003-ban volt a fajokban legszegényebb, míg 2004-ben a fajokban leggazdagabb. A diverzitás értékeknél is hasonló trend figyelhető meg, leszámítva a legelt állomány fent említett 2003. őszi utolsó átlagát, mely az azévi szeptemberi mellett jelentősen felülmúlta a 2002. évi értékeket is. Ezt az eltérést nem a fajszám növekedése, hanem az egyes taxonok borítási értékeinek kiegyenlítődése okozta. A különböző évek azonos időszakainak fajszámát, továbbá a vizsgált állományokat összevetve kijelenthető, hogy 2004. júniusában a két évvel korábbi állapotokhoz képest a legelt terület fajszáma nagyobb arányban (46%, +9 faj) nőtt, mint az elkerített állományé (39%, +8 faj). MATUS *et al.* (2005) által a Nyírségben, a kiskunsággal azonos társulásban végzett kutatás eredményétől eltérően a bugaci legelt állomány fajszáma kevésbé változott az egyes vizsgálati évek között, mint a nem legelt területé.



54. ábra: A Shannon-diverzitás éven belüli és évek közötti variabilitása homoki száraz legelőn és löszpusztaréten, eltérő földhasználati változások mellett /2002-2004/

Az említett periódusban a Shannon-diverzitás a nem legelt gyepben a fajszámmal ellentétben csak minimális mértékben, ellenben a legelt területen közel kétszeresére nőtt. A 2003. októberi felvételezést összevetve a 2002. októberivel az tapasztalható, hogy bár a nem legelt gyepben nagyobb volt a fajszám csökkenése (-13 faj), mint a legelt területen (-11 faj), ennek ellenére a jelentősebb fajszám miatt arányaiban kisebb mértékű volt a csökkenés (36%) az elzárt gyepben, mint a határos állományban (38%). A diverzitás átlagoknál ellentétes változás figyelhető meg a két állománynál, ugyanis ez a paraméter a legelt típusban közel másfélszeresére (+43%) nőtt, ezzel szemben a nem legelt területen ötödével (21%) csökkent. A szezonális eltéréseket vizsgálva meglepő, hogy 2002. októberében a júniusihoz képest mind a legelt (+5 faj), mind a nem legelt (+6 faj) gyepben több faj szerepelt a cönológiai felvételekben. Ez az eltérés csak részben magyarázható a gyomfajok nagyobb számával (részletesebben LD. életformák szezonális variabilitása). Az SD értékek 2002-ben a legelt gyepnél nem változtak, míg a nem legeltnél közel ötödével (-19%) csökkentek őszre. A 2003. évi két őszi felvételezés során a fajszám csak a legelt állománynál csökkent (-2 faj), ami az aszály nagyobb mérvű perturbációs hatására is utalhat ebben a gyeptípusban. Ebben a periódusban az SD értékek mindkét állományban nőttek a kiegyenlítődő borítási értékek miatt, de a változás sokkal markánsabb (+70%) a legelt, mint az elkerített területen (+6%).

Isaszegen a műtrágyázás – a makroklimatikus tényezőkkel szemben – az első két évben nem befolyásolta lényegesen a fajszámot (53. ábra) – hasonlóan PIPER *et al.* (2005) magasfüvű prérin kapott eredményéhez –, mely azonban 2004-ben a kezelt foltoknál kisebb mértékben növekedett – ellentétben CRITCHLEY *et al.* (2004) megfigyelésével –, mint a kontroll állományban. Az említett változással szemben a 2003-as jelentős redukció után az átlagos borítás 2004-ben a műtrágyázott állományban nőtt jobban, de – ARCHIBOLD (1995) közléséhez hasonlóan – már jelentősen átalakult fajkompozícióval. A Shannon-diverzitás értékek 2004. júniusa kivételével közel azonosak voltak a műtrágyázott és a kontroll állományban (54. ábra), mivel előbbinél a 2002-ben megüresedett foltokba egyéves gyomfajok

települtek, valamint a műtrágyázott gyep gyors regenerációja következtében. Gyepek mesterséges nitrogén pótlásának számos esetben leírt – gyakran drámai mértékű – negatív hatása a fajszámra (pl. TILMAN 1987, TURNER & KNAPP 1996, HUBERTY *et al.* 1998) és a diverzitásra (pl. TILMAN 1987, GOUGH *et al.* 2000) az isaszegi löszgyep állomány esetén a fajszámnál csak kismértékben és két év után (2004-re), míg a diverzitásnál mindössze egy alkalommal (2004. tavaszán) figyelhető meg a vizsgált időszakban. Az isaszegi kezelt gyep diverzitása 2003. őszéig – a kontroll gyeppel ellentétben – folyamatosan növekedett, majd 2004. tavaszára csökkent, és jelentősebben elmaradt a kontrolltól. A műtrágyázott állományban a 2003. őszi felvételezése kivételével minden alkalommal kevesebb faj szerepelt, mint a kontrollban. Ezzel szemben a diverzitás átlagok szezonális eltérést mutatnak, ugyanis tavasszal mindig a kontroll, míg ősszel a műtrágyázott állományban voltak magasabbak. Az évek közötti eltéréseket összehasonlítva mindkét állománynál megállapítható, hogy a fajszámok 2003-ban, ellenben a diverzitás értékek 2002-ben voltak a legalacsonyabbak. A 2003-as aszályos esztendő a két paraméter közül csak a fajszámot csökkentette mindkét típusnál. Az SD 2003-ban számított magasabb átlagait a borítási értékek kiegyenlítődése okozta. A különböző évek azonos időszakait, továbbá a két típust összevetve megállapítható, hogy 2002. késő tavaszi aszpektusához képest 2004. júniusára – a kedvező csapadékviszonyok ellenére – a műtrágyázott állomány fajszáma jelentősebben (17%, -4 faj), míg a kontroll gyepé minimális mértékben (-1 faj) csökkent. Ebben az időszakban az SD – a fajszámnál megfigyelhető változással ellentétben – mindkét típusnál megnőtt, a kezelt gyepnél jelentősebben (+48%), míg a kontrollnál egyharmadával (+34%). Mindhárom év őszi cönológiai felvételeinek eredményeit feldolgozva a fajszámnál eltérő, míg az SD-nél hasonló trend figyelhető meg a két típus között. A kontroll állománynál a 2003. évi szárazságstressz következtében tapasztalt – arányaiban és a taxonok számát tekintve egyaránt – jelentős fajszám csökkenés (-48%; 11 faj) 2004-re visszaállt a 2002. évi szintre (21 faj), mely ezen löszgyep állomány jó regenerációs potenciálját jelzi. Ezzel szemben a kezelt gyepnél tapasztalt, hasonló volumenű 2003. őszi csökkenés (-43%; 13 faj) után 2004. őszére csak eggyel nőtt a fajszám (14 faj), feltehetőleg a forráskihasználás és az ezzel együtt járó akklimatizáció taxonok közötti eltérő volta miatt. A kiindulási évhez képest az SD mindkét állománynál jelentősen megnőtt 2003-ra, a borítási értékek kiegyenlítődése miatt. Ezen növekedés a kontroll gyepnél némiképp nagyobb mértékű volt (+61%; 1,61), mint a műtrágyázottnál (+45%; 1,71). További egyezés a két típus között, hogy 2004-re mindkét állománynál alig csökkent az SD érték, de a műtrágyázott állománynál valamivel jobban, emiatt a diverzitás átlagértékek között már csak csekély eltérés figyelhető meg (kontroll: 1,58; kezelt: 1,62). A fajszám szezonális változásait vizsgálva megállapítható, hogy mindkét típusnál a kiindulási és az utolsó évben egyaránt tavasszal szerepelt több taxon a felvételekben. Az állományokat összevetve kijelenhető, hogy az éven belüli őszi csökkenés 2002-ben és 2004-ben egyaránt nagyobb mértékű (17 és 26%) és fajszámú (-4, ill. -5 faj) volt a műtrágyázott gyepben. Az SD átlagok szezonális változása ellentétes jellegű volt a két típusnál, ugyanis őszre a kontroll gyepben mindkét összevethető évben csökkenés, míg a műtrágyázottnál a diverzitás növekedése tapasztalható. Ennek oka, hogy a kontroll állománynál ősszel, ellenben a kezeltnél tavasszal voltak kiegyenlítettebbek a borítási értékek.

Az öntözés szignifikánsan csökkentette ($P<0,005$) a *Salvio-Festucetum rupicolae* löszgyep fajszámát (53. ábra), valamint kisebb mértében a diverzitását (54. ábra). Az említett változások mértéke nem volt egyenletes és a kezelés mellett befolyásolták – különösen a kontroll állománynál – a klimatikus eltérések is. Erre jó példa, hogy az öntözött gyep fajszáma és diverzitása 2002. őszén (1 fajjal, SD: +42%) és 2003. tavaszán (2 fajjal, SD: +8%) még felülmúlta a kontroll állományét, majd jelentősen és folyamatosan szegényedett a kezelt állomány fajkészlete (2003. őszére részben a néhány napos túlöntözés következtében), valamint diverzitása a kontrollhoz képest. Az évek közötti különbségek közül említésre méltó, hogy meglepő módon – a másik két objektum állományaitól eltérően és a csapadékösszegekkel negatívan korrelálva –mindkét típusnál 2003. tavaszán kaptuk a legnagyobb, míg 2004-ben a legkisebb fajszámot. Az SD esetében a szezonális eltérések és a két típus eltérő trendjei miatt nem lehet diverzitás értékét tekintve kiugró évről beszélni. A különböző évek azonos

időszakainak fajszámát, továbbá a vizsgált állományokat összehasonlítva megállapítható, hogy bár tavasszal mindkét típusnál megegyezett a trend, de az öntözött gyepben a kiindulási évhez képest 2003. tavaszára nagyobb mértékben nőtt (+6 faj; 18%) a fajszám, míg 2004. tavaszára jóval nagyobb mértékben csökkent (-24 faj; 62%!!!). Az őszi időszakok fajszámát elemezve az öntözött állománynál 2002-höz képest mindkét évben jelentős fajszám csökkenés (2002-2003: -8 faj; 2003-2004: -9 faj) figyelhető meg, míg a kontroll állománynál csak az utolsó évben tapasztalható kisebb mértékű (-4 faj) fajszegényedés. Az öntözött gyepnél a diverzitás változásainak iránya mindkét időszakban megegyezik a fajszámmal, de csak az első év tavaszi (+88%) és őszi időszaka (-40%) között volt számottevő. Ezzel szemben a kontroll típus SD átlaga mindkét évszakban folyamatosan növekedett a vizsgálati periódus során. Az öntözött gyep fajszámának és diverzitásának csökkenése elsősorban az állomány erős kompetitor fajának, a *Dactylis glomerata* növekvő dominanciájának következménye, ezt a kompetitor(ok)ra jellemző, a fajszámra és a diverzításra gyakorolt negatív hatást már más gyepállomány kapcsán is megfigyelték (ALARD *et al.* 1994). A gödöllői monolitok szezonális változása esetében azonosság, hogy mindkét állományban és mindhárom évben tavasszal kaptuk a magasabb fajszámot, valamint csak 2003-ban volt jelentős csökkenés. Utóbbi nagyobb mértékű volt az öntözött típusnál (-19 faj; 49%), ahol részben az időszakos áradás növelte a csökkenés mértékét, míg a kontrollnál (-9 faj; 24%) a szárazságstressz negatív hatása okozta a fajkészlet jelentősebb csökkenését. Mindkét gyep SD átlaga esetében is tavasszal kaptuk a magasabb értéket, kivéve az öntözött állományt 2002-ben, ahol őszre negyedével nőtt az SD átlag. Némiképp meglepő, hogy a kontroll állomány SD értékei 2003. és 2004. tavaszán közel azonosak voltak az öntözött gyepével, hiszen a forrástöbblet, ill. forráshiány alapján nagyobb eltérést feltételeztünk a két típus SD értéke között. Ezzel szemben bár az öntözött állomány SD átlaga 2002. őszén még jelentősen (+42%) felülmúlta a kontrollét, azonban 2003. őszére 18%-kal, míg 2004-ben már 52%-kal volt alacsonyabb a kontrollhoz képest.

Összehasonlítva a vizsgált objektumok állományait megállapítható, hogy legkisebb mértékben az isaszegi gyepek fajszáma és diverzitása változott, míg mindkét változó variabilitása a gödöllői öntözött állománynál volt a legnagyobb mértékű. 2004-ben, az utolsó cönológiai felvételezés eredményeit kiértékelve kaptuk a legnagyobb (43 faj - bugaci nem legelt) és legkisebb fajszámot (11 faj - gödöllői öntözött és 2003. őszén az isaszegi kontroll), valamint a legkisebb diverzitás átlagot (0,739 - gödöllői öntözött). Szintén 2004-ben, de a tavaszi felvételezésnél számítottuk a legnagyobb Shannon-diverzitás értéket (2,501 - gödöllői kontroll). A diverzitás és a cönológiai értékek fluktuációja jelzi, hogy a szünbotanikai működés nagyobb környezeti perturbáció – mint a 2003-as aszály – után is helyreáll.

5.6.2. A prezencia-abszencia, valamint a dominancia viszonyok időbeli variabilitása manipulált és kontroll állományokban

Bugacon a földhasználati változás – a fajszámmal és a diverzitással ellentétben – jól érzékelhető volt a fajkompozíció esetében, ugyanis 2004. júniusára a két évvel korábbi cönológiai állapothoz képest nyolc faj eltűnt (III. táblázat), míg 20 új taxon megjelent (VI. táblázat) a legeltetéstől felhagyott területen. Legeltetés kizárásának hatására bekövetkező jelentős cönológiai változást, már más gyeptársulásokban végzett kísérletek is igazolták rövid- (VIRÁGH & BARTHA 1996) és hosszútávon (CHEN *et al.* 2005) egyaránt. A löszgyep vizsgálatánál azonban a borítás, a fajszám és a fitomassza jelentős csökkenését tapasztalták, ami Bugacon csak a 2003-as aszályos évben volt megfigyelhető. A kiskunsági homoki legelőn eltűnő fajok közül az *Achillea pannonica* (4%) és a *Helictrotrichon pubescens* (1.9%) rendelkezett 2002-ben 1%-nál nagyobb borítási átlaggal. A 2004. évi felvételekben előforduló új taxonok többsége kis abundanciával és borítással jellemezhető, egyedül a *Carex divisa* átlaga volt jelentősebb (1,14%). A nem legelt gyep struktúrájának és textúrájának átrendeződését jelzi az is, hogy a 2002-ben még monodomináns (70%) *Festuca pseudovina* 2004. júniusára harmadára csökkent borítási átlagát (23,4%) kismértékben felülmúlta a kodominánssá váló *Carex stenophylla* (24,3%). 2002-ben a monodomináns *Festuca* taxonon kívül még 4 faj borítási átlaga érte el, illetve haladta meg a

3%-ot, melyek közül az *Achillea pannonica* és a *Medicago lupulina* abundanciája és borítása jelentősen (<1%) lecsökkent, a *Cynodon dactylon*-é kismértében emelkedett (6,1-ről 6,5%-ra), míg a már említett keskenylevelű sásé közel háromszorosára (2002: 8,4%; 2004: 24,3%) nőtt. A kedvezőbb forrásviszonyok (több csapadék) és a legelési stressz elmaradásának rövidtávú, kedvező hatását az is jelzi, hogy 2004-ben a 2 kodomináns faj mellett már 5 taxon ért el 3%-nál nagyobb borítási értéket. A már említetteken kívül legnagyobb mértékben az *Arenaria serpyllifolia* (+8,1%), valamint a pillangósvirágú *Trifolium campestre* (+6,1%) és *Medicago falcata* (+7,2%) növelte az egyedszámát és így a borítási átlagot, de arányítva a *Poa bulbos*a térnyerése (2002: 0,001; 2004: 3,1%) is figyelemreméltó. Az első két év összevethető őszi aszpektusa szintén jelentős eltéréseket mutat mindhárom vizsgált paraméter esetében. A 2002. októberi fajkészletből (IV. táblázat) 15 taxon nem található az egy évvel későbbi (V. táblázat) felvételekben, ellenben a vegetációs periódus jelentős részét sújtó aszály ellenére 13 faj megjelent 2003-ban. Előbbi taxonok közül mindegyik alacsony borítási értékkel rendelkezett (<1%), míg a 2003-ban előbukkanó új taxonokból a degradációt jelző *Marrubium peregrinum* (10%) és a szintén évelő *Arrhenatherum elatiu*s (4,2%) egyaránt tömegessé vált. A 2003. évi aszály nemcsak az összborítást, hanem domináns *Festuca pseudovin*a (-39%) és a szubordinált *Cynodon dactylon* (-47%) abundanciáját is jelentősen lecsökkentette, hasonlóan a VULCAN projekt egyik eredményéhez (KOVÁCS-LÁNG *et al.* 2003, KALAPOS *et al.* 2005), a közelben párhuzamosan vizsgált a *Festuca vaginata* esetében. Bugacon a 2002-ben szintén nagyobb (3%<) borítással rendelkező másik két faj, az *Achillea setacea* (-0,1%) és a *Carex stenophylla* (+0,4%) átlaga közel változatlan maradt a rákövetkező évben. 2003-ban a lecsökkent átlagérték ellenére monodomináns *Festuca* fajjal együtt megduplázodott (8 faj) a 3%-nál nagyobb borítású taxonok száma. A már említett pemetefű, franciaperje, csenkesz, csillagpázsit, cickafark és sás fajok mellett több mint ötszörösére nőtt az *Elymus repens* (+4%), valamint közel háromszorosára az *Achillea collina* (+4,3%) borítási átlaga.

Annak ellenére, hogy a bugaci kontroll (legelt) állományban a júniusi felvételekből két év alatt eltűnő (8 faj), illetve megjelenő (19 faj) taxonok száma szinte megegyezik a nem legelt állománnyal, a legelt gyepben a kisebb mértékű csökkenés ellenére (-27%) mindkét időszakban csak a *Festuca pseudovina* volt az egyetlen domináns faj. A kontroll területről eltűnő taxonok (VII. táblázat) mind alacsony borítási átlaggal (<1%) rendelkeztek, míg a közel húsz újonnan megjelenő faj (X. táblázat) közül egyedül a *Medicago lupulina* vált tömegessé (10,2%-os átlag). 2002-ben a monodomináns *Festuca* fajokon kívül csak a *Cynodon dactylon* borítása haladta meg a 3%-ot (átlag 13,2%), melynek abundanciája 2004-re közel másfélszeresére növekedett (18,5%). Ezzel szemben 2004. kedvezőbb csapadékviszonyainak köszönhetően a már említett komlós lucernán kívül, csillagpázsiton és sziki csenkeszen kívül további négy kísérő faj is 3%-nál magasabb borítási átlagot ért el. A tömegessé váló taxonok közül legnagyobb mértében a *Cerastium semidecandrum* (+17,9%) és a *Medicago falcata* (+13,5%) növelte a borítását, de az arányait tekintve harmincszorosára (*Carex stenophylla*: +5,8%), illetve kétszeresére (*Achillea collina*: +2,7%) nőtt átlagok is figyelemreméltóak. A legelt gyep őszi időszakának évek közötti eltéréseit összehasonlítva megállapítható, hogy a 2002. októberi fajlistából (VIII. táblázat) 16 faj nem található meg a következő év őszi felvételeiben (IX. táblázat), köztük az első évben még jelentős borítással rendelkező (7%) *Achillea setacea*. Ezzel szemben mindössze három új taxon jelent meg 2002. őszéhez képest a 2003. októberi felvételekben, melyek közül a *Dactylis glomerata* az adott időszakban a legmagasabb borítási értékkel rendelkezett (25%) a legelt terület vizsgált részén, míg az *Ononis spinosa* (6,3%) és a *Veronica austriaca* (1,2%) jelenléte is számottevő volt. 2002. őszén a legelt gyepben domináns *Festuca pseudovina* (53,1%) és szubordinált *Cynodon dactylon* (24,7%) mellett a már említett *Achillea setaceae* és a *Carex stenophylla* (4%) borítási átlaga haladta meg a 3%-ot. A 2003. évi szárazságstressz összborítást csökkentő hatását döntően az okozta, hogy a *Festuca* taxon borítása egy év alatt közel negyedére, a *Cynodon dactylon*-é ötödével csökkent. Ezzel szemben, míg 2002-ben csak három, addig 2003. őszén már 7 faj borítási átlaga volt jelentősebb

(3%<), ez is jelzi a borítási értékek kiegyenlítődését, mely a Shannon-diverzitás növekedését is okozta. A hét faj közül tömegessége alapján három (*Dactylis* /25%/, *Cynodon* /20.2%/ és *Festuca* /14%/) kodominánsnak tekinthető, melyek közül a csomós ebír nem szerepelt az egy évvel korábbi felvételekben. A tömegesebb (3%< borítás) taxonok közül az *Achillea collina* közel négyszeresére, a *Galium verum* 3,5-szörösére, míg a *Carex stenophylla* több mint másfélszeresére növelte a borítását, a már említett újonnan felbukkanó *Ononis spinosa* mellett.

Isaszegen a műtrágyázott állomány első kezelésével együtt végeztük el az öt kijelölt folt cönológiai felvételezését 2002. júniusában (XI. táblázat). A 23 előforduló faj közül mindössze négy borítási átlaga volt jelentősebb (3%<), melyek közül a domináns *Festuca rupicola* értéke (78%) több mint 6,5-ször múlta felül a második legnagyobb levélfelülettel rendelkező *Dorycnium herbaceum* taxonét (12%). 2004. júniusában (XIV. táblázat) szintén négy taxon bizonyult tömegesebbnek (3%<), melyek közül csak három volt azonos (*Festuca, Dorycnium, Salvia*) a két évvel korábbi taxonokkal, valamint a fajkészlet és egyben a dominancia viszonyok is megváltoztak. Számos taxon különösen intoleránsnak bizonyult a megnövekedett N cc.-vel szemben – hasonlóan PIPER *et al.* (2005) prérin folytatott vizsgálatához –, amit az is jelez, hogy a 2002. júniusi fajlistából 2004-re eltűnt 15 faj, köztük az első felvételezéskor még jelentős borítású (3%) *Chrysopogon gryllus*, ellenben megjelent 11 új faj kisebb borítási értékkel (<3%), azaz a fajkészlet nagyobb része kicserélődött. A kezelés további, dominancia viszonyokra gyakorolt hatásának mértékét jelzi, hogy a 2002-ben még csak harmadik legnagyobb LAI-val rendelkező *Salvia nemorosa* (5,6%) 2004. júniusára több mint tízszeresére (57,5%) növelte borítási átlagát, akárcsak a 2004. júniusában második borítási értékkel rendelkező *Astragalus onobrychis* (8,75%). /Egyes kompetitor taxonok N-pótlás következtében fellépő dominanciáját más kutatások (pl. JACQUEMYN *et al.* 2003) is igazolták./ Ezzel szemben a 2002-ben még domináns *Festuca rupicola* LAI-ja kevesebb, mint tizedére (-92%), a szintén gyakori *Dorycnium herbaceum*-é negyedére csökkent. A műtrágyázott állomány őszi fajkészletében a tavaszihoz képest kisebb volumenű változások történtek a teljes vizsgálati időszak során, mivel két év alatt csak 9 kisebb borítású faj tűnt el, mellyel párhuzamosan 4 új jelent meg szintén 1% alatti átlagos értékkel. 2002. őszén (XII. táblázat) a *Botriochloa ischaemum* (28%) és kodomináns *Festuca rupicola* (22%) borítása volt kiemelkedően magas, továbbá a *Salvia nemorosa* LAI-ja volt jelentősebb (9,4%). 2004. őszére (XV. táblázat) a kiindulási év őszi aszpektusának dominancia viszonyai is átrendeződtek, mivel a hat tömegesebb taxonból (3%<) legnagyobb borításúnak – a közeli propagulum forrásból történő folyamatos regeneráció következtében – a *Festuca rupicola* bizonyult, melynek aránya másfélszeresére növekedett a két év alatt, míg a *Botriochloa* jelentős (-78%) visszaszorulása miatt a több mint két és félszeresére nőtt borítási értékű *Salvia nemorosa* vált a másik kodomináns fajjá. A gyakoribb taxonok (3%< borítás) közül szintén jelentősen növelte előfordulását a *Dactylis glomerata* (11,3%), a *Seseli osseum* (3,8%), valamint a *Dorycnium herbaceum* (3%). A 2003-as extrém száraz év őszi időszakában (XIII. táblázat) tapasztalt jelentősen lecsökkent fajszám és összborítás mellett több trend is megfigyelhető a tömegesebb taxonok (3%<) esetében. Egyrészt folyamatosan növekedett a regenerálódó *Festuca* (24,2%), a *Salvia* (13%) és a *Dactylis* (3,6%) összborítása, másrészt ezzel ellentétben fokozatosan csökkent és egyben marginálissá vált a *Botriochloa* (6,2%) kezelt állományban betöltött jelentősége. A szárazságstresszelt periódushoz való gyors adaptációja miatt a *Dorycnium* ebben az évben érte el legnagyobb borítását (6%), míg a *Poa pratensis* volt az egyetlen olyan taxon, amely az őszi felvételek közül csak 2003-ban szerepelt.

Az isaszegi kontroll állománynál szintén jelentősebb változások figyelhetők meg mind az összborításnál, mind a tömegesebb taxonok aktuális átlagértékénél, de a műtrágyázott állománnyal ellentétben itt végig a *Festuca rupicola* rendelkezett a legmagasabb borítási értékkel. 2002. júniusában (XVI. táblázat) a domináns *Festuca* taxon (60%) mellett még további hat faj borítása volt 3 és 8% közötti. Két évvel később a kiindulási fajkészletből 7 alacsony gyakoriságú (<1%) faj – a kezelt gyepnél jóval kevesebb – eltűnt, míg megjelent négy új taxon, köztük a jelentősebb borítási értékű

Koeleria cristata (4,6%). 2004. júniusában (XIX. táblázat) a továbbra is monodomináns *Festuca* borítása egyharmaddal csökkent, akárcsak a még mindig jelentősebb átlagú *Eryngium campestre*-é (3,6%, -42% 2002-höz képest), a negyedére redukálódott *Euphorbia pannonica*-é (2%), illetve még nagyobb mértékben lecsökkenő, és így marginálissá váló *Linum hirsutum*-é (-6,6%). A 2004. júniusára nagyobb LAI-val rendelkező taxonok közül az *Onobrychis viciifolia* (11,6%) és a *Salvia nemorosa* (5,6%) több mint kétszeresére, a *Dorycnium herbaceum* (6%) pedig egyötödével növelte borítási átlagát. Az őszi aszpektusnál 2002-ben (65%) és 2004-ben (51,3%) egyaránt monodomináns, egyötödével csökkent átlagú *Festuca* taxon mellett 2002-ben (XVII. táblázat) további két faj volt tömegesebb. Utóbbiak közül a *Dorycnium herbaceum* további 7 taxonnal együtt 2004. őszére (XX. táblázat) eltűnt a vizsgált foltokból, míg a *Botriochloa* tömegessége közel harmadára csökkent (4,8%). Ezzel szemben 2004. júniusára a 7 új taxon mellett kilencszeresére nőtt az *Eryngium* (6,3%), közel hatszorosára a *Dactylis* (5,3%) és többszörösére a *Seseli osseum* (4,4%) gyakorisága. Az őszi felvételek közül egyedül 2003-ban (XVIII. táblázat) jelent meg a *Prunus spinosa* (amelyet a cserjésedés megakadályozása végett az őszi biomassza vágás során eltávolítottunk), valamint ezen extrém száraz évben a domináns *Festuca* jelentős visszaszorulása (28,4%-ra) is megfigyelhető. A mindössze 11 fajból további 4 részesedése volt jelentősebb 2003. őszén, melyek közül trendszerű változás a *Botriochloa* és a *Dorycnium* visszaszorulása, illetve a *Medicago falcata* (6,3%) és a *Salvia nemorosa* (4%) időszakos feldúsulása – jó szárazságtűrő képességük következtében – az őszi aszpektusban.

A gödöllői öntözött állomány fajkészlete döntően kicserélődött 2002. és 2004. júniusa között, valamint dominancia viszonyai is jelentősen megváltoztak. Ezt igazolja, hogy a 2002. júniusában (XXI. táblázat) még 35 fajú, *Festuca rupicola* dominálta (80%) állományból 25 taxon eltűnt 2004. júniusára (XXV. táblázat), köztük a 2002-ben még nagyobb tömegességgel bíró két faj közül a *Brachypodium pinnatum* (6,2%) is. A fajszegényedést csak kismértékben kompenzálta a kiindulási állapothoz képest 2004. júniusára megjelent öt új faj, melyek közül három, az *Elymus repens* (13,8%), az *Arrhenatherum elatius* (10%) és az *Euphorbia salicifolia* (3,3%) egyaránt nagyobb levélfelülettel rendelkezett. Fentieken kívül a korábban domináns *Festuca* átlagértéke kevesebb, mint hetedére (11,3%) csökkent, monodomináns szerepét a legjelentősebb borítással rendelkező *Dactylis glomerata* (27,5%) vette át az öntözött gyepben (CZÓBEL *et al.* 2005b). 2004. júniusában a diverzitás növekedését kiváltó kilenc tömegesebb (3%< borítás) taxon közül (a cönológiai táblázatban szereplő fajok 60%-a), a korábban is jelentős borítású *Bromus inermis* több mint másfélszeresére (13%), a *Knautia arvensis* közel háromszorosára (3%), míg a *Galium verum* (5,8%) és a *Poa pratensis* (5,5%) egyaránt jelentősen növelte részesedését. A 2003-as év (XXIII. táblázat) az öntözés következtében nem csökkentette jelentősen az összborítást, de a kijelölt foltok peremi részén 18 olyan taxon is megjelent, melyek a vizsgálati időszak során csak 2003. tavaszi aszpektusában fordultak elő. A domináns faj 2003. júniusában – hasonlóan a kiindulási évhez – még a *Festuca rupicola* volt, de borítása közel felére csökkent 2002-höz képest. Ezzel szemben egyértelmű trendként figyelhető a *Dactylis glomerata* (13,9%), az *Arrhenatherum elatius* (4,7%) és az *Elymus repens* (4,2%) térhódítása, míg a *Convolvulus arvensis* (5,5%), a *Seseli osseum* (3,5%) és a *Coronilla varia* (3,3%) feldúsulását csak 2003-ban észleltük. Az őszi időszak változásait összevetve a júniusihoz hasonló volumenű eltéréseket figyelhetünk meg mind a fajkészlet, mind a dominancia viszonyok alakulásában. A 2002. őszi (XXII. táblázat) fajkészletből a taxonok kétharmada (20 faj) eltűnt és egyedül csak a *Taraxacum officinale* jelent meg 2004. végére (XXVI. táblázat). Az első évi őszi időszakában monodomináns volt a *Festuca rupicola* (49,7%), mellette szubordináltként a *Botriochloa* (25,5%), valamint kísérő fajként a *Carex praecox* (15,2%), a *Bromus inermis* (10,3%) és a *Dactylis glomerata* (7,6%) volt tömegesebb. Az említett taxonokból 2004. őszére eltűnt a *Carex paecox* és a *Bromus inermis*, míg a *Dactylis glomerata* több mint tízszeresére növelve (78,8%) LAI-ját monodominánssá vált. A *Botriochloa* részesedése harmadára csökkent (9,3%) az erős kompetitornak számító csomós ebír mellett, a korábban monodomináns *Festuca* szerepe pedig minimális részesedése miatt (1,3%) marginálissá változott. 2004. őszére csak három taxon részesedése haladta meg a 3%-ot, melyek közül a pusztai csenkesz

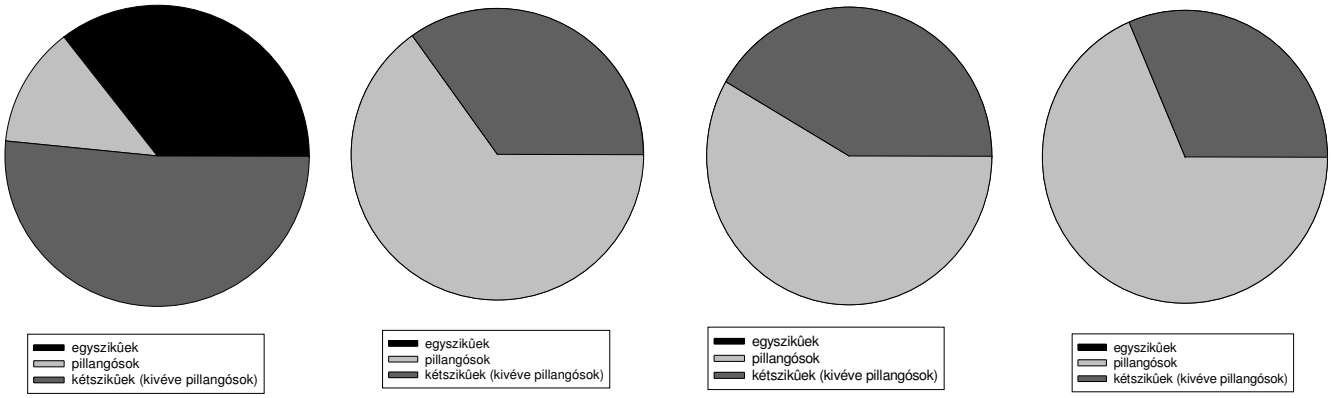
mellett a mezei varfű borítása (3,5%) is nőtt. 2003. őszén (XXIV. táblázat) a *Festuca* LAI-jának jelentős csökkenésével (-75%) már monodominánssá vált a *Dactylis* (77%), ezenkívül a fenyérfű (2,8%) jelentős – de csak időleges – térvesztése, továbbá a *Bromus inermis* csökkenése is megfigyelhető. A 2003. őszi cönológiai felvételekben 7 olyan faj található, amely a vegetációs időszak végén csak ebben az évben lelhető fel.
A gödöllői kontroll állományban 2004. júniusára (XXX. táblázat) bár harmadára csökkent az első évhez képest (XXI. táblázat) a *Festuca* borítási átlaga (27%) még mindig monodomináns volt, akárcsak 2003-ban 29%-kal (XXV. táblázat). 2004. késő tavaszára a 21 faj eltűnése mellett (köztük a 2002-ben még 6% fölötti átlagú *Brachypodium rupestre*) 14 új taxon jelent meg 2002. júniusához képest és háromról 8 fajjá bővült a jelentősebb borítású taxonok száma. Utóbbiak közül az *Elymus repens* (7,9%) 2002-ben még nem szerepelt a felvételekben. 2004-re a *Bromus inermis* több mint negyedével (11%), a *Salvia nemorosa* ötszörösére (10,8%), a *Coronilla varia* több mint háromszorosára (6,4%), a *Koeleria* 6.5-szörösére (5,3%), a *Galium verum* hétszeresére (4%), míg a *Convolvulus* 3,2%-kal növelte részesedését. A 2003-as aszály egyrészt a domináns *Festuca* levélfelületét csökkentette jelentősen, másrészt a *Convolvulus arvensis* (3,4%), a *Salvia nemorosa* (3,2%) és a *Dactylis glomerata* (3,2%) részesedését nagymértékben, akárcsak a kiindulási év júniusi felvételében még nem szereplő *Elymus repens*-ét (8,8%). A négy utóbbi taxon közül a csomós ebír kivételével mindegyik növelte vagy szinten tartotta levélfelületét 2004. júniusára is. A 2002. őszi fajlistából (XXVI. táblázat) 22 taxon tűnt el 2004-re (XXXI. táblázat), azonban 9 új megjelent. A monodomináns faj mindhárom év vegetációs időszakának végén a *Festuca rupicola* volt, melynek első évi átlaga (81%) a szárazságstressz hatására 2003. őszére (XXIX. táblázat) kétharmadára csökkent (54%), majd szinten maradt 2004-re. A *Festuca* LAI-jának jelentős csökkenését elsősorban a *Botriochloa* használta ki mely 2002-es borítási átlagát (13,8%) közel másfélszeresére növelte 2003. őszére, majd ez a szubdominanciát eredményező átlagérték – a csenkeszhez hasonlóan – csak minimálisan változott az utolsó évre. 2002. őszén az említett két taxonon kívül még a *Pimpinella saxifraga* (12,2%) és a *Dactylis glomerata* (3,2%) borítási értéke volt jelentősebb. Utóbbi két taxon LAI-ja egy évvel később minimálisra csökkent (0,22%), de térvesztésük az aszály perturbációs hatása miatt nem járt együtt más taxon jelentősebb előretörésével (mindössze 6 szárazságtűrő faj jelent meg kis borítással), míg 2004-ben a domináns és szubordinált taxonon kívül csak a *Salvia nemorosa* átlaga (3%) emelhető ki.

5.6.3. A vizsgált funkcionális csoportok évek közötti és szezonális variabilitása manipulált és kontroll állományokban

5.6.3.1. Egyszikűek, pillangósvirágúak és egyéb kétszikű taxonok évek közötti és szezonális variabilitása

Bugacon 2004. júniusára a funkcionális csoportok közül mindkét gyepben szignifikánsan ($P<0,05$) megnőtt a nem pillangós kétszikűek fajszáma és jelentősen (10%<) a csoporttömeg részesedésük (55. ábra, III-X. táblázat). A pillangós taxonok száma a nem legelt gyepben másfélszeresére nőtt (+2 faj), de arányuk az összfajszám jelentős növekedése miatt csak 1%-kal emelkedett (14%), míg a legelt gyepben csoporttömeg részesedésük a változatlan fajszám (3 faj) következében közel kétharmadára (8,6%) zsugorodott. A két év alatt az egyszikűek részesedése mindkét állományban – de a nem legelt típusnál jelentősebben (-15%) – visszaesett annak ellenére, hogy csak az elkerített gyepnél csökkent kismértében (-2 faj) az egyszikű taxonok száma, szemben a legelt gyeppel, ahol fajszám növekedést (+1 faj) tapasztaltunk. A legeltetéstől elkerített bugaci gyep tavaszi aszpektusában tapasztalt változások a nagytermetű egyszikűeknél eltérőek, míg a nagyobb méretű pillangós fajoknál megegyeznek OSEM *et al.* (2004) mediterrán klímájú területen folytatott rövid távú megfigyeléseivel, azaz a nem legelt terület nagyméretű egyszikű és pillangós taxonjai jóval gyakoribbakká váltak.

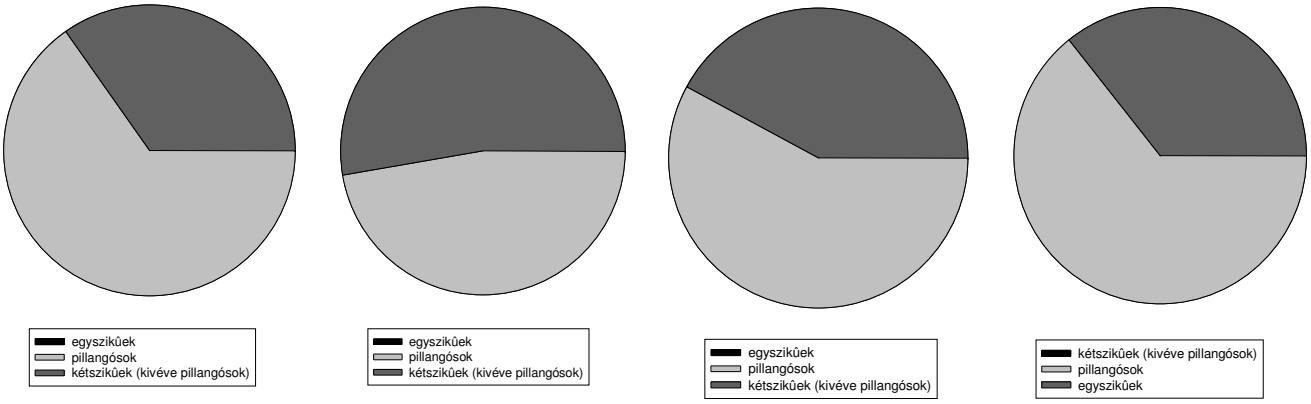
Az őszi aszpektus évek közötti eltéréseit vizsgálva megállapítható, hogy a 2003. évi aszály mindkét típusban közel felére csökkentette a kétszikűek (ideértve a pillangósokat és egyéb taxonokat) fajszámát (V. és IX. táblázat). Ezzel szemben az egyszikű taxonok száma mindkét típusban közel változatlan maradt (nem legelt -1 faj, legelt +1 faj) 2003. őszére, ezért ezen csoport relatív aránya szignifikánsan (P<0,05) nőtt, míg az egyéb kétszikűek, továbbá a legelt gyep pillangósainak csoporttömeg részesedése csökkent. A nem legelt gyepnél a pillangós taxonok csökkenésének mértéke megegyezett az összfajszám redukciójával, ezért itt ezen funkcionális csoport részesedése nem változott.



A.) Nem legelt gyep 2002. május | B.) Nem legelt gyep 2004. június | C.) Legelt állomány 2002. május | D.) Legelt állomány 2004. június

55. ábra: Az egyszikűek, a kétszikűek (kivéve *Fabaceae*) és a pillangósvirágúak relatív arányának változása 2002 és 2004 között a bugaci legeltetéstől elkerített és legelt gyepben

Isaszegen a kiindulási év és 2004. júniusa közt nagyobb változások a csoporttömeg arányokban csak a műtrágyázott gyepnél figyelhetők meg (56/A-B. és 57/A-B. ábra). A kezelt típusban a pillangósok kismértékű csökkenése mellett (-1 faj, -25%) a fajszám és a csoportrészesedés egyaránt jelentősen csökkent az egyéb kétszikűeknél, illetve nőtt az egyszikűeknél.
Az őszi aszpektus évek közötti eltérései során mindkét típusnál megfigyelhető az egyéb kétszikűek fajszámának és részesedésének jelentős csökkenése 2003-ban (XIII. és XVIII. táblázat), majd növekedése – a kiindulási évhez hasonló fajszámra – 2004-ben (56/C-D. és 57/C-D. ábra).

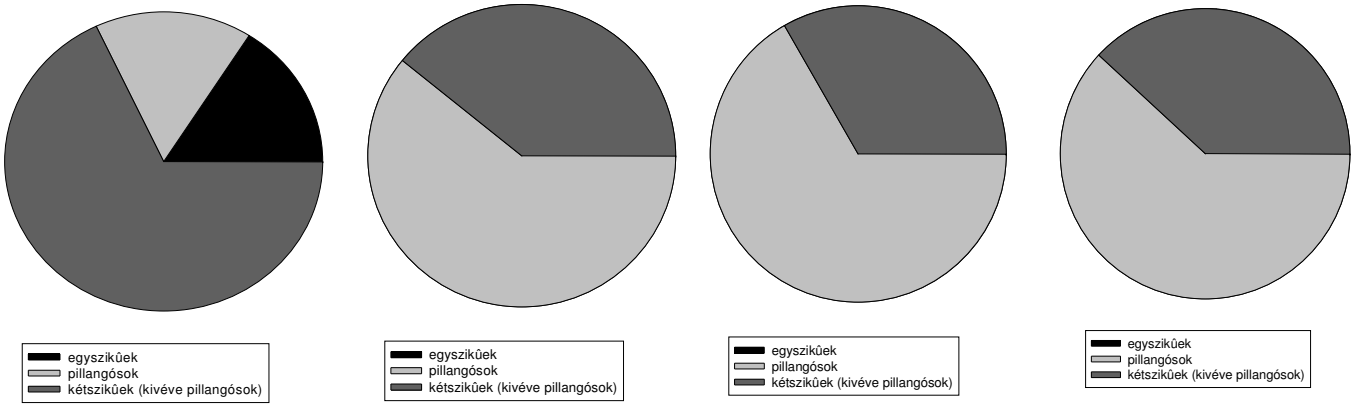


A.) Műtrágyázott gyep 2002. június | B.) Műtrágyázott gyep 2004. június | C.) Műtrágyázott gyep 2002. október | D.) Műtrágyázott gyep 2004. november

56. ábra: Az egyszikűek, a kétszikűek (kivéve *Fabaceae*) és a pillangósvirágúak relatív arányának változása műtrágyázott isaszegi gyepben 2002 és 2004 között a tavaszi és őszi aszpektusban

A műtrágyázott állománynak a vizsgálati ciklus végére észlelhető kisebb őszi fajkészlete mindhárom funkcionális csoportot érintette, de míg az egyszikűeknél a csoporttömeg részesedés nem változott

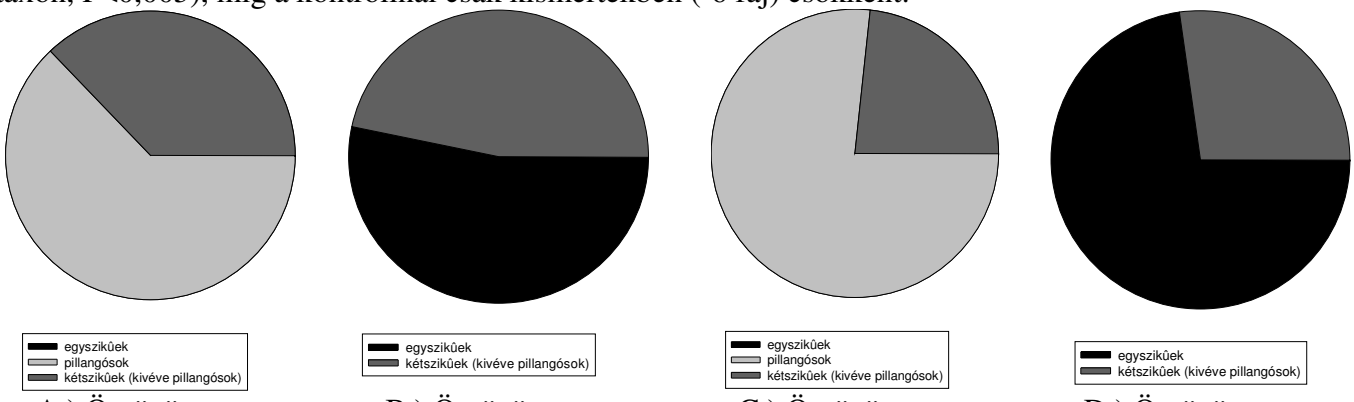
(21%), addig a pillangósoké harmadára csökkent (7%), míg az egyéb kétszikűeké 58%-ról (2002) 71%-ra (2004) nőtt. Az isaszegi kontroll gyepben – a kezelt állománnyal szemben – az egyszikűek évente növekvő (+1 taxon) fajszáma is megfigyelhető, melynek következtében részesedésük a kezdeti 14%-ról (2002) 24%-ra (2004) növekedett.



A.) isaszegi kontroll gyep 2002. június | B.) isaszegi kontroll gyep 2004. június | C.) isaszegi kontroll gyep 2002. október | D.) isaszegi kontroll gyep 2004. november

57. ábra: Az egyszikűek, a kétszikűek (kivéve *Fabaceae*) és a pillangósvirágúak relatív arányának változása az isaszegi kontroll állományban 2002 és 2004 között a tavaszi és őszi aszpektusban

A Gödöllőre transzplantált gyepek késő tavaszi felvételeit összevetve (58/A-B. és 59/A-B. ábra) kijelenthető, hogy mindkét típusnál folyamatosan nőtt az egyszikűek csoportrészesedése. Ez a változás a vizsgálat végére nagyobb mértékű volt az öntözött gyepben (+30%) – a kontrollhoz képest kisebb mértékű egyszikű taxonszám növekedés ellenére –, mint a kontrollnál (+12%) a lecsökkent fajkészlet miatt. A két állomány között a legnagyobb eltérés a *Fabaceae* taxonok esetén figyelhető meg, ugyanis az öntözött gyepben a pillangósok – a 2003. tavaszi jelentős csökkenés után (XXIII. táblázat) – 2004. júniusára teljesen eltűntek a gyepből, míg a kontrollnál részesedésük a 2002. évi 20%-ról csak 14%-ra csökkent. A két év során hasonló mértékben esett vissza a két típusban az egyéb kétszikűek csoporttömegének aránya, annak ellenére, hogy fajszámuk az öntözött gyepben szignifikánsan (-14 taxon, $P<0,005$), míg a kontrollnál csak kismértékben (-6 faj) csökkent.

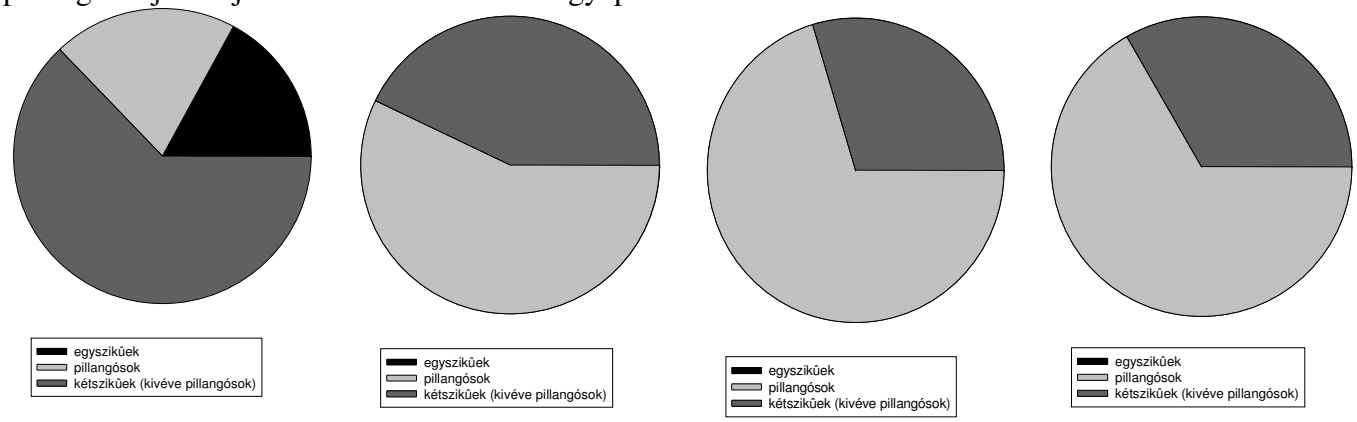


A.) Öntözött gyep 2002. június | B.) Öntözött gyep 2004. június | C.) Öntözött gyep 2002. november | D.) Öntözött gyep 2004. november

58. ábra: Az egyszikűek, a kétszikűek (kivéve *Fabaceae*) és a pillangósvirágúak relatív arányának változása Gödöllőre transzplantált, öntözött állományban 2002 és 2004 között, a tavaszi és őszi aszpektusban

Az őszi időszak változásai kapcsán megállapítható, hogy az öntözött gyepben (58/C-D. ábra, XXIV. táblázat) a pillangós fajok már 2003-ra a kezelés beindítása után másfél évvel eltűntek, míg az egyéb

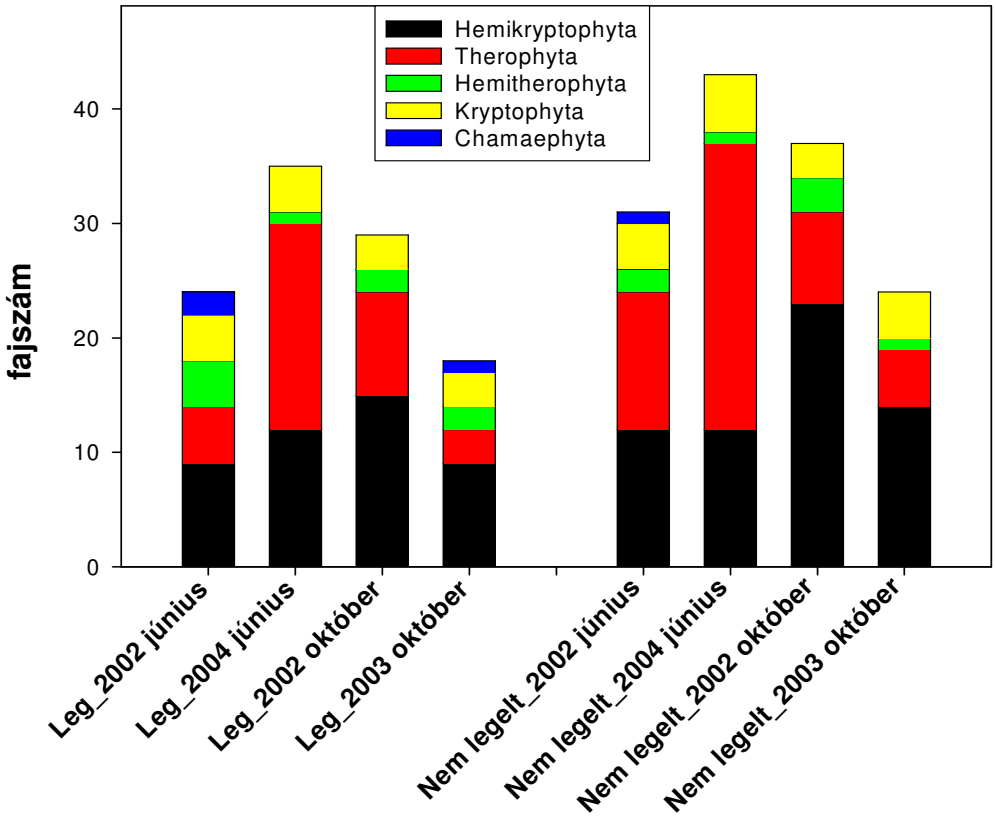
kétszikű taxonok csoportrészesedése a folyamatos és jelentős fajszám csökkenés ellenére nem változott lényegesen (2002: 77%, 2004: 73%). A kezelt gyepben 2003. őszére az egyszikűek fajszáma (+2 taxon), valamint részesedése – a pillangósok eltűnése és a fajkészlet redukciója miatt – kétszeresére nőtt (35%), majd a fajszámuk jelentősen csökkent (-4 faj), de csoportrészesedésük 2004. őszén így is másfélszerese volt (27%) a kiindulási értéknek. A gödöllői kontroll állománynál a kiindulási és a záró év cönológiai adatait kiértékelve (59/C-D. ábra) kisebb volumenű eltérések figyelhetők meg mind a fajszám, mind a funkcionális csoportok megoszlása esetén. Az egyetlen figyelemreméltóbb változás a pillangósoknál tapasztalható, ahol a 2003-as szárazságstressz harmadára csökkentette a fajszámot és felére (4%) a részesedést (XXIX. táblázat), de mindkét paraméter háromszorosára nőtt az utolsó évben. Az említett változás kismértékű térnyerést eredményezett a pillangósoknak a jelentősen lecsökkent fajszámú (-10 faj) egyéb kétszikűek rovására annak ellenére, hogy az egyszikű taxonok száma is folyamatosan csökkent. Összefoglalásként kijelenthető, hogy kezelés hatására Gödöllőn a kétszikűek relatív és abszolút arányai egyaránt lecsökkentek és az egyszikűek monodominánssá váltak, míg a pillangós fajok teljesen eltűntek az öntözött gyepből.



A.) gödöllői kontroll gyep 2002. június | B.) gödöllői kontroll gyep 2004. június | C.) gödöllői kontroll gyep 2002. november | D.) gödöllői kontroll gyep 2004. november

59. ábra: Az egyszikűek, a kétszikűek (kivéve *Fabaceae*) és a pillangósvirágúak relatív arányának változása a Gödöllőre transzplantált, kontroll állományban 2002. és 2004. között a tavaszi és őszi aszpektusban

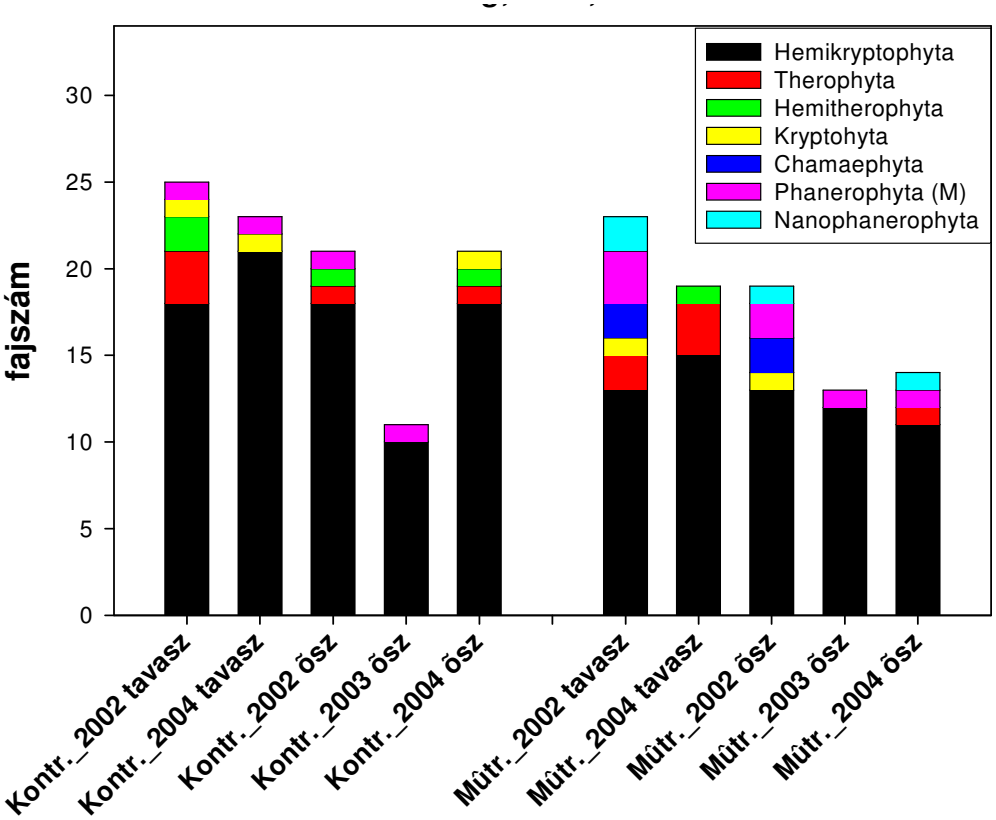
5.6.3.2. A Raunkier-féle életformák évek közötti és szezonális variabilitása



60. ábra: Raunkier-féle életformák évek közötti és szezonális változása legelt és legeltetéstől elkerített homoki legelőn /Bugacpuszta; 2002-2004/

A megfigyelt életformák számát tekintve mindössze egy alkalommal volt eltérés a legelt és a felhagyott gyep között, ugyanis 2003. őszén csak a legelt állományban volt megfigyelhető az *Ononis spinosa* által képviselt chamaephyta életforma (60. ábra). Az évek közötti eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy a csapadékos 2004-es évben mindkét területen szignifikánsan (P<0,005) nőtt (+13 faj) az egyéves taxonok (Th) száma, így csoporttömeg részesedésük mind a nem legelt, mind a legelt gyepben meghaladta az 50%-ot. A számos rövid életciklusú, efemér jellegű kétszikű therophyta faj kihasználva a kedvező talajvíz viszonyokat a 2004. júniusi cönológiai felvételezéskor jelentős borítási értékkel rendelkezett. Ezen funkcionális csoporton kívül a legeltetéstől elzárt állományban tavasszal csak a kryptophyták száma bővült egy fajjal, míg a hemikryptophyták azonos fajszáma mellett felére csökkent a hemitherophyta (1 faj) és eltűnt a chamaephyta életforma. Ezzel szemben a legelt gyepben a therophyták mellett a hemitherophyták fajszáma is jelentősebben növekedett (+3 faj), de itt nagyobb mértében szorultak vissza a hemitherophyták és szintén eltűntek a félcserjék. Az őszi felvételek évek közötti eltérései egyben a szárazságstressz hatását is jelzik a különböző életformákra. Mindkét típus esetén szembeötlő a hemitherophyták és a therophyták (különösen a legelt gyepben), valamint a nem legelt gyepben a hemitherophyták visszaszorulása, míg az aszály kedvezett a kryptophyták, illetve a legelt gyepben a félcserjék relatív arányának és fajszámának (kryptophytáknál csak a nem legelt gyepnél) növekedésében. A szezonális változások csak 2002-ben vizsgálhatók, de jól látható, hogy mindkét típusnál jelentősen nőtt a hemikryptophyták fajszáma és részesedése, míg a kryptophyták és a chamaephyták visszaszorultak. Az évelő hemikryptophytáknak a legeltetés felhagyása következtében megfigyelt előretörése (MATUS *et al.* 2005, CHEN *et al.* 2005, SU *et al.* 2005) Bugacon csak szezonálisan, az őszi időszakban volt kimutatható, ezzel szemben az évelő fajok abszolút és relatív

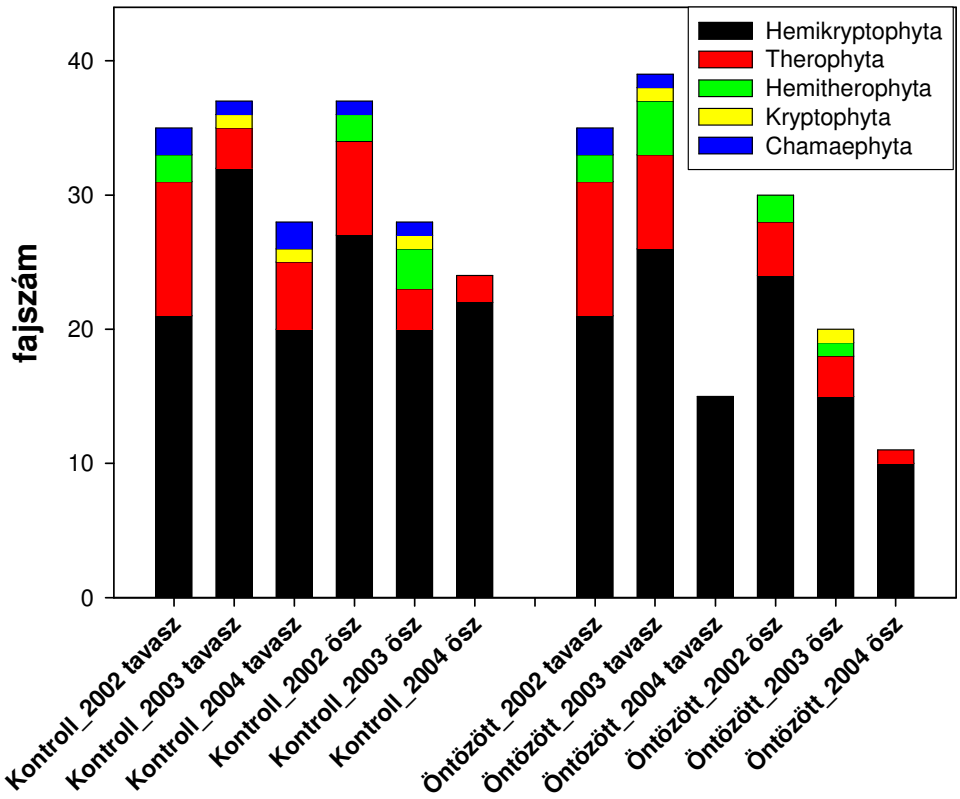
részesedése 2004. tavaszára lecsökkent. MATUS *et al.* (2003) tapasztalatával ellentétben, a vizsgálati ciklusban a magas termetű taxonok Bugacon – továbbá Kínában CHEN *et al.* (2005) által – is megfigyelhető térhódítása nem szorította vissza az egyéves fajokat, sőt tavasszal az egyéves fajok a legeltetéstől elkerített gyepben növelték borításukat és fajszámukat, akárcsak a SU *et al.* (2005) által vizsgált északi-kínai homoki gyepben.



61. ábra: Raunkier-féle életformák évek közötti változása
kontroll és műtrágyázott löszgyepben /Isaszeg; 2002-2004/

Isaszegen a két típus között lényeges eltérést jelentett, hogy félcserjék (Ch) és törpecserjék (N) csak a kezelt gyepben voltak bizonyos időszakokban megtalálhatók, ezzel szemben azonosság, hogy kezeléstől függetlenül minden felvételben az évelő hemikryptophytonok fajszáma és csoporttömeg részesedése dominált (61. ábra). 2002 és 2004 között a műtrágyázás és a 2003. évi aszály együttes hatására mindkét aszpektusban lecsökkent az életformák száma (a tavaszi időszakban felére), míg a kontroll állománynál az életformák diverzitásának kisebb mértékű (-40%) visszaesése csak tavasszal figyelhető meg. A műtrágyázott gyepben 2004. tavaszára megnőtt a hemikryptophyták és a therophyták fajszáma és részesedése, valamint az *Arabis hirsuta* által megjelent a hemitherophyta életforma. Az utóbbi két stratégia előretörése (egyéves), illetve megjelenése (kétéves) ellentétes PIPER *et al.* (2005) különböző préri típusokban végzett megfigyelésével. Ezzel szemben eltűntek a kryptophyta (G), Ch, N és phanerophyta (M) csoport reprezentánsai, részben a már említett kezelés és aszály miatt, illetve az utóbbi két fásszárú életforma esetében a számukra különösen kedvezőtlen biomassza vágások következtében. A kontroll gyep tavaszi időszakában szintén növekedett a hemikryptophyták aránya és fajszáma, de a kezelt állománnyal szemben 2002. júniusához képest 2004-re itt az egyévesek (Th) és a kétévesek (TH) hiányoztak az állományból. Az őszi aszpektus évek közötti eltéréseit vizsgálva megállapítható, hogy a műtrágyázott gyepben 2002-höz képest 2003-ra a kryptophyták és két fásszárú életforma (Ch, N) eltűnt, míg a phanerophyták már csak egy taxonnal (*Prunus spinosa*) és minimális

borítással (0,8%) voltak képviselve, így az állományt a hemikryptophyta életforma uralta. 2004-re a kezelt gyep életformáinak száma kétszeresére nőtt (4), mivel egy-egy zavarásjelző egyéves (*Conyza*) és nanophanerophyta (*Rubus*) taxon bővítette az életformák palettáját. Az isaszegi kontroll állomány őszi felvételeit összevetve jól kivehető a 2003. évi szárazságstressz negatív hatása. Az összfajszám közel felére csökkenését döntően a domináns hemikryptophytonok szignifikáns (P<0,005) visszaszorulása (-8 faj), továbbá az egyévesek és kétévesek eltűnése okozta, melyet a *Crataegus*-t felváltó *Prunus spinosa* (phanerophyta) felbukkanása sem volt képes kompenzálni. 2004. őszére a kontroll gyep életformáinak száma megduplázódott és ismét megegyezett a 2002. évivel, mivel újra megjelent egy-egy egyéves és kétéves taxon, valamint egy kryptophyta (*Elymus intermedium*) is felbukkant, miközben a biomassza vágás miatt eltűnt a *Prunus* által kéviselt életforma (M). A szezonális eltérések kapcsán mindkét állománynál ellentmondó változások figyelhetők meg 2002-ben, illetve 2004-ben, ezért nem lehet egyértelmű trendeket megfigyelni. Annyi azonban kijelenthető, hogy tavaszhoz képest őszre nem nő vagy csökken az évelők száma (H), valamint az egyévesek (Th) és kétévesek (TH) fajszáma többnyire visszaesik.

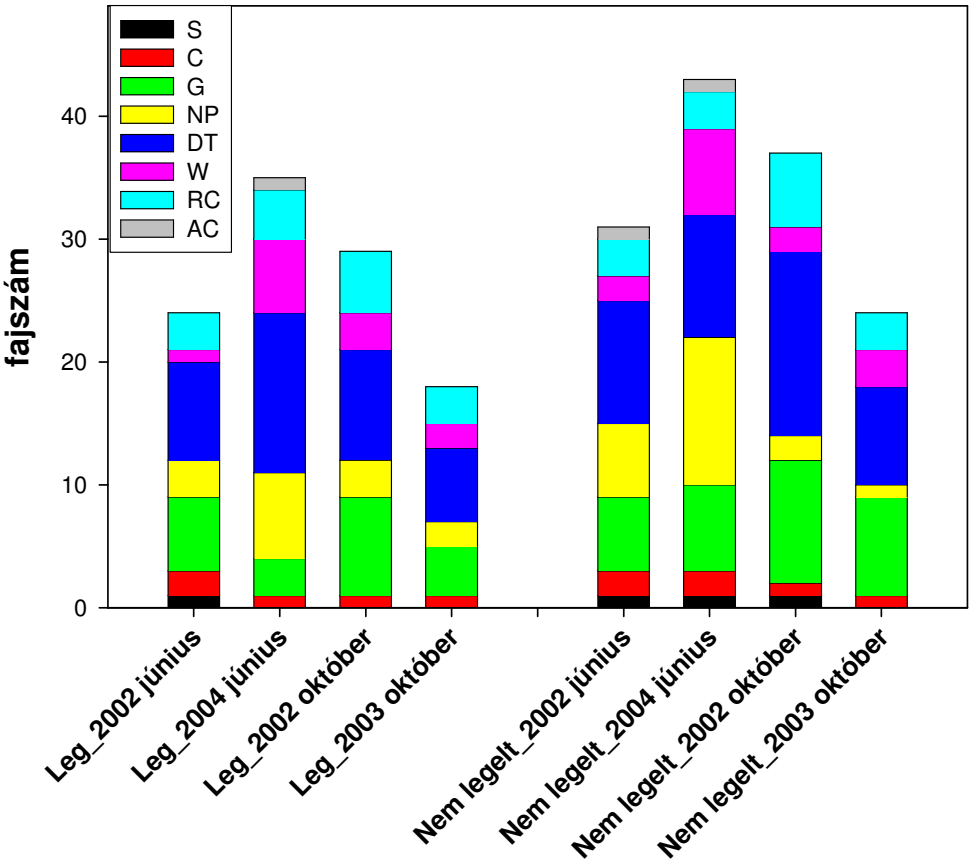


62. ábra: Raunkier-féle életformák évek közötti változása
kontroll és öntözött löszgyepben /Gödöllő; 2002-2004/

Mindkét Gödöllőre transzplantált állományban ugyanaz az ötféle életforma előfordulása figyelhető meg (62. ábra). A gödöllői öntözött és kontroll löszgyepben – az isaszegihez hasonlóan – végig dominált a hazai pázsitfüvekre is jellemző hemikryptophyton életforma. Az öntözés hatására 2004. tavaszára csak ez az egy életforma volt képviselve, azaz a kiindulási évhez képest az egyévesek, a kétévesek és a félcserjék, valamint a 2003. tavaszán megjelent kryptophyta taxon is eltűnt a kezelt gyepből. Ezen funkcionális csoport elszegényedése azért is feltűnő, mert 2003. tavaszán a betelepítéshez képest a már említett kryptophyta taxonnal ötre bővült az életformák száma, továbbá a hemikryptophyták és hemitherophytonok fajszáma és csoporttömeg részesedése egyaránt nőtt. A két év során a kontroll típusnál tavasszal felére csökkent az egyévesek száma, a kétévesek eltűntek, de megjelent egy

kryptophyta taxon. Meglepő módon a 2003-as szárazság – az isaszegi állományokkal ellentétben – a gödöllői kontroll gyepnél is növelte (ősz) vagy szinten tartotta (tavasz) az életformák számát. Az őszi időszakban az öntözött gyepnél – a tavaszihoz hasonlóan – az életformák elszegényedése tapasztalható a 2003. évi átmeneti növekedés után, mivel 2004. őszére a domináns évelők (H) mellett egyedül az egyéves *Daucus carota* túlélési stratégiája eltérő (Th). A kezelt állományban a két év alatt folyamatosan csökkent a hemikryptophyták és therophyták fajszáma, akárcsak a 2004. őszére teljesen eltűnő kétéveseké (TH), míg a mindössze 2003-ban megfigyelhető egyetlen kryptophyta taxon (*Elymus*) felbukkanása szintén kérészéletűnek bizonyult. 2004. őszére a kontroll gyepben folyamatosan és harmadára csökkent az egyévesek fajszáma, míg a kétévesek, félcserjék és kryptophyták (csak 2003. őszén) eltűntek a gyepből. A szezonális eltérések iránya az egyes életformák esetében a vizsgálati évtől függően különböző volt, de az kijelenthető, hogy az egyes életformákhoz tartozó fajszámok többnyire lecsökkentek az őszi időszakokra. Ez a megállapítás különösen igaz az egyévesekre (Th) és a félcserjékre (Ch).

5.6.3.3 A szociális-magatartástípusok (SZMT) évek közötti és szezonális variabilitása

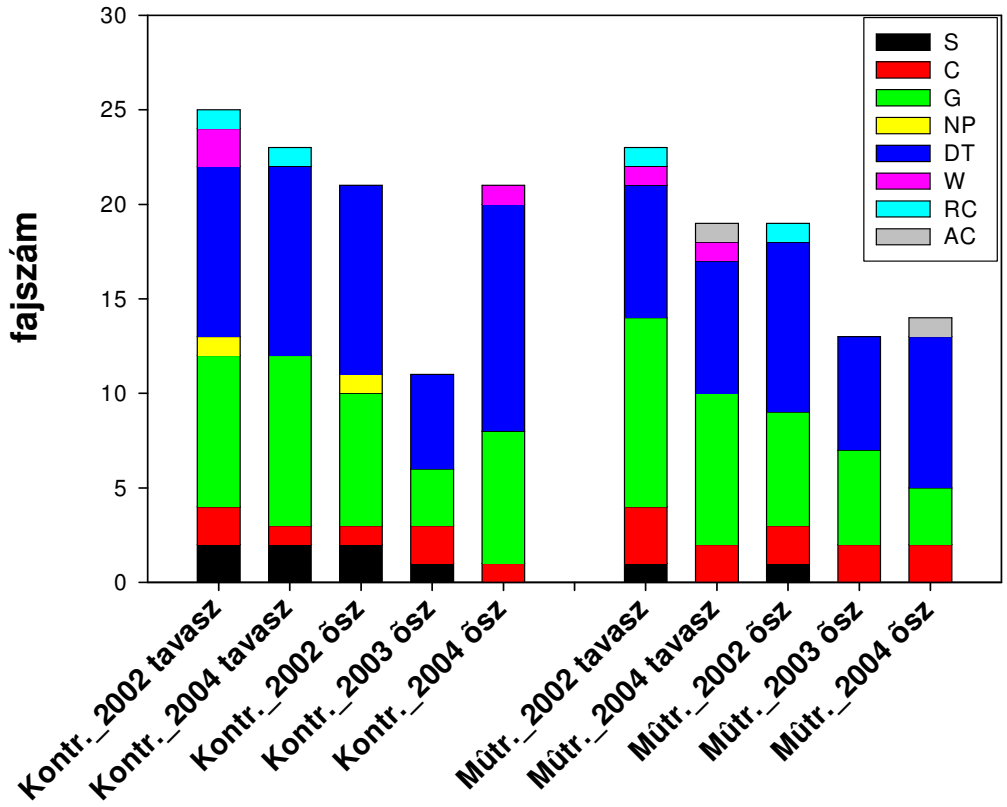


63. ábra: A szociális magatartás típusok rövid távú változása
kontroll (legelt) és legeltetéstől elzárt gyepben /Bugacpuszta; 2002, 2004/

Bugacon a szociális-magatartástípusok közül ugyanaz a nyolc kategória volt képviselve a vizsgált két állományban, de a legeltetéstől elzárt típusban 2003. októbere kivételével mindig eggyel több SZMT volt jelen (63. ábra). A megvizsgált négy időpont alapján a két állomány SZMT megoszlását összevetve kijelenthető, hogy a nem legelt gyepben általában több volt az értékesebb specialista (S), generalista (G), illetve a természetes zavarástűrő (DT) és természetes gyomfajok (W) száma. A két típusban közel azonos mértékben voltak reprezentálva a társulás szerkezetét, működését stabilizáló

értékesebb specialisták (S), valamint a degradációt jelző ruderális kompetitorok (RC) és tájidegen inváziós fajok (AC). A természetes pionírok (NP) jelentős szezonális dinamikáját jelzi, hogy tavasszal a nem legelt gyepben kétszeres fajszámmal voltak képviselve, míg ősszel már a legelt állományban volt jelen több taxonjuk. A két gyeptípus évek közötti eltéréseit összehasonlítva megállapítható, hogy tavasszal a nem legelt gyep öt SZMT kategóriája (S, C, DT, RC, AC) is azonos fajszámmal volt képviselve a kiindulási évben és 2004-ben, míg a generalisták fajszáma csak minimális mértében változott (+1 taxon), melyek a nem legelt állomány stabilitását és/vagy jó regenerációs potenciálját jelzi. Az említett kategóriákon kívül a csapadékos 2004-es évben kétszeresére nőtt a természetes pionírok száma és öt taxonnal bővült a természetes gyomfajok listája (7 faj), mely eltérések a legelt gyepnél is megfigyelhetők. A legelt állomány instabilabb struktúráját jelzi, hogy 2002. júniusához képest – az elkerített gyeppel ellentétben – 2004-re minden szociális-magatartástípus kategóriához tartozó fajszám megváltozott. Ezek az eltérések kedvezőtlen irányba mutatnak, ugyanis az értékesebb, az állomány struktúrájának megőrzése szempontjából fontos típusok esetében kivétel nélkül jelentős (50%-os) csökkenés (C, G) vagy eltűnés (S) figyelhető meg, ellenben a degradációt jelző csoportok (DT, W, RC, AC) fajszáma és csoportrészesedése egyaránt növekedett, ami különösen feltűnő a természetes zavarástűrők és a természetes gyomfajok (+5-5 taxon) esetében. A vizsgált két őszi időszak eltérései egyben a 2003-as szárazságstressz volumenét is mutatja a kiválasztott növényállományok stabilitására. A legeltetéstől elzárt gyepben 2003. őszére eltűntek a specialisták, valamint felére csökkent a természetes pionírok (NP) és zavarástűrők (DT), illetve ruderális kompetitorok (RC) fajszáma. Ezzel szemben a generalisták redukciója minimális mértékű volt (-20%, 2 faj), míg a kompetitorok (C) jelenléte nem változott. A természetes gyomok (W) fajszám növekedése a nem legelt gyepben (+1 taxon) szintén az aszály negatív hatását jelzi. A legelt gyepben egy kategória kivételével (C) mind az öt jelenlévő SZMT kategóriában – beleértve a gyomokat (W, RC) – csökkent a taxonok száma, ami különösen a generalistáknál (-50%, 4 faj) és zavarástűrőknél (-33%, 3 faj) feltűnő. A szezonális változások közül mindkét állományra jellemző, hogy őszre lecsökkent az SZMT kategóriák száma, valamint kevesebb lett a kompetitor taxon, ellenben több lett a zavarástűrő- és gyomfaj, illetve megnőtt a generalisták képviselete is.

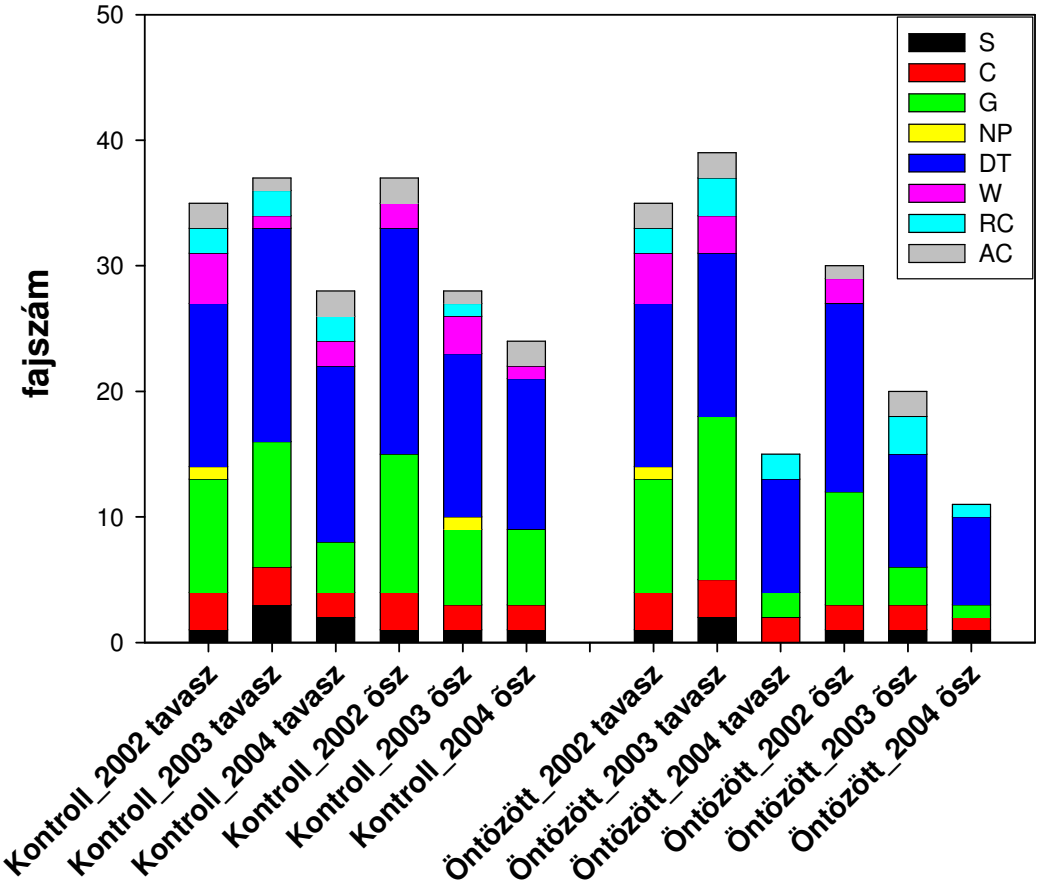
Isaszegen a szociális-magatartástípusok közül hat kategória mindkét állományban előfordult (S, C, G, DT, W, RC) /64. ábra/, ellenben inváziós taxon (AC) csak a műtrágyázott, míg természetes pionír (NP) faj csak a kontroll gyepben fordult elő. A két állomány SZMT megoszlását összehasonlítva megállapítható, hogy a műtrágyázott gyepben több volt a kompetitor (C), de kevesebb volt a specialista (S) és a természetes zavarástűrők (DT), míg a gyomok közül két csoportnál (W, RC) nem volt lényeges eltérés. A generalisták (G) a kiindulási évben hasonló fajszámmal voltak képviselve a két gyepben, de a műtrágyázás hatására a kezelt foltokban lecsökkent taxonjaik száma. A műtrágyázott állomány tavaszi évek közötti változását jelzi, hogy a kiindulási évhez képest 2004-re eltűntek a specialisták (S) és a ruderális kompetitorok (RC), viszont a *Conyza canade*nsis révén megjelent egy tájidegen, inváziós (AC) taxon. A kezelt gyepben a zavarástűrők (DT) és a természetes gyomfajok (W) képviselete nem változott, míg a kompetitorok (-1 faj) és generalisták (-20%, 2 faj) csoporttömeg részesedése és fajszáma csökkent, ami a gyep összetételének kedvezőtlen változását mutatja. A kontroll állománynál a változás mértéke kisebb volt, mivel két csoport részesedése nem (S, RC), további háromé csak egy fajjal változott (C, G, DT), köztük a jelentős fajkészletű generalistáké (G) és természetes zavarástűrőké (DT). Utóbbi típusból 2004. tavaszi aszpektusára eltűntek a kis fajszámú és relatív borítású természetes pionír (NP) és gyom (W) taxonok. Az őszi időszak SZMT-jének évek közötti eltérései hasonló volumenűek voltak a két típusban. A műtrágyázott (S, RC) és a kontroll gyepnél (S, NP) egyaránt két csoport képviselői tűntek el, míg egy-egy gyomtípus (kezelt: AC, kontroll: W) jelent meg.



64. ábra: A szociális magatartás típusok rövid távú évek közötti
és szezonális változása kontroll és műtrágyázott löszgyepben /Isaszeg; 2002-2004/

A kompetitorok (C) és a zavarástűrők (DT) fajszáma egyik állományban sem változott 2002. őszétől a vizsgálat végére jelentősen, akárcsak a generalistáké (G) a kontroll típusban. Ezzel szemben a műtrágyázott állományban utóbbi csoport fajszáma – a tavaszi eltérésekhez hasonlóan – fokozatosan csökkent. A 2003-as aszály következében mindkét gyepben lecsökkent a zavarástűrő és generalista taxonok száma, valamint a kezelt állományból a specialisták és a ruderális kompetitorok, míg a kontrollból csak a természetes pionírok tűntek el. Meglepő módon 2003. őszére a kontroll gyepben nőtt a kompetitorok fajszáma (+1 taxon). A szezonális eltéréseket vizsgálva megállapítható, hogy mindkét összehasonlítható évben és mind a két állományban őszre lecsökkent a gyepekben megfigyelhető SZMT-ok száma. Ezenkívül az öntözött és a kontroll gyepre egyaránt jellemző, hogy őszi időszakban kevesebb a kompetitor, a generalista és a gyomnövény, ellenben megnövekszik a zavarástűrők száma.

A Gödöllőre transzplantált monolitok két típusában az SZMT-ok száma megegyezett (65. ábra), bár a kezelt gyepben csak a 2002. tavaszi közös fajkészletben figyelhetők meg a természetes pionírok (NP). Később az egyenletes vízellátottság, valamint az ennek következtében kifejlődött nagy LAI nem tette lehetővé az NP típus megjelenését. Öntözés hatására a vizsgálati ciklus során tavasszal és ősszel egyaránt lecsökkent a szociális-magatartástípusok száma. A két állomány SZMT kategóriáit összevetve megállapítható, hogy az öntözött gyepből a természetes pionírok eltűnése mellett jobban lecsökkent a generalisták (G) fajszáma, kevesebb lett a zavarástűrő (DT) és két degradációt jelző, gyomfajokat magába foglaló csoport (W, AC), ellenben nőtt a ruderális kompetitorok (RC) jelentősége. Az érzékenyebb csoportok közül a kezelt gyepben tavasszal kevesebb lett a kompetitor (C), míg a specialisták ebben az időszakban tömegesebbek voltak a kontrollhoz képest.

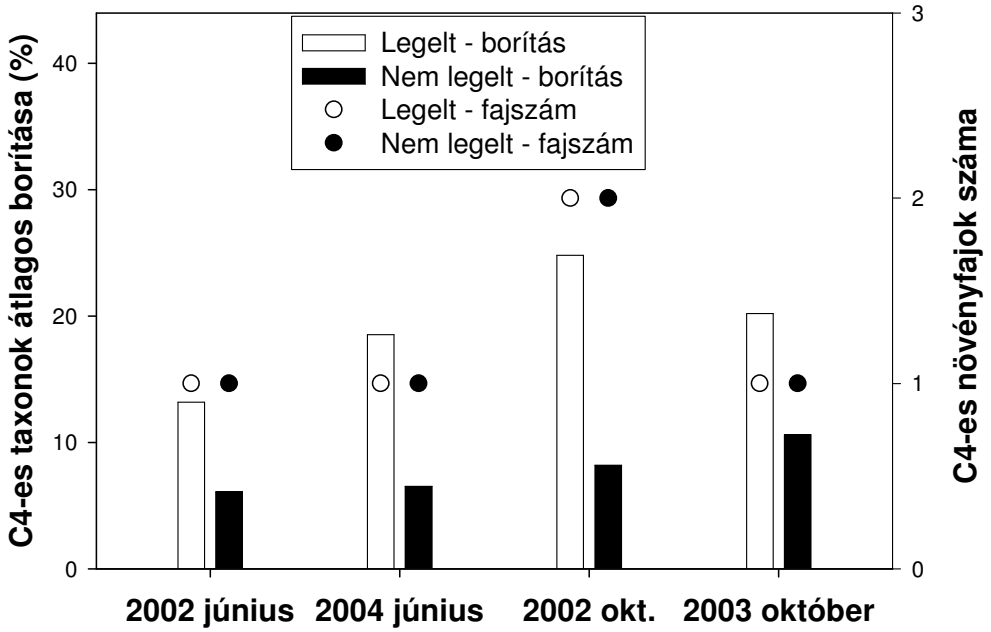


65. ábra: A szociális magatartás típusok rövid távú évek közötti és szezonális változása kontroll és öntözött löszgyepben /Gödöllő; 2002, 2004/

Az évek közötti változásokat összevetve megfigyelhető, hogy 2004. tavaszára az öntözött gyep 7 SZMT kategóriájának fajszáma csökkent, csak a ruderális kompetitorok (RC) taxonjainak száma egyezett meg a kiindulási állapotéval. Az említett hét csoportból négy eltűnt (S, NP, W, AC) a kezelt állományból – a gyomtaxonok feltehetőleg a magas LAI és a „gap”-ek hiánya miatt –, a generalisták fajkészlete szignifikánsan (-7 faj, 88%, P<0,005), míg a kompetitoroké (-1 faj, 33%) és a természetes zavarástűrőké (-4 faj, 31%) kisebb mértékben redukálódott. A 2003-as aszály a vizsgált állományok közül legkisebb mértékben az öntözött gyepet befolyásolta ezért az SZMT-ok számának csökkenése mellett több csoport (S, G, RC) fajszáma nőtt. Az összfajszám bővülése egyfajta versenyhelyzetet jelez, mely az idő előrehaladtával a gyorsabban akklimatizálódott fajok LAI növekedésének kedvezett, melyet számos taxon eltűnése követett. A kontroll gyepben 2004. tavaszán egyes zavarásjelző csoportok fajszáma megegyezett (RC, AC) vagy közel azonos volt (DT) a 2002. tavaszival. A természetes pionírok eltűnése mellett legnagyobb mértékű a generalisták (-5 faj, 55%) és a természetes gyomok (2 faj, 50%) visszaszorulása volt, a kompetitorok mindössze egy taxont vesztettek, míg a specialisták növelték (+1 taxon) fajszámukat. A szárazságstressz által sújtott 2003-as évben meglepő módon a kontroll gyep több funkcionális csoportja, a specialisták (+2 faj, 300%), a generalisták (+1 faj, 11%) és a zavarástűrők (+4 taxon, 31%) egyaránt növelték taxonjaik számát és így csoporttömeg részesedésüket. Ebben az évben a legnagyobb mértékű redukció a természetes gyomoknál (-3 faj, 25%) figyelhető meg. Ősszel az öntözött gyepben a két év alatt – a tavaszihoz hasonlóan – eltűnt a gyomfajok két SZMT csoportja (W, AC), viszont megjelentek a ruderális kompetitorok (RC). A kezelt gyepben a tavaszi eltérésekhez képest ősszel még jelentősebben visszaszorultak a geofiták (-8 faj, 89%) és a zavarástűrők (-8 faj, 53%), míg a változatlan taxonszámmal képviselt specialisták mellett, a

kompetitorok fajszáma is felére csökkent (-1 faj). A kiindulási évhez képest 2003. őszére megjelentek a ruderális kompetitorok és nőtt a tájidegen, inváziós fajok száma (+1 taxon), míg a gyepben tömeges geofiták taxonjainak száma harmadára (-6 faj), a természetes zavarástűrőké 40%-kal (-6 faj) esett vissza. Az öntözés tehát eltűntette vagy jelentősen lecsökkentette a gyomok és a zavarástűrő taxonok számát, de a gyep stabilitását hosszabb távon biztosító, értékesebb csoportok (S, C, G) fajszáma és részesedése is visszaesett. A kontroll állománynál a 2004. őszi fajszám két típusnál (S, AC) egyezett a kiindulás évivel, a többi SZMT-nál csökkent. A 2002. őszén leggyakoribb funkcionális típusok (DT: -6 faj, 33%; G: -5 faj, 45%; C: -1 faj, 33%) redukciója a 2003-as aszály következménye, míg a csak 2003-ban feltűnő egyetlen NP és RC faj az utolsó felvételezésnél, 2004. őszén már nem került elő. A transzplantált gyepekben megfigyelt szezonális változások nem minden esetben mutattak SZMT kategória csökkenést az őszi időszakra, hanem akár nagyobb SZMT diverzitás is kialakulhatott a vegetációs periódus második felében (kontroll - 2003, öntözött -2004). Az egyes típusokat illetően a gyakori kivételek miatt csak általánosságban jelenthető ki, hogy őszre a zavarástűrők (RC) és gyomok (különösen az RC és W) fajszáma mindkét típusban csökken, akárcsak az öntözött gyepben a kompetitoroké (C) és generalistáké (G), illetve a kontroll állományban a specialistáké (S).

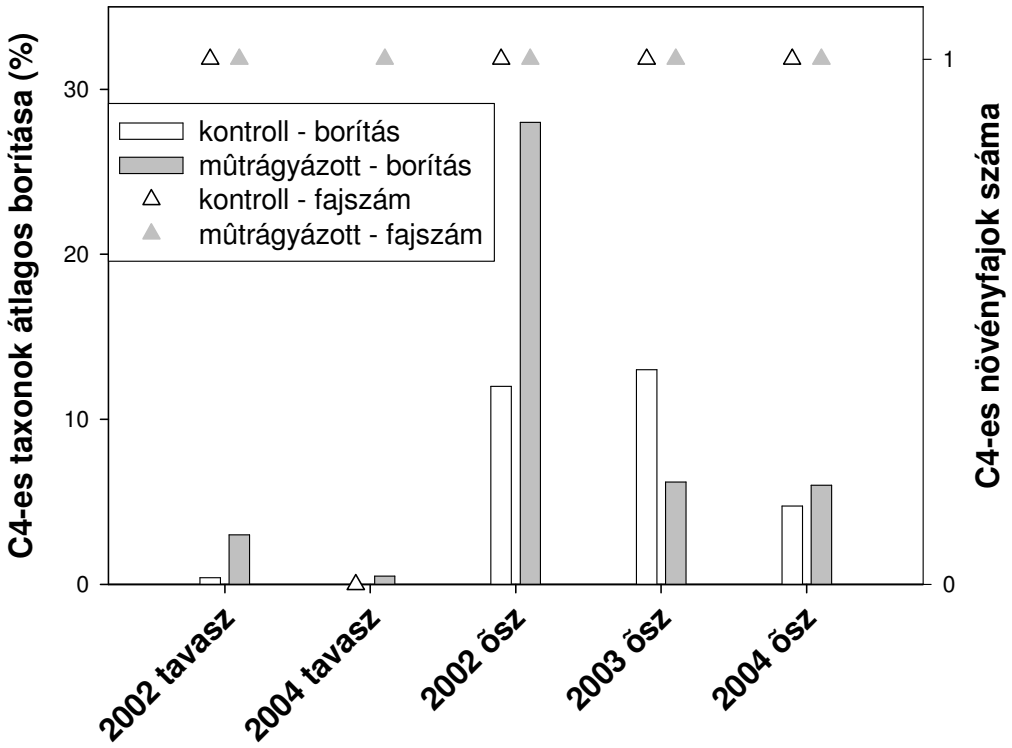
5.6.3.4. A C_4-es fotoszintézis típusú taxonok évek közötti és szezonális variabilitása



66. ábra: C_4-es fotoszintézis típus abszolút borításának és előfordulásának időbeli változása a bugaci legelt és legeltetéstől elzárt gyepben /Bugacpuszta; 2002, 2004/

A vizsgált bugaci homoki legelő mindössze két C_4-es szénmegkötéssel jellemezhető faja (66. ábra) közül a tömegesebb *Cynodon dactylon* a vizsgálat kezdetén és végén mindkét állományban egyaránt megtalálható volt, akárcsak az őszi felvételekben. A csillagpázsit borítása 2002. júniusához képest a csapadékos utolsó évre csak a legelt gyepben növekedett (+40%) jelentős mértékben, míg a nem legelt állományban a gyep intenzív LAI növekedése miatt a relatív borítása csökkent, de az abszolút borítási átlaga minimális mértékben emelkedett (+7%). A másik C_4-es taxon, az *Amaranthus retroflexus* csak az őszi aszpektus egyik felvételében, 2002. októberében volt jelen a csillagpázsittal együtt mindkét vizsgált állományban, de a legelt (0.1%) és a legeltetéstől elkerített gyepben (1%) egyaránt csak kis borítási átlaggal volt képviselve. Az őszi aszpektusban a C_4-es taxonok fajszáma felére csökkent, míg

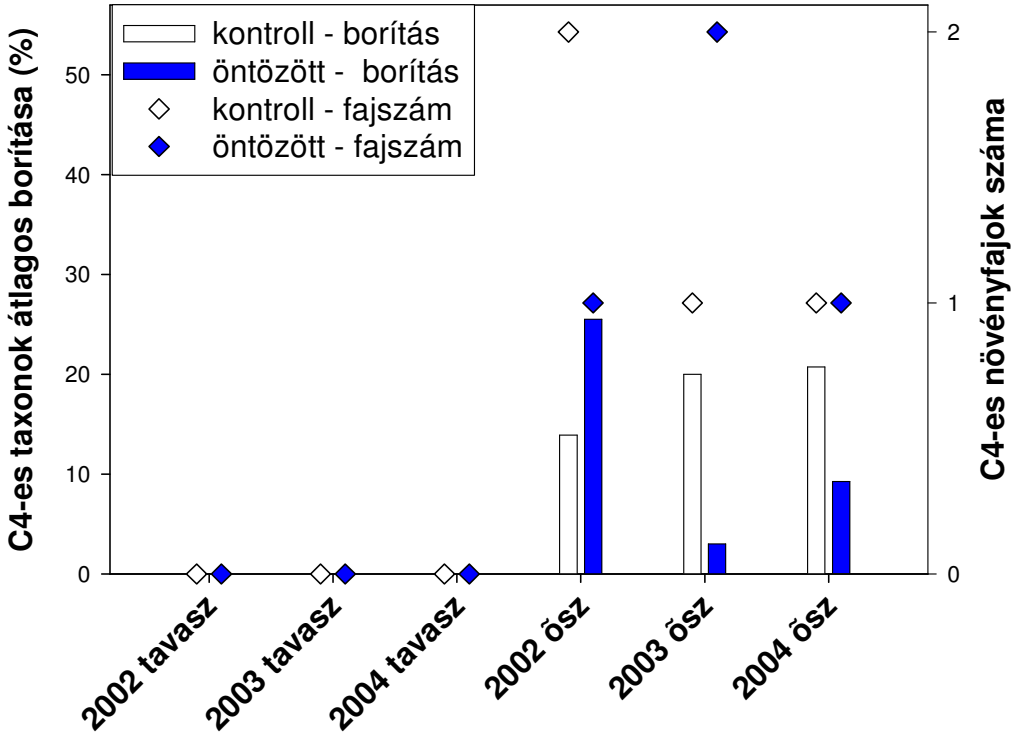
borítási átlaguk eltérő mértékben változott a szárazságstressz hatására a két típusban. A legelt gyepben közel ötödével csökkent (-19%), ellenben a legeltetéstől elzárt állományban csaknem harmadával (+29%) nőtt az egyetlen C_4-es taxon abszolút borítási átlaga. Összességében megállapítható, hogy a C_4-es taxonok fajszáma, illetve taxonjai minden cönológiai felvételezésben megegyeztek a két állományban, de abszolút borítási átlaguk a legeltetéstől elkerített gyepben – a legelt típushoz képest – kisebb mértékben változott, továbbá ezek az eltérések mindkét aszpektusban az átlagértékek egyirányú változását, azaz növekedését jelezték, ellentétben a legelt állománnyal. EPSTEIN *et al.* (1997) észak-amerikai terepi adatok modellezéséből levont következtetései az általunk vizsgált objektumokra nézve nem helytállóak, mivel a magasabb homoktartalmú bugaci területen nem volt nagyobb a C_4-es taxonok részesedése, mint a löszgyepekben, továbbá a csapadékos 2004-es esztendő a kiindulási évhez képest sehol sem növelte a C_4-es taxonok számát, valamint csak minimálisan emelkedett ezen funkcionális csoport átlagos borítása a homoki legelőn (míg a löszgyep állományoknál egyenesen csökkent).



67. ábra: C_4-es fotoszintézis típus abszolút borításának és előfordulásának időbeli változása az isaszegi kontroll és műtrágyázott löszgyepben /Isaszeg; 2002, 2004/

Isaszegen összesen szintén két C_4-es faj szerepelt a cönológiai felvételekben, de közülük egy adott időpontban mindig csak egy taxon volt jelen a felvételekben (67. ábra). A *Chrysopogon gryllus* – kis borítási átlaggal – csak a kiindulási év késő tavaszi, míg a jóval tömegesebb *Bothriochloa ischaemum* mindkét állomány valamennyi őszi, továbbá a műtrágyázott állomány 2004. júniusi felvételeiben fordult elő. A valódi sztyeppnövénynek számító élesmosófű tehát mindkét típusból eltűnt 2004-re, míg helyét a funkcionális csoportból csak a műtrágyázott állománynál vette át – hatodára csökkent borítási értékkel (0.5%) – a degradációt jelző fenyérfű. 2004. tavaszi aszpektusára a C_4-es fajok eltűntek a kontroll gyepből, míg a műtrágyázott állományban lecsökkent a borításuk. Az őszi aszpektus évek közötti eltéréseit összehasonlítva megállapítható, hogy a műtrágyázott gyepben folyamatosan és nagyobb mértékben csökkent a C_4-es fajok borítása (-79%) a vizsgálati periódusban, mint a kontroll típusban (-60%). Ennek ellenére a kezelt gyep C_4-es taxonjának 2004. őszi átlagértéke még mindig felülmúlta a kontroll állományét. A műtrágyázott állományban a C_4-es taxonok száma minden

felvételezésnél azonos (egy) volt, ami megerősíti PIPER *et al*. (2005) észak-amerikai gyepek vizsgálata során kapott eredményét. A 2002. évi késői műtrágyázás, valamint a 2003. évi aszályt kísérő cönológiai degradáció az isaszegi löszvegetációban nem járt együtt a gyepben uralkodó fotoszintézis típus megváltozásával (C_3-ról C_4-re), amit korábban több publikáció is jelzett (NAGY *et al.* 1994, SZENTE *et al.* 1996). A műtrágyázott állomány 2002. őszi felvételében a *Bothriochloa* magas borítási értéke (28%) a késői műtrágyázás negatív hatásaként fogható fel (a *Festuca* visszaszorulásával megnyíló gyep üres foltjaiban /„gap"/ a fenyérfű magkészletének gyors forráskihasználása miatt), míg a C_4-es taxon visszaszorulása a *Salvia* térnyerésének, illetve a *Festuca* regenerációjának a következménye. A szárazságstressz a műtrágyázott állományban felgyorsuló vegetációdinamikai folyamatok miatt csak a kontroll állományban növelte a C_4-es taxon relatív és abszolút borítási átlagát. A két típust összehasonlítva 2003 őszi időszaka kivételével minden alkalommal a műtrágyázott állományban volt nagyobb borítási átlaggal jelen az adott periódusban jellemző C_4-es taxon.



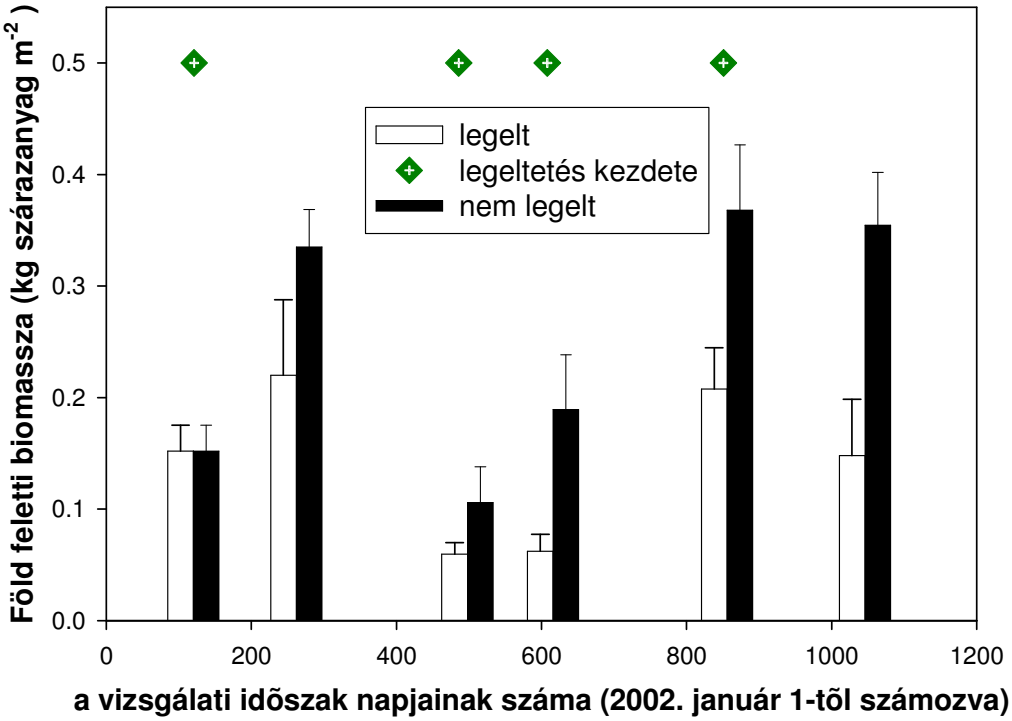
68. ábra: C_4-es fotoszintézis típus abszolút borításának és előfordulásának időbeli változása a gödöllői kontroll és öntözött löszgyepben /Gödöllő; 2002, 2004/

A gödöllői állományokban C_4-es fajok csak az őszi aszpektusban figyelhetők meg (68. ábra), melyek közül a *Bothriochloa ischaemum* mindkét állomány összes őszi felvételében előfordult. A másik C_4-es fotoszintézis típussal jellemezhető taxon, a *Digitaria sanguinalis* minkét típusban csak egy-egy őszi felvételezés során szerepelt a fajlistában. A pirók ujjasmuhar a kontroll állomány 2002. őszi (0.1%), valamint az öntözött gyep 2003. novemberi (0.2%) cönológiai felvételezésekor fordult elő minimális borítási értékkel. A vizsgálati periódus végére az öntözött állományban kezelés hatására jelentősen (-64%) lecsökkent a C_4-es taxonok borítási átlaga, mely elsősorban a monodominánssá váló erős kompetitor taxon, a *Dactylis glomerata* jelentős LAI növekedésének a következménye. Ez a csökkenés döntően a 2002. és 2003. ősze közötti időszakban feltűnő, amikor is – a fajszám növekedés ellenére – borítási átlaguk több mint nyolcadára esett vissza. Az öntözött gyepben az utolsó évre eltűnt a *Digitaria*, azonban a *Botriochloa* kismértékű térnyerése is megfigyelhető. A gödöllői kontroll állományban a C_4-es *Botriochloa* folyamatos térnyerése figyelhető meg annak ellenére, hogy 2002-ben

a C_4-es taxonok még két fajjal voltak képviselve az állományban. A vizsgált funkcionális csoport abszolút borítási értéke – az öntözött állományhoz hasonlóan – 2002. és 2003. ősze között változott jelentősebb mértékben, azonban itt a kezelt gyepnél megfigyelhető folyamattal ellentétes irányú, közel másfélszeres növekedést tapasztaltunk, mely kismértékben folytatódott a következő évben is. A teljes vizsgálati ciklus során az öntözött állományban a C_4-es taxonok borítása csökkent, míg a kontroll állományban a 2003. évi aszály növényközösségek szerkezetére gyakorolt negatív hatása következtében megnőtt.

5.7. Produkció vizsgálatok

5.7.1. Az eltérő kezelésű gyepek és kontroll állományaik primer produkciójának, valamint potenciális növekedési rátájának (PPP) évek közötti és szezonális dinamikája

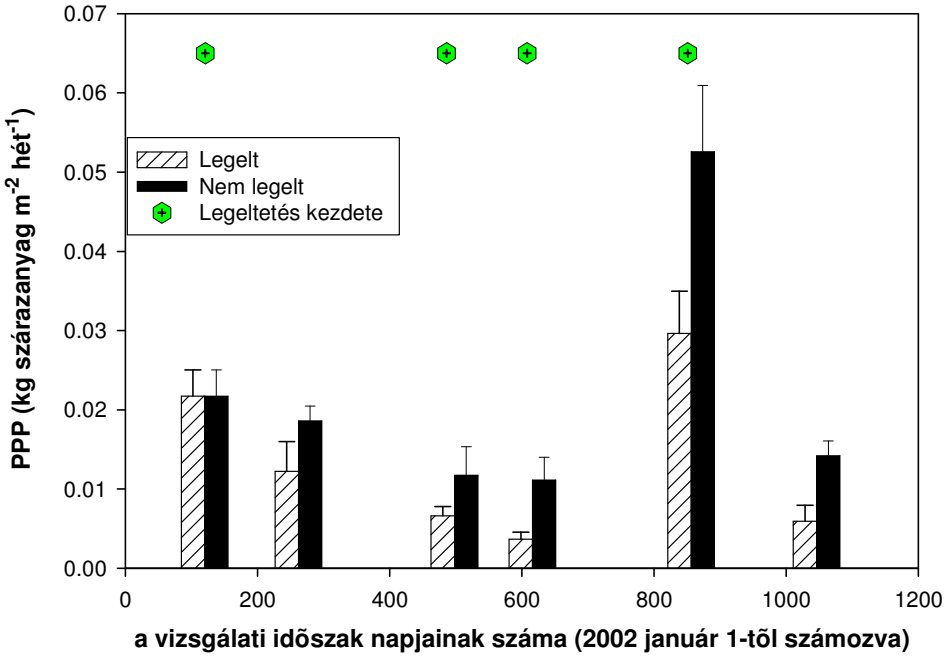


69. ábra: A föld feletti biomassza megoszlásának szezonális és évek közötti változása /Bugacpuszta, 2002-2004/

Bugacon az elkerítés után (2002. július) a nem legelt területen begyűjtött földfeletti biomassza mennyisége minden évben és vegetációs időszakban meghaladta a legelt (kontroll) gyep FFB-jét (69. ábra). Az eltérés fő oka, hogy az extenzíven legelt gyepben képződött biomassza egy részét a szürkemarhák elfogyasztották és a legelő állatok bél- és kiválasztó rendszerén keresztülhaladó tápláléknak csak egy része jutott vissza a rendszerbe, gazdagítva annak szerves- és ásványianyag tartalmát. A legeltetés kizárása Bugacon nem járt együtt a fitomassza rövidtávú, jelentős csökkenésével (az extrém száraz 2003-as évet leszámítva), ami ellentétes VIRÁGH & BARTHA (1996) löszvegetáció vizsgálata során kapott eredményével. Bugacon az évek közötti különbségeket és az éves primer produkciókat összehasonlítva jól látható az eltérő időjárású évek – ezen belül is döntően a csapadékmennyiségének és eloszlásának – hatása az FFB-re. A FFB mindkét időszakban és

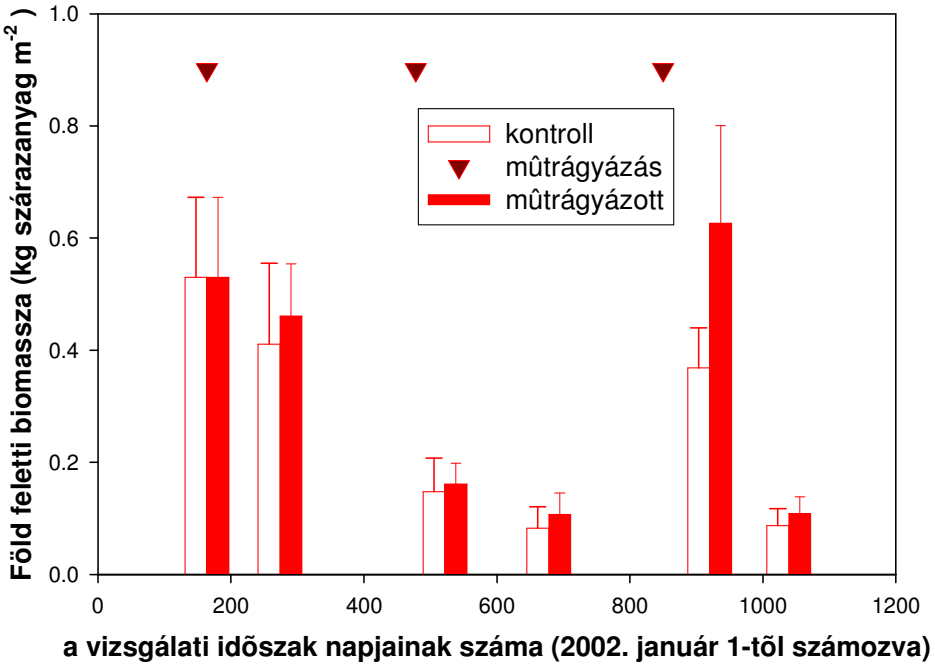
állományban a cönológiai degradációval (fajszám, diverzitás és borítás jelentős csökkenése) is jellemezhető szárazságstresszelt évben volt a legalacsonyabb, ami ellentmond WU & LOUCKS (1992) azon állításának, hogy a gyepek degradációja során először az állomány primer produkciója csökken, majd ezt követi a fajkompozíció megváltozása. A legeltetés és a legeltetési ráta biomasszát jelentősen befolyásoló hatása miatt Bugacon természetesen a legeltetéstől elkerített állomány adatai jelzik objektívebben a változásokat. A bugaci nem legelt állomány éves primer produkciója 2002-ben közel fél kilogramm szárazanyag volt négyzetméterenként (0,487 kg m^{-2}), mely a 2003-as szárazságstresszelt évben közel 40%-kal csökkent (0,295 kg m^{-2}), míg 2004-ben az előző évinek közel két és félszeresére nőtt (0,723 kg m^{-2}). Ezen értékek az észak-amerikai préri típusok közül – ARCHIBOLD (1995) és KNAPP *et al.* (1998) adatai szerint – a magasfüvű préri ANPP értékeihez állnak a legközelebb és annak évek közötti variabilitásával fednek át a legnagyobb mértékben. A csapadékos 2004-es esztendőben a közel átlagos csapadék-összmennyiségű és eloszlású évhez (2002) képest másfélszeresre emelkedett a primer produkció. A legelt területen a trend megegyezett az elkerített állománynál leírtakkal, de az éves FFB összegek eltérései még jelentősebbek voltak, mivel a 2003-as primer produkció (0,121 kg m^{-2}) csak egyharmada volt a kiindulási évben mértnek (0,372 kg m^{-2}) és a 2004. évi FFB (0,355 kg m^{-2}) közel háromszorosa volt az előző évinek. A két típus évek közötti különbségei elsősorban a legeltetési ráta mértékének változásával magyarázható. Az éves csapadékmennyiség növekedésével az ANPP mindkét bugaci állományban nőtt, ami igazolja HUXMAN *et al.* (2004) több észak-amerikai biom vizsgálata alapján megfogalmazott állításának érvényességét a hazai homoki gyepekre is. A különböző időszakok primer produkciójának évek közti dinamikáját vizsgálva kijelenthető, hogy 2003-ban mind ősszel, mind tavasszal lecsökkent 2002-höz képest az FFB, de tavasszal az évi összmennyiség változásához viszonyítva kisebb mértékben (nem legelt: -30%, legelt: -61%). Ezzel szemben 2003-ban a vegetációs időszak végén begyűjtött FFB redukciójának mértéke a kedvezőbb csapadékviszonyok ellenére mindkét gyepben meghaladta (nem legelt: -54%, legelt: -72%) az évi primer produkció eltéréseit. 2004-ben a biomassza gyarapodása döntően a tavaszi időszak kiemelkedően magas primer produkciójának köszönhető, amely mindkét típusban kb. 3,5-ször múlta felül a 2003. év tavaszi produkcióját, valamint a nem legelt gyep esetén többszöröse volt a 2002. tavaszi FFB-nek is. Ennek a CO_2-fluxus értékeknél is megfigyelhető intenzív növekedésnek köszönhető (bár a legelt gyepben 2004. őszén is 2,4-szer több biomassza lett begyűjtve, mint 2003-ban, míg a nem legeltben csak 88%-kal), hogy míg 2002. és 2003. őszén a begyűjtött FFB átlagos mennyisége mindkét típusnál felülmúlta a tavaszit, addig 2004-ben ez a két állományban fordítva történt. A bugaci ANPP adatok 2003 és 2004 között számított szignifikáns ($P<0,005$) eltérése összhangban van az adott két évre NAGY *et al.* (2007b) által EC fluxus mérésekből kalkulált szignifikáns NEE különbséggel, valamint a mért fluxusokat alátámasztja primer produkció adatokkal.

A bugaci állományok potenciális produktivitási rátájának (melynek értékei kiegyenlítik a különböző vágási időpontokból adódó különbségeket a biomassza esetében) évek közötti variabilitása hasonló az FFB-nél megfigyelt eltérésekhez és jól korrelál az adott év csapadékmennyiségével (70. ábra). A tavaszi időszak PPP-jének évek közötti eltéréseit vizsgálva a két állománynál minden alkalommal nagyobbak voltak az eltérések (növekedés vagy csökkenés), mint az FFB-nél említett, míg az őszi időszakban egy kivételtől (nem legelt 2003 vs. 2004. ősz) eltekintve kisebbek. Az FFB egységnyi idő alatt felhalmozódó növekménye, azaz a PPP mindkét gyeptípusban és mindhárom évben magasabb volt a tavaszi, mint az őszi időszakban. A szezonális eltérések legkisebb különbségét a nem legelt gyepnél 2003-ban (6%), a legeltnél 2002-ben (78%), míg a legnagyobb mértékűt mindkét állománynál 2004-ben kaptuk (nem legelt: 370%, legelt: 500%).



70. ábra: A növényzet potenciális produktivitásának (PPP) időbeli dinamikája /Bugacpuszta, 2002-2004/

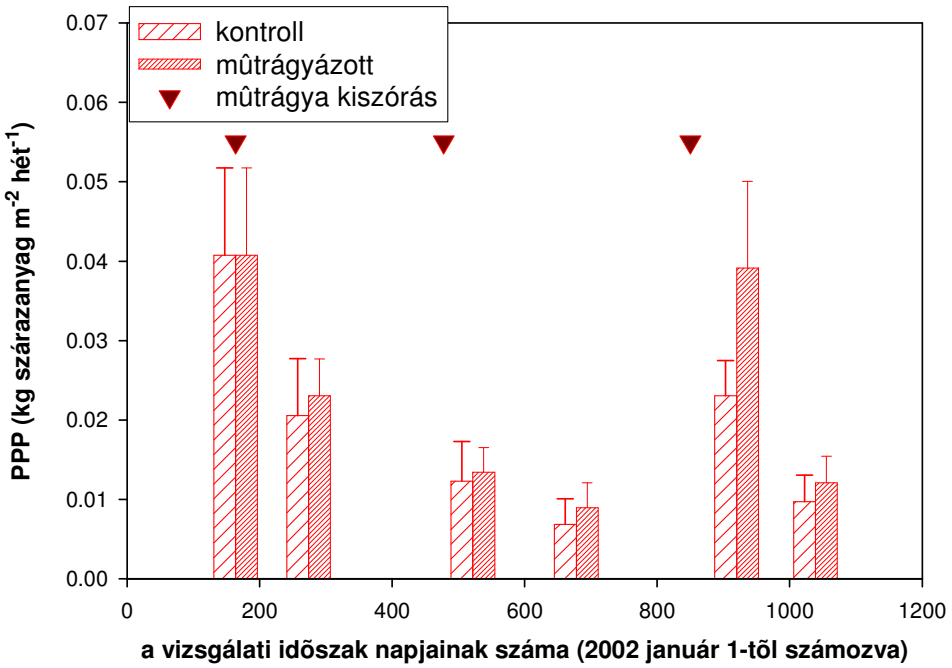
Ez az eredmény különösen 2003-ban meglepő, amikor a vegetációs periódus második fele csapadékosabb volt, de egyben jelzi a hazai gyepek kettős növekedési ciklusának eltérő intenzitását. Annak ellenére, hogy a tavaszi jelentős primer produkciót az első vágást követő (2002. és 2003: május, 2004. június), a vegetációs időszak végéig tartó FFB képződés több évben is meghaladta, a második növekedési ciklus intenzitása mindkét típusban és minden évben elmaradt a tavaszitól. Ennek oka, hogy a második növekedési ciklus során a produkció időben elnyújtva, több hónap (akár félév) alatt képződött.



71. ábra: A föld feletti biomassza megoszlásának szezonális és évek közötti változása /Isaszeg, 2002-2004/

Isaszegen a kezelés után (2002. június) a műtrágyázott állomány FFB-je minden évben és vegetációs időszakban meghaladta a kontroll gyep földfeletti biomassza mennyiségét (71. ábra), de az eltérés csak 2004. tavaszán szignifikáns (P<0,005) a csapadéktöbblet miatt. A többi időszakban a csapadékhiány (2002. ősz, 2003), illetve az intenzív növekedés következtében fellépő negatív visszacsatolás (2004. ősz) – a forráshiány miatt, mivel a nitrogén limitáció JACQUEMYN *et al.* (2003) szerint a legnagyobb mértékű növekedés idején a legerősebb – okozta a minimális biomassza eltéréseket a két állomány között. Az eltérő időjárású évek befolyása az FFB-re a bugaci gyepekhez hasonlóan itt is jól megfigyelhető. Több, a magasfüvű prérin folytatott vizsgálat (pl. ARCHIBOLD 1995, KNAPP *et al.* 1998) kimutatta a nitrogén pótlás ANPP-t jelentősen növelő hatását, melyet Isaszegen csak a 2004-es csapadékos esztendőben tapasztaltunk. A szárazság produkció limitáló hatása – mely más kísérletekhez hasonlóan (HOOK & LAUENROTH 1994, NAGY *et al*. 2007a) szinte teljesen eltűnteti a különbséget a kezelt és a kontroll állomány biomasszája között – jól megfigyelhető a 2003-as biomassza értékeknél, akárcsak a túlzott növekedést – N-hiány miatt – követő negatív „feed-back" mechanizmusa 2004. őszén, amikor az FFB átlagok messze elmaradtak a 2002. őszitől és alig haladták meg a 2003. évit. 2002-ben az FFB összmennyisége közel egy kilogramm szárazanyag volt négyzetméterenként (kezelt: 0,991; kontroll: 0,941), mely 2003-ra kb. egynegyedére csökkent (kezelt: 0,268; kontroll: 0,229), majd az előző évinek közel háromszorosára nőtt a műtrágyázott (0,735) és kétszeresére a kontroll (0,456) állományban. A vizsgált hazai löszállományok ANPP értékei, az észak-amerikai préri típusok közül – ARCHIBOLD (1995) és KNAPP *et al.* (1998) adatai szerint, a homoki legelőhöz hasonlóan – a magasfüvű préri ANPP értékeihez állnak a legközelebb és annak évek közötti variabilitásával fednek át a legnagyobb mértékben. A 2004-es szignifikáns FFB növekedés (P<0,005) ellenére a 2002-ben begyűjtött összes produkció felülmúlta az utolsó évit. Ennek magyarázata, hogy a 2002-ben levágott biomassza részben még az előző évek produktumát is tartalmazta, hiszen a vizsgálati területen korábban nem végeztek rendszeres biomassza vágást. A homoki legelővel ellentétben minden vizsgált évben és mindkét isaszegi állományban a tavaszi FFB értékek felülmúlták az őszi földfeletti biomassza mennyiségét. Ez egyben a löszgyep homoki legelőtől eltérő struktúrájával és fajkészletével is magyarázható, mivel a löszgyep magasabb fajszáma és átlagmagassága, illetve strukturáltabb szerkezetéből adódó erősebb kompetíciója miatt itt még intenzívebb a tavaszi primer produkció növekedése. Ezt a vegetációs szezon hátralevő részében képződő biomassza mennyiség csak megközelíteni tudja, függetlenül az adott év csapadékmennyiségétől és eloszlásától. A különböző időszakok primer produkciójának évek közti dinamikáját vizsgálva kijelenthető, hogy az évi összmennyiség változásához képest 2003. tavaszán mindkét típusban némiképp kisebb (kezelt: -70%; kontroll: -72%), míg ősszel (kezelt: -77%; kontroll: -80%) valamivel nagyobb mértékben csökkent az FFB a kiindulási évhez képest. Ezzel szemben a csapadékos 2004-es évben tavasszal a műtrágyázott állomány FFB-je közel négyszerese (389%), a kontrollé két és félszerese (251%) volt a 2003. tavaszinak, ami a primer produkció éves növekedését jelentősen meghaladta, különösen a műtrágyázott gyep esetében, továbbá megfigyelhető az NEE évek közötti dinamikájánál is. Az említett negatív visszacsatolás miatt a 2004. őszén begyűjtött biomassza tömege csak minimális mértékben haladta meg a 2003. őszi produkcióét (kezelt: +2%; kontroll: +6%). A bugaci gyephez hasonlóan az éves biomassza 2004. évi szignifikáns gyarapodása a tavaszi időszak kiemelkedően magas primer produkciójának köszönhető. Mindkét állománynál 2004-ben figyelhető meg a legnagyobb szezonális eltérés a begyűjtött biomassza esetén (tavaszi FFB a kezeltnél 5,7-szerese, a kontrollnál 4,2-szerese volt az őszinek), míg a legkisebb 2002-ben (kezelt 1,15-ször, kontroll 1,29-szer több tavasszal).

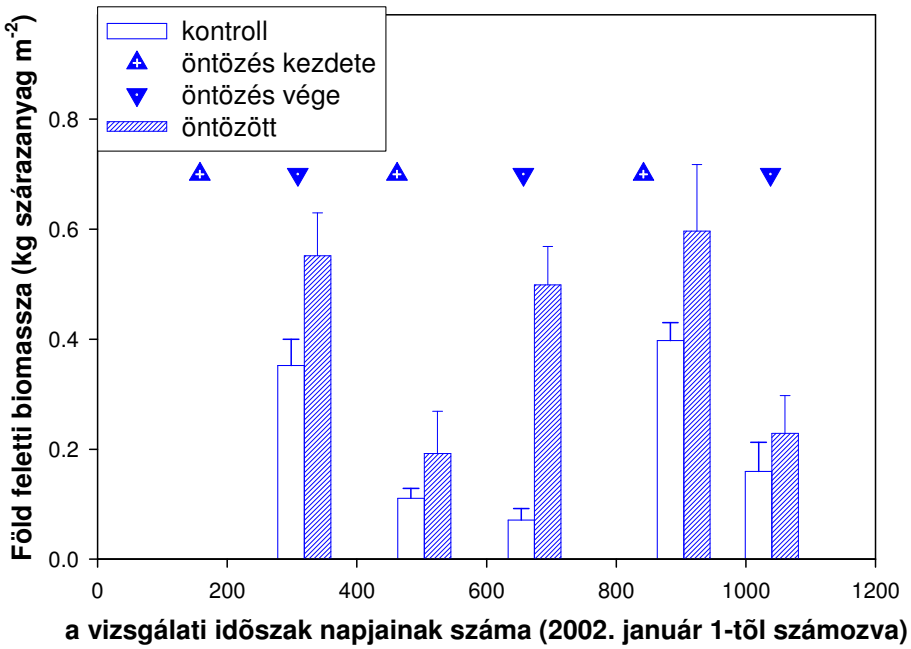
A két isaszegi állomány PPP átlagai és szórásai jól korrelálnak az FFB-nél megfigyelt dinamikával (72. ábra). A potenciális növekedési ráta esetében a műtrágyázott állomány átlagértéke is minden alkalommal meghaladta a kontrollét, illetve mindkét típusnál a tavaszi növekedési ráta felülmúlta az őszi időszakét. Kisebb eltérések az évek közötti és szezonális változások arányainál figyelhetők meg.



72. ábra: A növényzet potenciális produktivitásának (PPP) időbeli dinamikája /Isaszeg, 2002-2004/

Az évek azonos időszaka közötti változásokat vizsgálva megállapítható, hogy tavasszal a kezelt és a kontroll gyepnél egyaránt minden alkalommal kisebb volt a PPP átlagok eltérése (2003-ban csökkenés, 2004-ben növekedés), mint az FFB-nél. Szembetűnő különbség egyedül 2003. és 2004. tavasza között figyelhető meg, amikor a kezelt gyep PPP-je 292%-a (FFB-nél 389%), a kontrollé „csak" 188%-a (FFB-nél 251%) volt az előző évinek. Ennek elsődleges oka, hogy 2004-ben kissé kitolódott a biomassza begyűjtés (2004. július), melynek következtében az FFB mennyisége vágás előtti hetekben már nem változott lényegesen és ez csökkentette az intenzív növekedés átlagát. A PPP őszi időszakának dinamikáját vizsgálva 2003-ban mindkét gyepben kismértékben alacsonyabb volt a növekedési ráta visszaesése, mint az FFB-é, míg 2004-ben szignifikánsan ($P<0,005$) magasabb eltéréseket számítottunk a kezelt (PPP: 135%, FFB: 102%) és a kontroll (PPP: 141%, FFB: 106%) állományban egyaránt, elsősorban az első és a második vágás közti időszak – már említett okok miatti – lerövidülése következtében. A PPP szezonális változásainak mértéke 2002-ben nagyobb (azaz a tavaszi időszak növekedési rátája jelentősebben felülmúlta a második gyarapodási ciklusét, mint az FFB-nél), míg 2004-ben – a fenti okok miatti – kisebb volt mindkét állományban az FFB-hez képest. Ezzel szemben 2003-ban az éven belüli eltérések mértéke megegyezett a PPP és az FFB esetében.

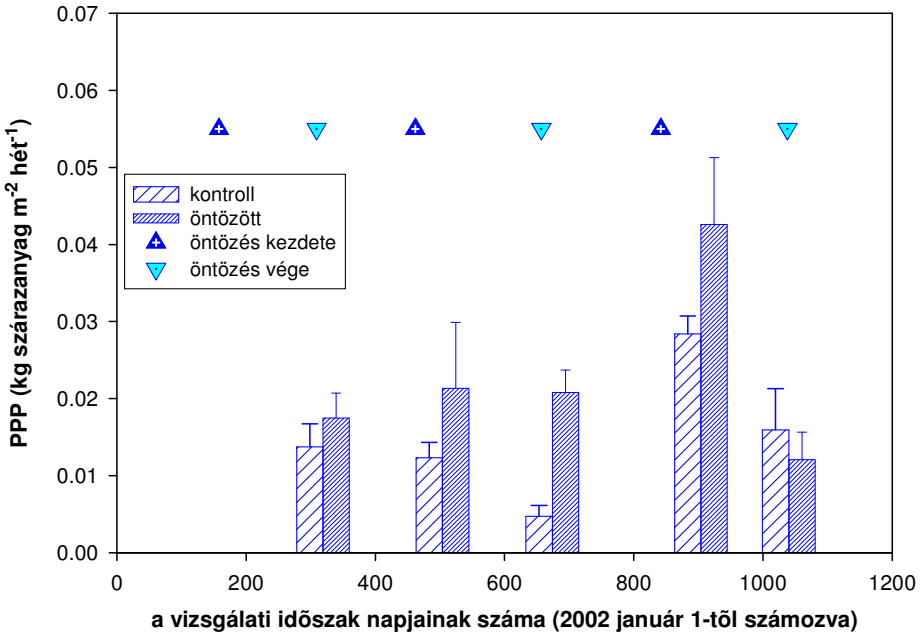
Gödöllőn a másik két objektumtól eltérően 2002-ben csak az őszi időszakban vágtuk le a biomasszát. Ennek oka, hogy a löszgyep monolitok transzplantációja 2002. tavaszán történt, így egyrészt időt kellett hagynunk a gyep regenerációjának. Ezen kívül egy esetleges tavaszi biomassza vágás a gyep fitnesszét olyan mértékben csökkenthette volna, ami a későbbi vizsgálatok kiértékelhetőségét kérdőjelezi meg. Gödöllőn az öntözött állomány FFB-je minden évben és vegetációs időszakban meghaladta a kontroll gyep földfeletti biomassza mennyiségét (73. ábra), de a kezelt gyepben begyűjtött produkció csak 2003. őszén volt többszöröse (hétszerese) a kontrollnak, az öntözés által biztosított optimális SWC miatt. Az öntözött vegetáció 2003. tavaszi relatíve kismértékű – a 2003. őszinél kisebb – produkciója és az ebből adódó csekélyebb eltérés a két típus között (+73%), döntően a gyep többi évhez képest egy hónappal korábbi vágásával (2003. május 19.), valamint a fajkompozíció és a dominancia viszonyok jelentősebb átrendeződésével magyarázható.



73. ábra: A föld feletti biomassza megoszlásának szezonális és évek közötti változása / Gödöllő, 2002-2004/

2004. első intenzív növekedési időszakában a kezelt gyep mindössze másfélszeres produkció többlete a csapadékos klímával magyarázható, mely a kontroll állománynál minimalizálta a szárazságstresszt és szintén kedvező talajnedvesség viszonyokat biztosított. A 2004. őszén mindkét típusnál észlelhető kisebb produkcióját az NEE-nél már említett tavaszi intenzív föld feletti biomassza növekedés – mellyel N pótlás hiányában nem volt képes lépést tartani a gyökérzet növekedése –, illetve az ezt követő negatív visszacsatolás okozta. Az eltérő időjárású évek az öntözött gyepnél kisebb mértékben befolyásolták az FFB évek közötti eltéréseit, mint a kontrollnál (a kezelés részleges forráspótlása miatt), ezért a szárazság produkció limitáló hatása főként – de nem kizárólagosan – a kontroll állománynál észlelhető. 2002-ben az FFB összmennyisége a transzplantáció negatív hatása miatt a kezelt gyepben kb. fél kilogramm (0,552), a kontrollnál 0,352 kilogramm szárazanyag volt négyzetméterenként, mely értékek az isaszegi állományokénál jóval kisebbek. Az első évi értékek a gyors adaptáció és a kezelés pozitív hatása miatt az öntözött gyepnél negyedével nőtt (0,691), míg a kontrollnál a szárazságstressz következtében közel felére (0,182) csökkent. A legnagyobb éves produkció értékeket mindkét állománynál 2004-ben kaptuk, mely a kezelt gyepnél az előző évinél egyötödével, 2002-höz képest másfélszeresével nőtt (0,826). A kontroll gyep utolsó évi biomassza produkciója jelentősebben emelkedett a 2003. évinek több mint háromszorosára, a kiindulási évhez képest pedig több mint másfélszeresére (0,557). Az éves csapadékmennyiség növekedésével az ANPP mindkét gödöllői állományban – a kezelés meglététől vagy hiányától függetlenül – nőtt, ami igazolja HUXMAN *et al.* (2004) több észak-amerikai biom vizsgálata alapján megfogalmazott állításának érvényességét a hazai löszgyepekre is. A gödöllői kontroll állománynál a tavaszi produkció mindkét évben (2003 és 2004) felülmúlta az őszit, míg a kezelt gyepnél ez csak 2004-re igaz, mivel 2003-ban ennek ellentétje figyelhető meg a már említett okok miatt. Az utolsó két év különböző időszakainak FFB változását vizsgálva 2004. tavaszán az öntözött és a kontroll gyepnél egyaránt több mint háromszoros (kezelt: 311%, kontroll: 358%) növekedés tapasztalható. Ősszel a kezelt állomány biomasszája felére csökkent az előző évinek (-54%) – a JACQUEMYN *et al.* (2003) által is említett nitrogén limitáció miatt –, míg a kontroll típusnál a tavaszihoz hasonló mértékű gyarapodás (225%) detektálható. A szezonális változások közül a tavaszi FFB értékek az öntözött gyepnél 2003-ban csak kétötödét (39%), 2004-ben több mint két és félszeresét (260%) képezték az őszi biomasszának, míg a

kontrollnál 2003-ban több mint másfélszeresét (156%), 2004-ben – a kezelt típushoz hasonlóan – közel két és félszeresét (248%) alkották.

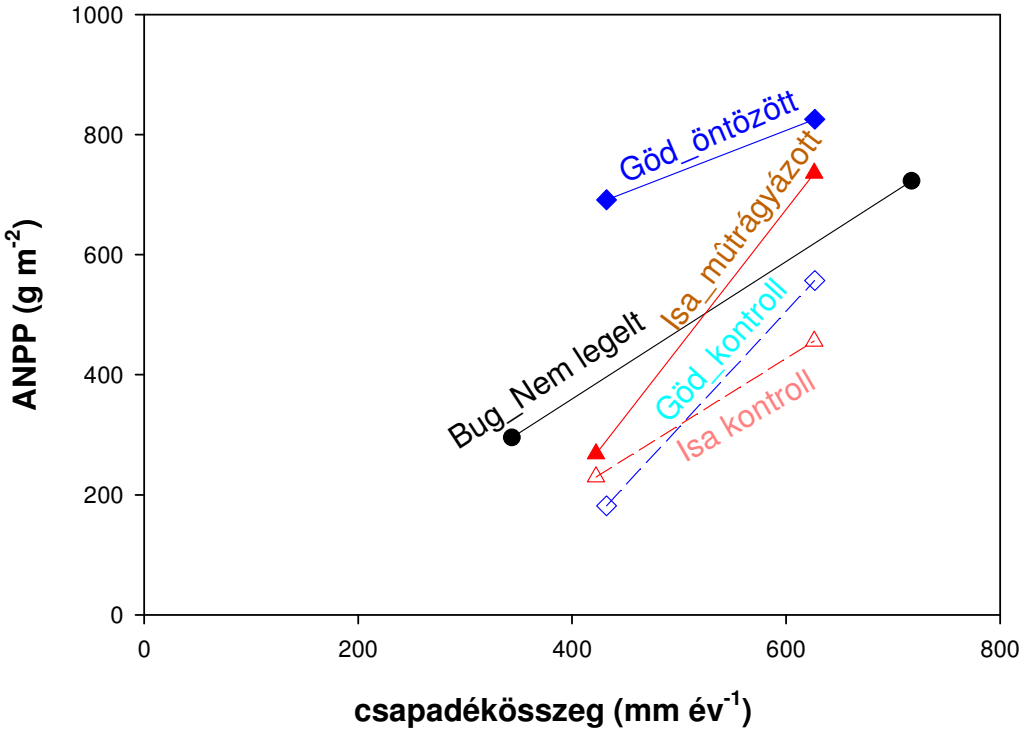


74. ábra: A növényzet potenciális produktivitásának (PPP) időbeli dinamikája /Gödöllő, 2002-2004/

Gödöllőn a PPP átlagok szezonális dinamikája és arányai csak részben egyeznek az FFB változásaival (74. ábra). Az egyik legmarkánsabb eltérés, hogy a potenciális növekedési ráta átlaga a kontroll gyepben 2004. őszén felülmúlta a kezelt állományét, ami utóbbi típus feltehetően nagyobb vagy tartósabb forráshiányát jelzi. További lényeges eltérés, hogy a növekedés tavaszi intenzitása a PPP esetében minkét állománynál és minden évben meghaladta az őszi időszakét, ami a kezelés ellenére a vegetációs időszak első felének változatlanul intenzívebb produkció gyarapodását jelzi. Az FFB-hez képest az évek közötti és szezonális változások arányai a PPP-nél minden alkalommal eltértek. A vizsgálati ciklus utolsó két évének azonos időszaka közti változásokat vizsgálva megállapítható, hogy az öntözött állománynál a potenciális növekedési ráta tavaszi növekedése (PPP: +100%, FFB: 211%) és őszi csökkenése (PPP: -42%, FFB: -54%) egyaránt kisebb volt, akárcsak a tavaszi időszakban a kontroll gyepnél (PPP: +130%, FFB: +258%). Az eltérések elsősorban a kezelés produkció-képződésre gyakorolt pozitív hatásával (főként tavasszal), illetve emiatt a megszokott intenzív növekedési ciklus meghosszabbodásával magyarázható. Ezzel szemben a kontroll állomány őszi időszakában a PPP változása meghaladta a biomasszáét (PPP: +237%, FFB: +125%). A PPP szezonális változásainak mértéke – azaz a tavaszi értékek aránya az őszihez viszonyítva – az öntözött gyepnél 2003-ban eltérő jellegű volt (PPP: +3%, FFB: 0,39%-a), míg 2004-ben felülmúlta az FFB-jét (PPP: 3,5-ször; FFB: 2,6-szor több). A kontroll gyepnél 2003-ban a potenciális növekedési ráta meghaladta az FFB szezonális eltérését (PPP: 2,6-szor; FFB: 1,56-szor nagyobb tavaszi átlag), míg 2004-ben elmaradt a primer produkció változásától (PPP: 1,78-szor ; FFB: 2, 48-szor több) .

5.7.2. Az éves nettó primer produkció (ANPP) időbeli változása

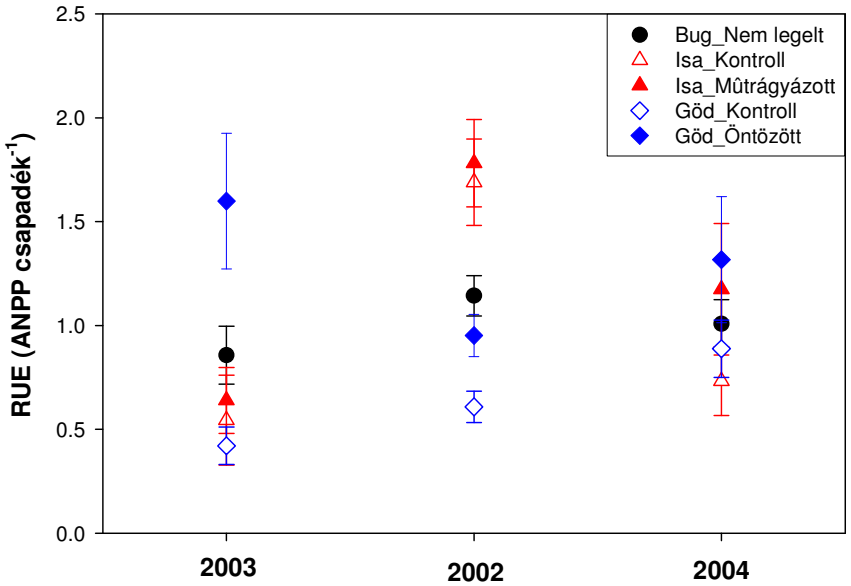
Mind a szárazságstresszelt 2003-as, mind az átlagosnál csapadékosabb 2004-es évben a gödöllői öntözött löszgyep ANPP-je volt a legmagasabb, ami igazolja azon állításokat, hogy a csapadéktöbbletnek (VARNAMKHASTI *et al.* 1995), az aktuális vízviszonyoknak (KNAPP *et al.* 1998), illetve a talaj csapadékmegtartó képességének (JENNY 1980) van a legjelentősebb, pozitív hatása az ANPP-re. A vizsgált öt homoki és löszgyep állomány (a bugaci legelt gyep összehasonlítása nem volt releváns) közül az éves nettó primer produkció az extrém száraz 2003-as év és az átlagosnál csapadékosabb 2004-es év között legnagyobb mértékben a gödöllői kontroll állománynál növekedett (75. ábra), több mint háromszorosára (306%). Az isaszegi műtrágyázott állománynál a kezelés miatt közel háromszorosára (274%), a bugaci legeltetéstől elkerített gyepben két és félszeresére (245%), míg az isaszegi kontroll típusnál kétszeresére (199%) emelkedett az ANPP. A kezelés szárazságstresszt limitáló hatása miatt a gödöllői öntözött gyep produkció gyarapodása volt a legkisebb mértékű (20%), de ez a változás egyben jelzi, hogy a 2003. évi aszály még az öntözött állomány biomassza növekedését is negatívan befolyásolta. Ennek feltehető oka, hogy a gyepet döntően C_3-as fajok uralják, melyek sztómazáródása (a déltáji alacsony RH miatt) csökkentette a produkciót 2003-ban.



75. ábra: A föld feletti éves nettó primer produkció (ANPP) összehasonlítása száraz és átlagosnál csapadékosabb évben, *Cynodonti - Festucetum pseudovinae* és kétféle kezelésű *Salvio-Festucetum rupicolae* társulásban /2003, 2004/

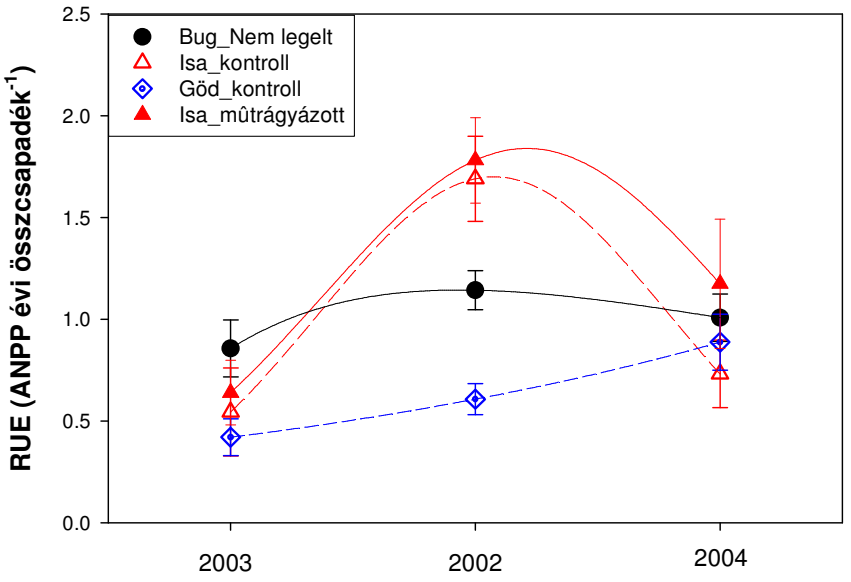
A megváltoztatott kezelésű gyepek közül tehát legnagyobb mértékben a műtrágyázott, majd a legeltetéstől elkerített, míg legkevésbé az öntözött állomány éves primer produkciója növekedett 2004-ben. A 2003. évi aszály hatását vizsgálva a referencia évhez képest (2002) egyedül az öntözött állomány biomasszája nem csökkent, a kezelés vízhiányt elimináló hatása miatt, sőt negyedével (25%) növelte az FFB össztömegét (73. ábra). A szárazságstressz legnagyobb mértékben az isaszegi állományokat terhelte (kontroll FFB: -76%; műtrágyázott FFB: -73%) /71. ábra/, míg a gödöllői kontroll (-48%) és a bugaci nem legelt (-39%) /69. ábra/ gyep földfeletti biomasszáját kisebb mértékben csökkentette.

5.7.3 A csapadékhasznosítási hatékonyság (RUE) időbeli dinamikája



76. ábra: A csapadékhasznosítási hatékonyság (RUE)
évek közötti variabilitása egy csapadék grádiens mentén /2002-2004/

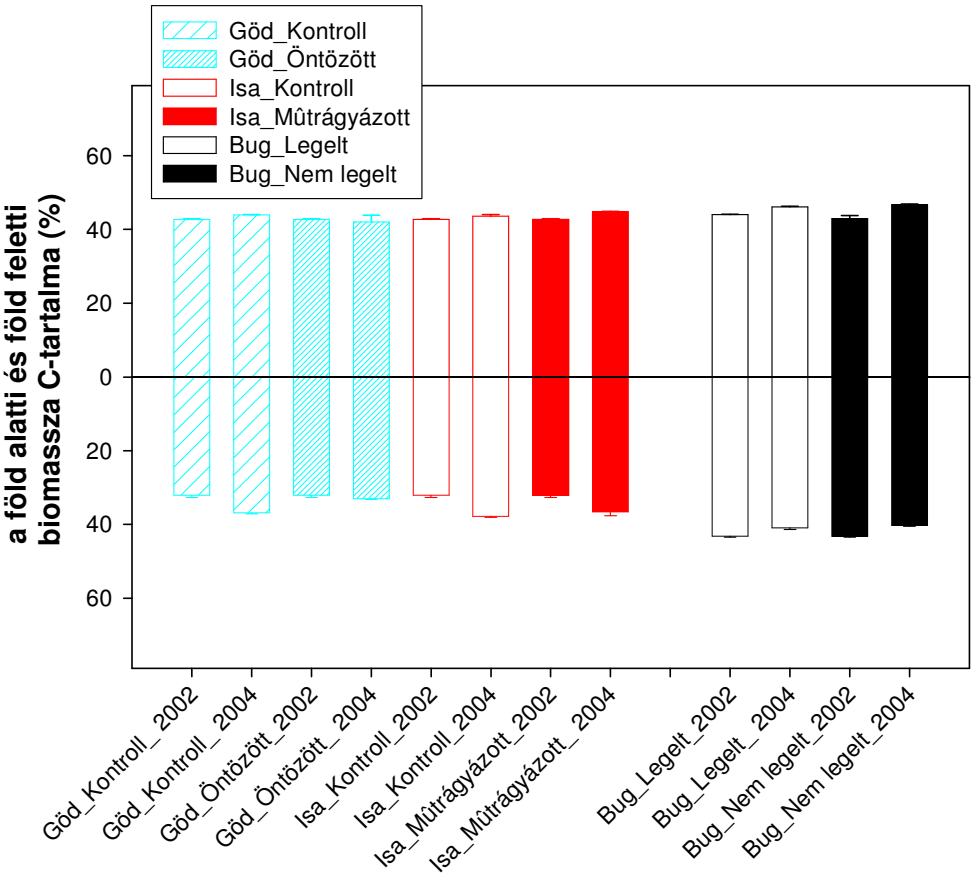
A klimatikus eltérések lehetővé tették a biomassza növekedés és a csapadékmennyiség közötti összefüggés vizsgálatát egy csapadék grádiens mentén (76. és 77. ábra). A csapadékhasznosítási ráta (éves föld feletti nettó primer produkció/évi csapadékösszeg; részletesebben lásd HUXMAN *et al.*, 2004) a gyeptípusok közül csak a gödöllői kontroll gyepnél növekedett közel egyenletesen, a két isaszegi, illetve a bugaci kontroll állománynál 2002-ben érte el a maximumát, míg az öntözött típusnál – a többi gyeppel ellentétben – 2002-ben volt a legalacsonyabb (76. ábra). Az aszály az öntözött állományt kivéve minden típusban jelentősen csökkentette a RUE-t, míg a 2004. évi csapadéktöbblet csak a gödöllői állományok csapadékhasznosítási hatékonyságát növelte, de a vizsgált gyepek közül csak a gödöllői kontroll állományban számítottuk 2004-ben a legmagasabb RUE értéket.



77. ábra: A csapadékhasznosítási hatékonyság (RUE)
évek közötti variabilitása és görbéje egy csapadék grádiens mentén /2002-2004/

Mind a négy vizsgált állomány esetén három eltérő jellegű, de egyformán tökéletes (r^2=1) nem lineáris típusú illesztést kaptunk a RUE esetén (77. ábra). Az isaszegi műtrágyázott és kontroll állomány csapadékhasznosítási értékeire három paraméteres Gauss-görbe, a bugaci nem legelt gyepnél lognormál eloszlású haranggörbe (3 paraméteres), míg a gödöllői kontroll típusnál exponenciális növekedési görbe (3 paraméteres) adta a legjobb, szignifikáns (P<0,001) összefüggést. A RUE tehát a vizsgált állományok többségénél telítődés jellegű – hasonlóan a HUXMAN *et al.* (2004) által vizsgált észak-amerikai biomokhoz –, azaz a hazai gyeptípusoknál jellemzően az átlagoshoz közeli csapadékmennyiség ideális a produkció optimális növekedéséhez. A földhasználati változások közül a műtrágyázás csak kismértékben növelte meg a RUE értékeket, míg az öntözött gyep RUE értékei 2002-ben és 2003-ban is szignifikánsan (P<0,005) meghaladták a kontroll állományét.

5.8 A biomassza elemtartalmának rövidtávú változása, továbbá eltérései a kezelések következtében



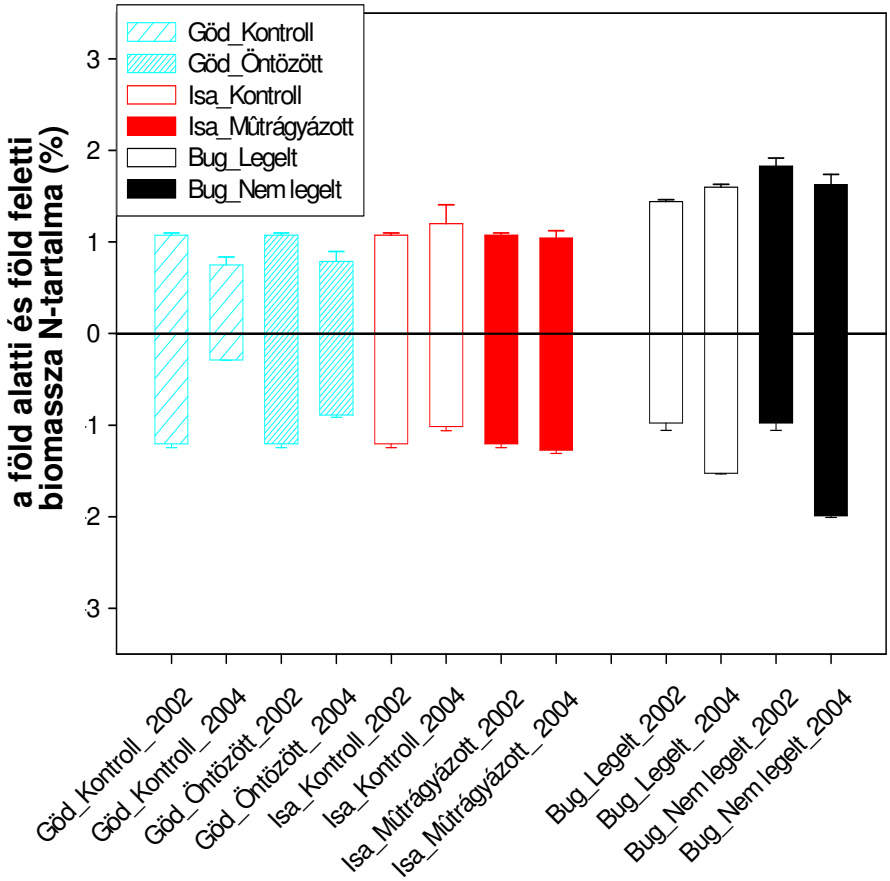
78. ábra: A biomassza C-tartalmának alakulása homoki- és löszgyepben, eltérő földhasználati változások mellett /2002, 2004/

A biomassza széntartalmát a kiindulási és az utolsó vizsgált évben összehasonlítva kijelenthető, hogy a földhasználati módtól függetlenül csak szűk tartományban változott, különösen a föld feletti biomassza esetében (78. ábra). Bugacon a két év alatt 2004. őszén mindkét állomány föld feletti hajtásában kismértékben magasabb, míg gyökérzetében valamivel alacsonyabb C-tartalmat mértünk. Az eltérés mértéke egyformán a legeltetéstől elkerített állományban volt jelentősebb (nem legelt FFB: +9%, FAB: -7%; legelt FFB: +5%, FAB: -5%). Az évi kétszeri biomassza gyűjtések (a vizsgálati ciklusban összesen 6 minta) átlagát és szórásait összehasonlítva azt tapasztaltuk, hogy a hajtások és gyökerek átlagos széntartalma a nem legelt gyepben 1%-kal kisebb (FFB: 42,5%, FAB: 36,1%). A legeltetéstől

elkerített állományban az FFB szórása minimálisan alacsonyabb (0,2%-kal, CV: 6,9%), míg a FAB-é magasabb volt (5%-kal, CV: 18,4%) a legelt típushoz képest. Az évek közötti dinamikát vizsgálva eltérő jellegű változások figyelhetők meg mindkét állományban, kivéve a gyökérzet C-tartalma esetében, mely 2003-ban mindkét gyepben jelentősen lecsökkent (a nem legelt gyepnél 2003. őszén több mint harmadával 26,3%-ra az egy évvel korábbi értékhez képest), majd 2004-ben mindkét időszakban jelentősen emelkedett (a nem legelt gyepnél 2004. őszén másfélszeresére). Az említett, klimatikus eltérésekkel is jól korreláló változások magyarázata, hogy 2003-ban az aszály átvészeléséhez jelentős C-allokációra volt szükség a gyökerekből a hajtások felé, míg a csapadékos évben (2004) a folyamat ellentétes irányban játszódott le, azaz intenzív reallokációval növelték a különböző taxonok a gyökérzet széntartalmát, mely nélkülözhetetlen túlélési stratégia a biotikus vagy abiotikus stressz átvészeléséhez.

Isaszegen a föld feletti hajtások átlagos széntartalma nagyobb, a gyökérzeté kisebb volt, mint a bugaci állományokban. Isaszegen a műtrágyázott állomány FFB-jének C-tartalma 5%-kal, a kontrollé 2%-kal nőtt 2002. és 2004. júniusa között, míg a gyökérzeté szintén emelkedett a kezelt gyepben 14%-kal, a kontroll típusban 18%-kal. A föld alatti biomassza szervesanyag-tartalma, tehát jelentősebben bővült mindkét típusnál. A két állomány begyűjtött mintáinak átlagait és szórásait összehasonlítva megállapítottuk, hogy az FFB C-tartalma átlagosan 2%-kal több (CV: 5,1%, 0,6%-kal kisebb), a FAB-é pedig 23%-kal kevesebb (CV: 24,9%, 13%-kal nagyobb) a kezelt gyepben. A gyökérzet széntartalmának eltérése abból adódik, hogy a FAB esetében mindkét típusnál megfigyelt 2003. évi csökkenés – a bugaci állományokhoz hasonlóan és az ott említett okok miatt – nagyobb mértékű volt a műtrágyázott gyepben (2003. tavaszán -20% 2002. júniusához képest), mint a kontrollban (2003. tavasz: -11%). A FAB C-tartalma a homoki legelővel egyezően itt is növekedett 2004-ben. A hajtások relatív szervesanyag-tartalma a kezelt állományban tavasszal és ősszel (kivéve 2003) folyamatosan nőtt akárcsak a kontroll gyep tavaszi (kivéve 2004) és őszi időszakában. A szezonális eltérések közül feltűnő, hogy ősszel mindkét gyepnél magasabb volt a hajtások C-tartalma a tavaszi időszakhoz képest. Ez egyben arra is utal, hogy a föld feletti képletek szén reallokációja csak a raktározó képletek telítődéséig folytatódhat és a képződött szervesanyag egy része avarként bomlik le.

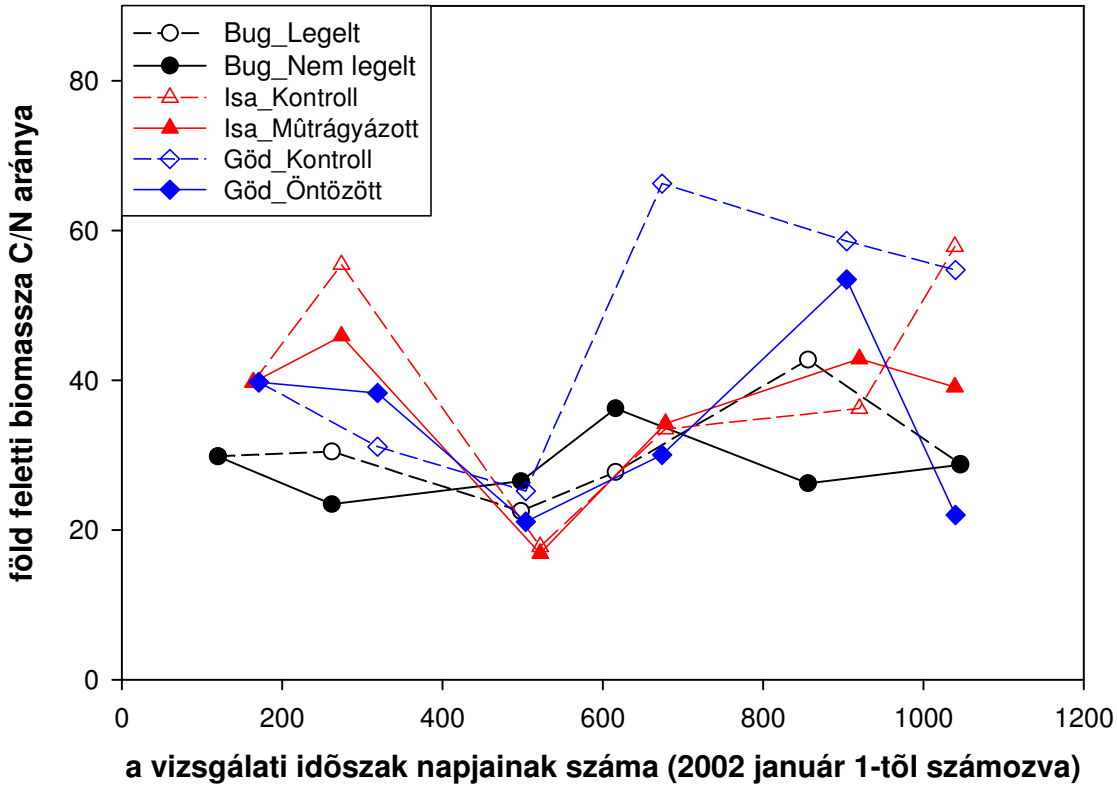
Gödöllőn a hajtások átlagos C-tartalma a bugaci állományoknál nagyobb, az isaszegieknél kisebb volt, míg a gyökerek az isaszegi kontroll típusnál kevesebb, de a műtrágyázottnál több szenet tartalmaztak. A kiindulási értékekhez képest 2004. tavaszára az öntözött gyep FFB-jének C-tartalma 2%-kal csökkent, ellenben a kontroll állományé 3%-kal nőtt (78. ábra). A gyökérzetnél mindkét típusban relatív növekedés figyelhető meg, melynek mértéke az öntözött állománynál jóval kisebb volt (+3%), mint a kontroll gyepben (+15%). A különböző évek mintáinak átlagát összevetve megállapítottuk, hogy az öntözés nagyobb szórás mellett (+2%, CV: 6,3%) kismértékben csökkentette a hajtások relatív C-tartalmát (-2%), de – a kontrollhoz képest kisebb szórással (-12%, CV: 10,7%) – minimálisan növelte a raktározó képletek szervesanyag mennyiségét (+1%). Az isaszegi állományokhoz hasonlóan a hajtásoknál mindkét gödöllői gyeptípusban és minden évben meghaladta az őszi C-tartalom a tavaszit. További egyezés, hogy az öntözött állomány esetén a gyökérzetben és a hajtásokban 2003-ra lecsökkent a C-tartalom, majd 2004-ben emelkedett.



79. ábra: A biomassza N-tartalmának alakulása homoki- és löszgyepben, eltérő földhasználati változások mellett /2002, 2004/

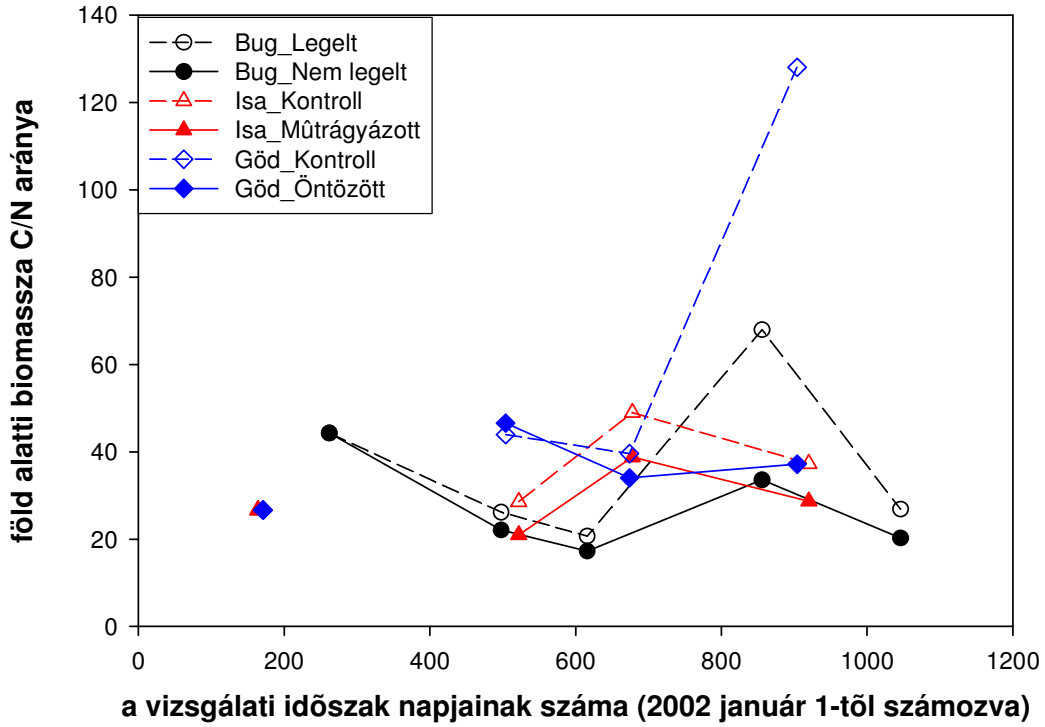
A N-tartalom esetén az FFB-nél és a FAB-nál egyaránt jelentősebb változások állapíthatók meg, különösen a legeltetéstől elkerített és az öntözött gyep esetében, mint a széntartalomnál (79. ábra). Ellentétben SPEHN *et al.* (2002) több európai ország gyeptípusának vizsgálatából levont következtetésével az általunk vizsgált állományok föld feletti biomasszájának N-tartalma nem volt közel azonos, továbbá egy kivételtől eltekintve (nem legelt 2002) alacsonyabb volt, mint a publikációban jelzett átlagérték (1,66 ± 0,03%). Utóbbi értékhez és tartományhoz legközelebb a bugaci – ezen belül is a legeltetéstől elkerített – homoki legelő állt. Bugacon a biomassza N-tartalmának változását elemezve a föld feletti biomassza esetén eltérő változások figyelhetők meg a két év alatt a két állománynál. Az FFB nitrogén tartalma a nem legelt gyepben kismértékben csökkent 2004. őszére (-11%), míg a legelt állományban hasonló mértékben (+11%), de növekedett. Ezzel szemben a gyökérzet N-tartalma mindkét típusnál szignifikánsan (P<0,005) nőtt – feltehetőleg az intenzív növekedéssel együtt járó N-hiány következtében megnőtt (SOUSSANA *et al.* 2002 által is leírt) hajtás-gyökér allokáció miatt –, de a növekedés mértéke jelentősebb volt a legeltetéstől elkerített gyep esetében (+104%, azaz több mint kétszerese), mint a kontrollnál (+56%). A minták átlagait vizsgálva megállapítható, hogy a legeltetés felhagyása 9%-kal növelte a hajtások N-tartalmát minimális szórás különbség mellett (nem legelt +1,3%, CV: 17%), míg a gyökérzetét még nagyobb mértékben 16%-kal emelte, alacsonyabb szórás értékek mellett (-8,3%, CV: 27,7%). Az évek közötti eltérések közül említésre méltó, hogy 2004. tavaszán a csapadékos időszakban mindkét állomány biomasszájának (FFB és FAB egyaránt) N-tartalma lecsökkent, majd 2004. őszére emelkedett. A tavaszi csökkenés különösen a föld alatti biomassza és az előző évi aszály által nagyobb mértékben stresszelt legelt gyep esetében szembeötlő (nem legelt: -24%; legelt: -52%).

Isaszegen a biomassza N-tartalmának (79. ábra) két év alatt detektált eltérései különböznek mind az állományok, mind a biomassza föld alatti és föld feletti része esetében. A 2004-es intenzív növekedés miatt az isaszegi kontroll gyep föld alatti biomasszájának N-tartalma csökkent (-16%), ellenben műtrágyázott gyepé a kezelés hatására kismértékben nőtt (+6%). A föld feletti biomassza N-tartalma eltérően változott a földalatti képletekhez képest, mivel a kontroll gyep esetében növekedés (+12%), míg a műtrágyázott állománynál csökkenés (-3%) tapasztalható. A begyűjtött mintákat leátlagolva és összehasonlítva megállapítottuk, hogy a kezelés az FFB és a FAB N-tartalmát egyformán 9%-kal növelte, a szórások eltérő változása mellett (FFB -11%, CV: 11,2%; FAB +11%, CV: 33,7%). Mindkét állomány hajtásaiban nőtt 2003. tavaszi és őszi időszakában a N-tartalom, míg 2004-ben ennek az ellenkezője figyelhető meg az FFB-nél. Tavasszal mindkét állomány hajtásának relatív N-tartalma magasabb volt, mint ősszel, ezzel szemben a gyökérzet N koncentrációjának tavaszi folyamatos növekedése csak a műtrágyázott gyepben figyelhető meg.
Gödöllőn a 2004. évi intenzív növekedés miatt mindkét állomány földfeletti (öntözött: -26%, kontroll: -30%) és földalatti biomasszájának N-tartalma szignifikánsan ($P<0,005$) csökkent, de a kontroll gyepnél az öntözött állományhoz képest jelentősebben. Ez a redukció különösen a kontroll állomány földalatti biomassza esetében szembeötlő (kontroll: -76%), míg a kezelt gyepnél, a hajtásnál megfigyelt eltéréshez hasonló (öntözött: -27%). A változások alapján a pillangósvirágúak jelenléte vagy hiánya nem befolyásolta a biomassza nitrogén koncentrációját, ami megerősíti SPEHN *et al.* (2002) megfigyelését. Az öntözött állomány gyökérzetének 2004-ben mért magasabb N-tartalma feltehetőleg a SOUSSANA *et al.* (2002) által említett hajtás-gyökér allokáció következménye. A biomassza eltérő N-tartalom csökkenésének az lehet a magyarázata, hogy a többéves kezelés következtében az öntözött állomány lecsökkent fajkészletének megmaradt taxonjai jobban adaptálódtak a több vegetációs periódust végigkísérő, kedvező talajnedvességhez, az ehhez köthető intenzív növekedéshez, illetve az utóbbit kísérő N-hiányhoz. Ezzel szemben a kontroll gyep növényzete a 2002-es és 2003-as szárazabb esztendők után csak 2004-ben fejlesztett jelentős lombozatot, így kellő akklimatizáció hiányában, illetve jóval nagyobb fajkészletéből következő erős kompetíciós nyomás miatt nagyobb mértékben használta fel a talajban fellelhető N-forrást. Ennek következtében a kontroll állomány fajainak jelentősebb N-hiánnyal kellett szembesülniük, amit az is jelez, hogy hajtásukban és gyökérzetükben csekélyebb volt ezen taxonok átlagos N-tartalma. Az öntözés következtében a kezelt gyep hajtásainak N-tartalma nagyobb szórás értékek mellett (+9,6; CV: 41,1%) több mint egyharmadával (37%-kal), gyökérzetűké jóval kisebb CV mellett (29,7%; -27%) hasonló arányban (31%-kal) volt nagyobb, mint a kontroll vegetációé. Egyértelmű szezonális trendeket nem lehet megállapítani egyik típusnál sem, ellenben az évek közötti változások közül megállapítható, hogy az öntözött gyepben 2004. mindkét időszakában nőtt az FFB N-tartalma, míg a kontroll gyep gyökérzetének N-koncentrációja tavasszal évről évre csökkent.



80. ábra: A föld feletti biomassza C/N arányának időbeli dinamikája homoki száraz legelőn és löszpusztaréten, eltérő földhasználati változások mellett /2002-2004/

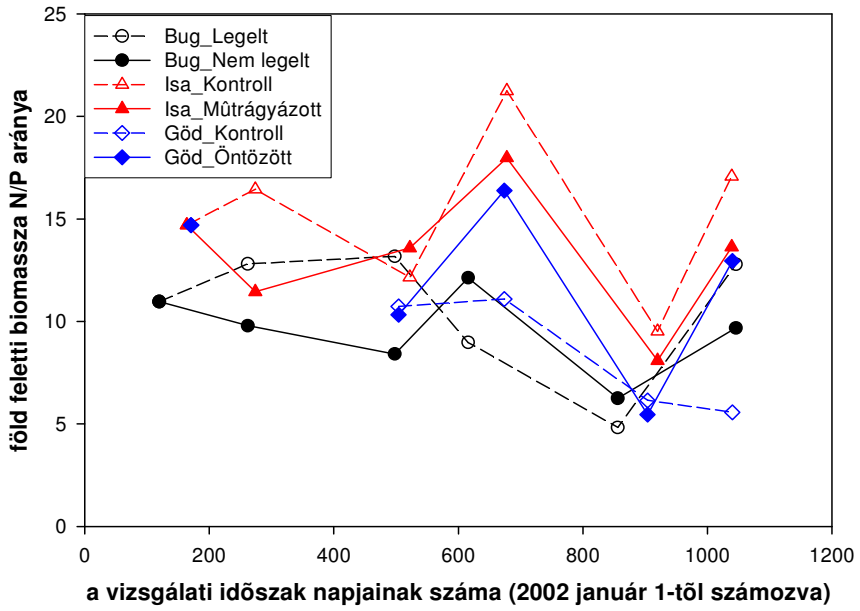
Az FFB C/N arányát vizsgálva egyértelműen láthatók a nitrogén-hiányos időszakok és állományok, mivel ezekben az esetekben a C/N arány értéke nagymértékben megnövekszik (80. ábra). A biomassza C- és N-tartalmának időbeli variabilitása kapcsán (78. ábra) már említettük, hogy utóbbi elem koncentrációja a hajtások és a gyökerek esetében egyaránt nagyobb mértékben tér el, ezért a föld feletti hajtások relatíve szűk tartományban (38,6-48,5%) változó széntartalma nem okozhatta az ábrán is látható eltéréseket. A megváltoztatott kezelésű gyepek közül a hajtás C/N átlagok legkisebb variabilitása a bugaci legeltetéstől elzárt gyep esetében figyelhető meg, melynek átlagértékei nagyon szűk tartományban (23,45-36,24) változtak. A legeltetéstől elzárt gyep hajtásának C/N aránya és szórása átlagosan 6%-kal volt alacsonyabb az extenzív legelőnél. Utóbbi típus szintén relatíve kis tartományban mozgó átlagait csak 2003-ban haladták meg a nem legelt gyep értékei (tavasszal 18%-kal, ősszel 31%-kal) a legelt gyephez képest kisebb N-tartalmuk miatt. Ezzel szemben 2002. őszén és 2004-ben mindkét alkalommal kisebb volt a megváltoztatott kezelésű gyep FFB-jének C/N átlaga, akárcsak a gyökereké 2003-ban és 2004-ben végig (81. ábra). A nem legelt gyep föld feletti biomasszájánál a legmagasabb értéket 2003. őszén kalkuláltuk (36,24), amikor a hajtás N-tartalma az összes mérés közül a legkisebb volt. A nem legelt gyep gyökereinek C/N aránya átlagosan 22%-kal, míg szórásuk 21%-kal volt alacsonyabb a legelt állománynál (81. ábra).



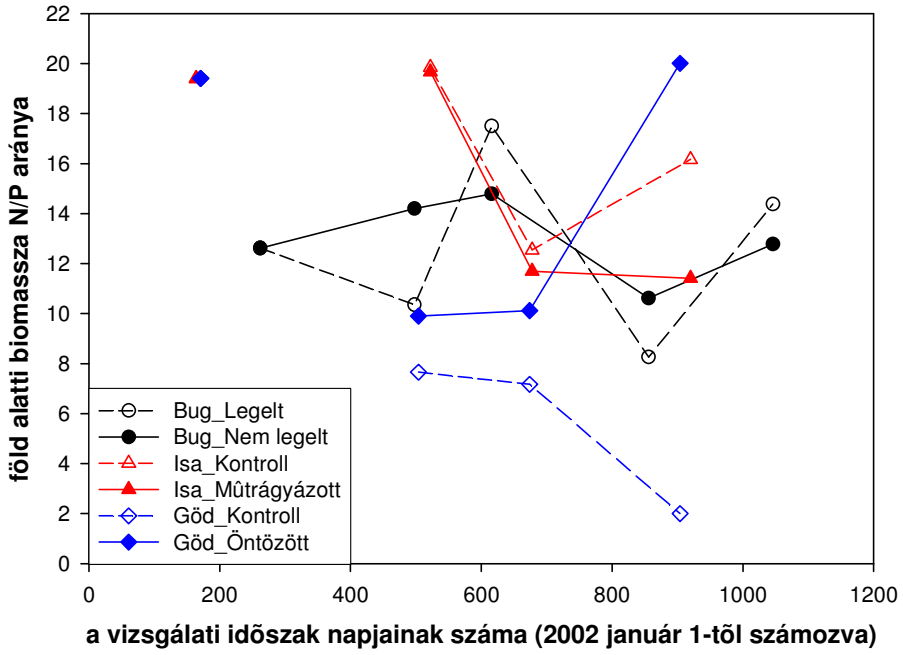
81. ábra: A föld alatti biomassza C/N arányának időbeli dinamikája homoki száraz legelőn és löszpusztaréten, eltérő földhasználati változások mellett /2002-2004/

Isaszegen a hajtás átlagos C/N aránya és szórása egyaránt 9%-kal alacsonyabb volt a műtrágyázott állományban, a növekedéshez nélkülözhetetlen tápanyag utánpótlást biztosító kezelés hatása miatt (80. ábra). A N-utánpótlás (+K és P) következtében kiegyenlítettebbé vált a műtrágyázott gyep C/N arányának évek közötti és szezonális dinamikája. Ezt igazolja egyrészt a kezelt állomány variabilitásának kisebb intervalluma, valamint az is, hogy a műtrágyázott állomány C/N átlaga mindössze 2003. őszén (2%-kal) és 2004. tavaszán (18%-kal) haladta meg a kontroll típusét. A kezelt gyep legmagasabb C/N értékét 2002. őszén számítottuk (45,91), amikor az összes mérés közül legkisebb volt a N-tartalom a hajtásokban. A szezonális eltérések közül figyelemre méltó, hogy az őszi C/N átlagok egy kivétellel (kezelt gyep: 2004) mindig felülmúlták a tavaszit. A műtrágyázott gyep gyökereinek átlagos C/N értéke a kezelés után minden összehasonlítható időpontban kisebb volt (átlagosan 19%-kal és 3%-kal alacsonyabb szórással) a kontroll gyepnél (81. ábra).

A megváltoztatott kezelésű gyepek C/N arányának legmagasabb értékei mind a hajtás, mint a gyökerek esetében a gödöllői öntözött gyepnél figyelhetők meg (80. és 81. ábra). A transzplantált kezelt gyep értékeit is több alkalommal (FFB: 2003. és 2004. ősz, FAB: 2004. tavasz) jelentősen felülmúlták a gödöllői kontroll állomány C/N átlagértékei. A kiugró C/N értékek mind az öntözött (2004. tavasz FFB: 53,44) mind a kontroll gyep esetén az adott szerv N-tartalmának jelentős csökkenésére vezethetők vissza, amely 2004. tavaszán a produkció szignifikáns őszi csökkenését is előre jelezte mindkét állományban. Az öntözött gyep C/N átlaga a hajtás és a gyökér esetében is csak egy-egy alkalommal haladta meg (2002. ősz: +23%, ill. 2003. tavasz: +6%) a kontroll vegetációét, míg utóbbi állomány esetében a hajtás C/N átlaga 2003. őszén több mint kétszerese, 2004. őszén közel két és félszerese volt a kezelt gyepének. Az öntözött gyep hajtásának átlagos C/N értéke 26%-kal (CV: +0,4%), míg gyökeréé 39%-kal (CV: -55%) volt alacsonyabb a kontrollnál.



82. ábra: A föld feletti biomassza N/P arányának időbeli dinamikája homoki és löszgyepen, eltérő földhasználati változások mellett /2002-2004/



83. ábra: A föld alatti biomassza N/P arányának időbeli dinamikája homoki és löszgyepen, eltérő földhasználati változások mellett /2002-2004/

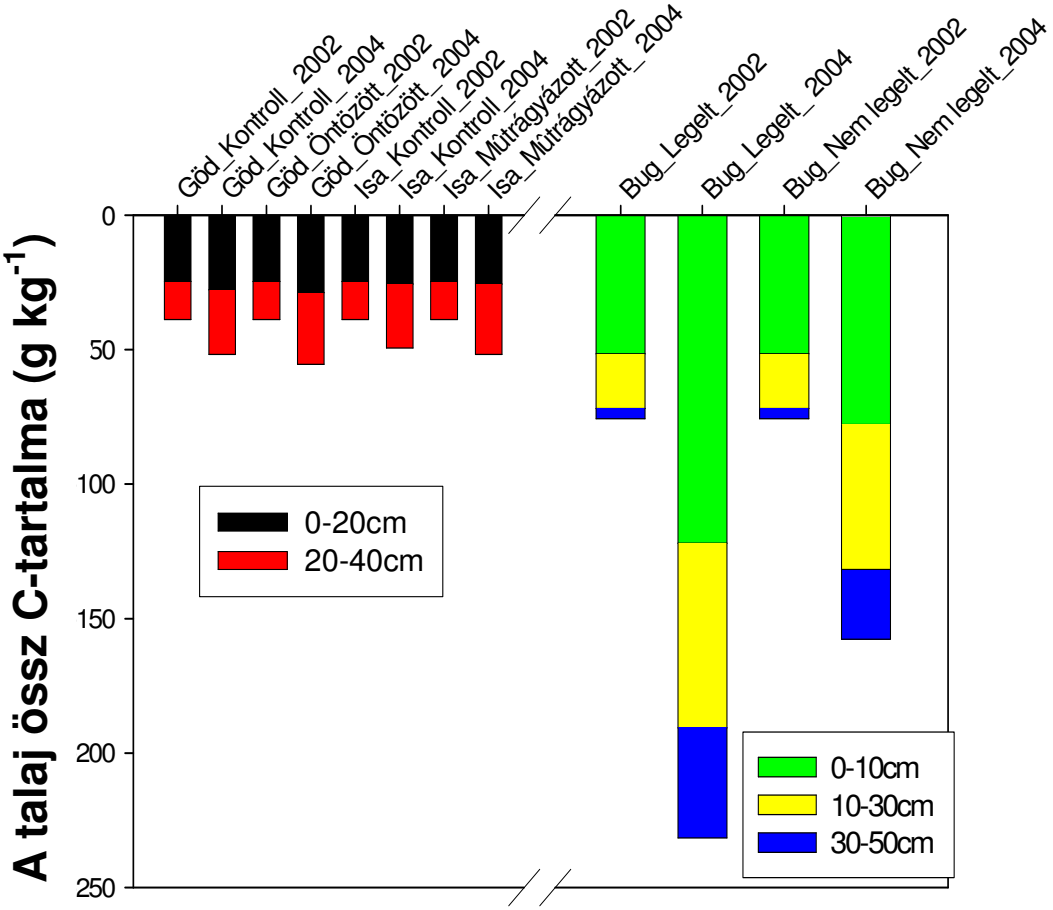
Annak ellenére, hogy a biomassza N/P aránya optimálisan 15 körüli, jól látható, hogy ez az érték szezonálisan, illetve extrém száraz vagy csapadékos időszakokban a föld feletti (82. ábra) és a föld alatti (83. ábra) biomasszánál objektumtól és kezeléstől függetlenül jelentősen eltért. A bugaci legeltetéstől elzárt gyep hajtásának és gyökerének N/P aránya kisebb tartományban változott, mint a kontroll területé (82. ábra). A nem legelt gyep hajtásában a két elem aránya száraz időszakokban (2002. ősz, 2003. tavasz) lecsökkent és alacsonyabb volt a legelt gyepnél számított értéknél, míg nedvesebb periódusokban (2003. ősz, 2004. tavasz) meghaladta a kontroll típusét. A műtrágyázott állomány hajtásának N/P aránya egyetlen kivételtől eltekintve (2003. ősz) végig alacsonyabb volt a kontroll

értékeinél. Ez a kezelt állomány biomasszájának – kezelés következtében – magasabb foszfor tartalmával magyarázható. A műtrágyázott gyep 2003. őszi magasabb N/P aránya (12%-kal) a megnövekedett N és a kontrollnál kivételesen alacsonyabb foszfor tartalommal magyarázható. A műtrágyázás miatt a kezelt állomány hajtásának N/P dinamikája kiegyenlítettebb volt. Az öntözött gyep hajtásában számított N/P arány szezonális eltérést mutatott a kontrollhoz képest, mivel tavasszal a gödöllői kontroll gyep N/P értékei voltak kismértékben magasabbak, míg 2003. őszén a kezelt típus aránya közel másfélszerese (148%-a), 2004. őszén több mint kétszerese (233%-a) volt a kontrollnak.
Az évek közötti eltéréseket összehasonlítva megállapítottuk, hogy a hajtások N/P aránya egyetlen kivételtől eltekintve (legelt gyep: 2004. ősz) 2003-ban magasabb volt, mint 2004-ben. Az évek közti eltérés feltehető oka, hogy az aszály következtében minimális biomassza növekedés kisebb mértékű N-allokációval párosult, így a rendszerben nem alakult ki N-hiány, szemben a rákövetkező csapadékos évvel, ami az N/P arány csökkenéséhez vezetett. A hajtások legmagasabb N/P arányát mindhárom megváltoztatott kezelésű gyepben – továbbá az isaszegi kontroll állománynál – 2003. őszén, a legalacsonyabbat – a bugaci és isaszegi kontroll típushoz hasonlóan – 2004. júniusában számítottuk.
Bugacon a nem legelt állomány gyökereinek N/P aránya tavasszal meghaladta a kontrollét, míg ősszel alacsonyabb értékeket kalkuláltunk (83. ábra). Az összes vizsgált gyeptípus közül a legkisebb variabilitás – és egyben az optimális arányhoz legközelebbi értékek – a bugaci legeltetéstől elzárt típus gyökereinél figyelhető meg, ezzel szemben a megváltoztatott kezelésű gyepek közül legnagyobb kilengése az öntözött állománynak volt. A műtrágyázás lecsökkentette a föld alatti biomassza N/P arányát, mely különösen 2004. júniusában feltűnő (-29%). Gödöllőn az öntözött típus gyökereinek N/P aránya a kezelés után minden alkalommal meghaladta a kontroll állományét, legnagyobb mértékben (tízszeresen) 2004. tavaszán, amikor az öntözött gyep legmagasabb N/P értékét számítottuk a nagyon alacsony P-tartalom miatt. Ugyanebben az időszakban a gödöllői kontroll típus rendkívül alacsony N/P értékét (2,0) az intenzív biomassza növekedés miatt legalacsonyabb N mennyiség, valamint az ezzel egyidőben legmagasabb foszfor érték okozta. Az évek közötti eltérések közül a 2003-as szárazságstresszelt évben a bugaci nem legelt gyep, valamint a műtrágyázott állomány gyökereinek N/P aránya – a csapadékhiány miatt kismértékű allokáció következtében – magasabb volt, mint 2004-ben. Az öntözött vegetációnál ezzel ellentétes dinamika figyelhető meg. A bugaci nem legelt gyep gyökereinek legmagasabb N/P értékét 2003. őszén, a műtrágyázott állományét 2003. júniusában számítottuk.

5.9 A talaj szén- és nitrogén-tartalmának változása, valamint eltérései a kezelések következtében

A vizsgált bugaci (csernozjom típusú homoktalaj) és isaszegi, illetve transzplantált gödöllői (mészlepedékes csernozjom) talajminták esetén a felső talajréteg összC- és összN-tartalma (84. és 85. ábra) felülmúlja az alsóbb rétegekét – egy kivételtől eltekintve (műtrágyázott 2004: összC-tartalom) –, ami megegyezik HEIDMANN *et al.* (2002) alacsonyabb szén- és nitrogén-tartalmú dániai talajok analíziséből levont következtetésével. Az objektumként kiválasztott homoki legelő és löszgyep széntartalmát összevetve jól látható, hogy előbbi – kisebb agyagfrakciója ellenére /így ellentétben BAUER *et al.* (1987) állításával/ – humuszban gazdagabb, ami különösen a legfelső réteg összehasonlításakor szembeötlő (84. ábra). Ez egyben biztosítja a *Cynodonti-Festucetum* társulásnak azt a potenciált, hogy csapadékos évben szignifikánsan növelje biomasszáját és ezzel párhuzamosan szénmegkötő képességét. Begyűjtött mintáink alapján a talaj széntartalma (84. ábra) mindkét bugaci területen és minden rétegben szignifikánsan ($P<0,005$) nőtt a vizsgált időszak alatt (CZÓBEL *et al.* 2005b), döntően a száraz esztendőkre jellemző – a domináns évelő füvek túlélését biztosító – intenzív gyökérzet-növekedés, valamint a csapadékos periódusban felgyorsult humifikáció következtében. A talaj szén akkumulációja a legelt gyep esetében mindhárom vizsgált szintben (különösen a felső és alsóbb rétegekben, ahol az akkumuláció mértéke több, mint egyharmaddal meghaladta a nem legelt típusét) jelentősebben nőtt és ez hosszútávon befolyásolhatja a fiziológiai működést. A bugacihoz

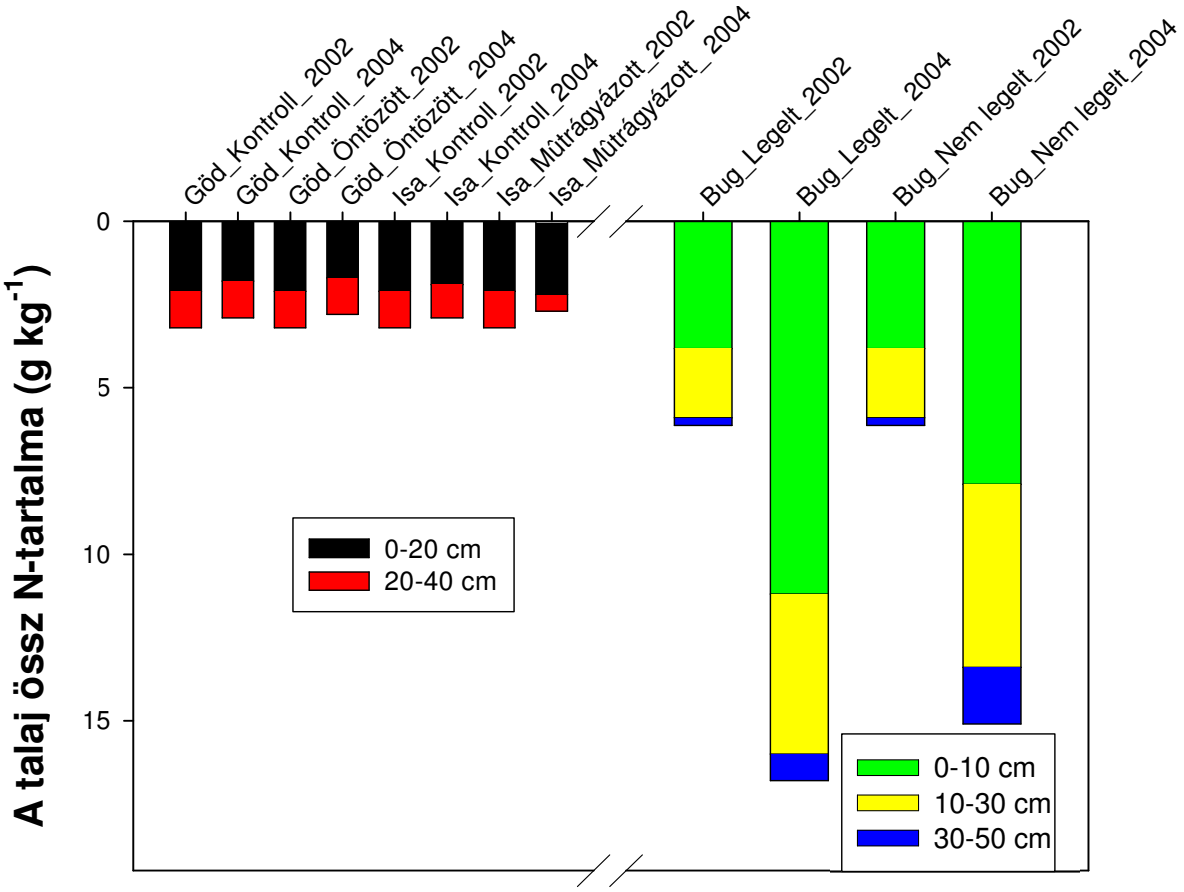
hasonló eredményt adott REEDER és SCHUMAN (2002) kevertfüvű prérin folytatott vizsgálata, mivel ők is nagyobb (szignifikánsan) C-tartalmat mértek a legelt állományban, mint a legeltetéstől elkerített gyepben, míg SU *et al.* (2005) a talaj szerves C-tartalmának növekedését tapasztalták legeltetés kizárásának hatására. A két bugaci gyeptípus között azonosság, hogy bár a mélyebb rétegek felé haladva szignifikánsan (P<0,005) csökkent a talaj széntartalma, a szén akkumuláció mértéke lefelé haladva mindkét állományban egyre jelentősebb.



84. ábra: A talaj C-tartalmának alakulása homoki- és löszgyep különböző talajmélységeiben, eltérő földhasználati változások mellett /2002, 2004/

Ez feltehetőleg az utolsó évben lehullott bőséges csapadékmennyiséggel magyarázható, mely a legfelső szintben képződött humusz egy részét akkumulálta a mélyebb rétegekbe. A legelt gyep talajának C-tartalma minden rétegben többszörösére nőtt (0-10 cm: +137%, 10-30 cm: +238%, 30-50 cm: +960%), míg ugyanez a legeltetéstől elkerített típusnál csak az alsóbb rétegekre igaz (10-30 cm: +166%, 30-50 cm: +570%), mivel a legfelső szintben „csak" másfélszeresével emelkedett a szénkészlet. Ez egyben azt is jelzi, hogy a talaj szénkészletét a szélsőséges időjárású (csapadékmennyiségű) évek rövidtávon nem befolyásolták negatívan, sőt a már említett okok miatt gazdagították humusztartalmát.
Isaszegen a bugaci állományhoz hasonlóan a talaj C-tartalma mindkét állományban és mindkét vizsgált talajmélységben növekedett (84. ábra), ami igazolja CHRISTENSEN & JOHNSTON (1997) azon állítását, hogy a talaj szervesanyag tartalmát rövidtávon a műtrágyázás is megváltoztatja. A humuszban gazdagabb felső réteg (0-20 cm) gyarapodása kisebb és közel azonos mértékű volt a kezelt (+4%) és a kontroll (+3,6%) gyepben. Ezzel szemben a mélyebb réteg (20-40 cm) széntartalma a műtrágyázott állományban közel kétszeresére (86%-kal), a kontrollban kétharmadával (67%-kal) nőtt. A különbség CONANT *et al.* (2001) megállapításán kívül – az intenzívebbé váló gyepgazdálkodás a növekvő C-

fixáció révén növeli a talaj átlagos C-tartalmát – a jobb tápanyag ellátottsággal, illetve a kezelt állomány nagyobb LAI-jával magyarázható, melynek tápanyag utánpótlását csak kiterjedtebb gyökérzet volt képes biztosítani. A kezelt gyep alsóbb talajrétegének C-tartalma a vizsgálati időszak végén felülmúlta a felső rétegét, a jelentősebb szénakkumulációja miatt. A talajrétegek eltérő mértékű gazdagodását több tényező is előidézhette, egyrészt a bugaci gyepnél már említett csapadékos időszak jelentős akkumulációja, másrészt az aszályos évben a gyökérzet növekedése intenzívebb lehetett a mélyebb rétegekben, megnövelve ezáltal a növények túlélési esélyét.
Gödöllőn a talaj széntartalmának változása kapcsán ugyanaz a trend figyelhető meg, mint az isaszegi (és bugaci) állományoknál, azaz mindkét típusban és vizsgált talajrétegben növekedett a C-készlet. A változások alátámasztják BURKE *et al.* (1989) kijelentését, hogy a növekvő csapadékmennyiséggel a talaj szerves C-koncentráció általában emelkedik. A változások itt is kisebb mértékűek voltak a felsőbb rétegben (0-20 cm), ezért a vizsgálati időszak végére mindkét állomány mélyebb rétegeinek (20-40 cm) széntartalma megközelítette a felső talajszintét, az isaszegi állománynál említett okok miatt. Öntözés hatására a felső (+17%; kontroll: +12,5%) és az alsó (+88%; kontroll: +70%) talajrétegben egyaránt jelentősebb mértékben nőtt a talaj humusztartalma, feltehetőleg a jelentősebb LAI miatt kifejlesztett nagyobb gyökérzet, valamint ezzel összefüggően CONANT *et al.* (2001) fent említett és méréseinkkel igazolt tapasztalata miatt. A kezelt gyökérzet-növekedésre gyakorolt pozitív hatása felülmúlta a szárazságstressz által előidézett gyarapodás mértékét.



85. ábra: A talaj N-tartalmának alakulása homoki- és löszgyep különböző talajmélységeiben, eltérő földhasználati változások mellett /2002, 2004/

A vizsgálati objektumokat összehasonlítva megállapítható, hogy a homoki legelő N-tartalma a vizsgálati időszak elején és végén egyaránt meghaladta a löszállományokét (85. ábra). Mindkét bugaci állomány talajának össznitrogén-tartalma szignifikánsan (P<0,005) emelkedett a vizsgálati periódus

során, a növekedés mértéke azonban eltérő volt a két típus esetében. Utóbbi ellentmond MATUS *et al.* (2005) nyírségi homoki száraz legelőről közölt eredményének, mivel ők a felvehető tápanyagok mennyiségét vizsgálva sem időbeli, sem pedig a vizsgált állományok (felhagyott vs. intenzíven legelt) közötti eltérést nem tapasztaltak Bugacon a legfelső rétegben a legelt gyep N-tartalma a legelő állatok miatt nagyobb mértékben, közel háromszorosára (+193%), míg a nem legelt állományé több mint kétszeresére (+107%) gyarapodott. Ezzel szemben a mélyebb rétegek csekélyebb összN-tartalma a legeltetéstől elkerített állományban nőtt jobban, a második rétegben több mint két és félszeresére (+164%; kontroll: +131%), míg a legalsóban – a legelt gyephez képest több mint kétszeres mértékben – több mint hétszeresére (+639%; kontroll: +248%). A nem legelt típusban a talaj N-gyarapodásának mértéke folyamatosan nőtt – a csapadék felsőbb rétegekből kimosó hatása következtében – a mélyebb rétegek felé haladva, míg a legelt gyepnél a jelentős gyökérzettel rendelkező középső rétegben (10-30 cm) kisebb mértékű volt a növekedés, feltehetőleg a csapadékos év intenzívebb forráshasznosítása miatt. SU *et al.* (2005) Észak-Kína homoki vegetációjában szintén a talaj összN-tartalmának növekedését igazolták legeltetés kizárásának következményeként. Az összN-tartalom vizsgált két komponense esetében eltérő trend figyelhető meg, mivel a nitrát tartalom mindkét állományban és minden szinten növekedett, szemben az ammónia mennyiségével, mely egy kivételtől eltekintve (legelt gyep, 0-10 cm: +18%) egyharmadával (nem legelt: 30-50 cm, ill. legelt: 10-30 cm), illetve egyharmadára (nem legelt: 10-30 cm, ill. legelt: 30-50 cm) csökkent. A nitrát tartalom mindkét típusnál a legfelsőbb rétegben gyarapodott a legjobban, de a legeltetéstől elzárt gyepnél valamivel kisebb mértékben (254%-kal), mint a kontroll területen (263%-kal). Az alsóbb talajrétegek NO_3^- növekedése viszont intenzívebb volt a nem legelt állományban (10-30 cm: +55%; 30-50 cm: +175%), míg a kontrollnál a nitrát gyarapodás mértéke folyamatosan csökkent a mélyebb rétegek felé.

Isaszegen (85. ábra) a talaj összN-tartalma a növényzet intenzív növekedése és akkumulációja miatt mindkét állományban csökkent. A műtrágyázott állománynál csak a mélyebb talajrétegben figyelhető meg a redukció, melynek mértéke azonban jelentős (-64%), míg a tápanyag utánpótlás miatt a felső talajrétegben (0-20 cm) kismértékű gyarapodás figyelhető meg (+5%). Ezzel szemben a kontroll állomány mindkét vizsgált rétegében az összN-tartalom közel egytizedével csökkent (0-20 cm: -9,5%; 20-40 cm: -9,1%). A N vegyületek közül a nitrát mennyisége a műtrágyázott állomány felső szintjében másfélszeresére, alsó rétegében több mint tízszeresére (+980%) nőtt, a kontrollban azonban mindkét rétegben csökkent (0-20 cm: -43%; 20-40 cm: -37%). Az ammónia a műtrágyázott és a kontroll gyep összes rétegében csökkent, a felső szintben közel azonos arányban (kezelt: -16%, kontroll: -16,5%), míg a lenti rétegben a kontrollnál nagyobb mértékben (-31%, kezelt: -23%).

Az átlagosnál csapadékosabb 2004-es év, valamint az öntözött foltok vízutánpótlása indukálta intenzív növekedés és az ezt kísérő talaj-növényzet allokáció miatt a talaj N-tartalma Gödöllőn közel azonos mértékben csökkent mindkét típusnál. A kezelt állományban a vizsgálati ciklus során tehát még nem tapasztalható SPEHN *et al.* (2002) azon állítása, hogy fajszám csökkenés esetén a pillangósvirágú taxonok eltűnése jóval súlyosabb következményekkel jár a növényközösség N-készletére. Gödöllőn a felső rétegben az öntözött állomány N-mennyisége közel egyötödével (-19%), míg a kontrollnál kisebb mértékben (-14%) redukálódott. Ezzel szemben az alsó szint N-tartalma egyik állomány esetében sem tért el a kiindulása értéktől (1,1 g kg^{-1}). A mért N-vegyületek közül a kontroll gyepnél a nitrát mennyisége mindkét réteg esetén nagyobb mértékben csökkent (0-20 cm: -65%; 20-40 cm: -53%), mint a kezelt típusé, illetve az ammóniáé (0-20 cm: -37%; 20-40 cm: -48%). Az öntözött állományban a nitrát a felső szintben egyötödével csökkent (-21%), ellenben az alsó rétegben több mint egyharmaddal (+38%) nőtt. A kezelt gyep ammónia mennyisége a felső szintben a kontroll típusnál és a nitrátnál egyaránt nagyobb arányban redukálódott (-55%), de a mélyebb rétegben csak kismértékben csökkent (-9%).

5.10 Új tudományos eredmények

5.10.1. Új módszertani eredmények

- Fátlan vegetáció állományszintű CO_2-fluxus és vízgőzcsere méréseire alkalmas, hordozható, nem-destruktív, nyílt és zárt rendszerben egyaránt működtethető, 60 cm átmérőjű mérőkamrák kifejlesztése.

- Logaritmikusan növekvő alapterületű (0,0044-4,5306 m^2) kamrasorozat készítése, térbeli léptékfüggő szünfiziológiai folyamatok (pl. NEE) vizsgálatára, valamint szünfiziológiai minimi areája meghatározására fátlan társulások állományaiban (pl. gyepvegetációban).

5.10.2. Új tudományos megállapítások

- *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* homoki száraz legelő és *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* löszpusztarét társulásokban a CO_2-fluxus, a primer produkció, a biomassza elemtartalom, a Shannon-diverzitás, a fajszám, valamint a főbb funkcionális csoportok évek közötti és szezonális dinamikájának három éven keresztüli párhuzamos vizsgálata a klimatikus változók függvényében.

- Három használatmódot szemléltető kísérlet (legeltetés felhagyása, műtrágyázás, öntözés) rövid távú hatásának meghatározása a szünfiziológiai működésre, a szünbotanikai állapotokra, továbbá a föld feletti biomassza tömegére, a biomassza elemtartalmára és a talaj C- és N-tartalmára.

- Eredményeink rövid távon nem támasztják alá azt a hipotézist, hogy a szünbotanikai jellemzők megváltozásával a szünfiziológiai működés is minden esetben párhuzamosan változik.

- Az általunk – többek között – vizsgált ruderális *Falcario-Agropyretum repentis* gyomtársulás CO_2-asszimilációjának variabilitása egyértelmű térbeli léptékfüggést mutat. A gyomtársulás szünfiziológiai minimi areáját a kis-közepes skálán (d=60 cm) kaptuk.

- Igazoltuk, hogy az eltérő időjárású évek csapadékmennyisége és annak eloszlása jelentős mértékben befolyásolta a gyepek CO_2-fluxusát, valamint hatással volt a manipulációs kísérletek eredményeire is.

- Kimutattuk, hogy az NEE szignifikáns eltérése a vizsgált manipulációs kísérletek közül és periódusban csak az öntözött állománynál figyelhető meg, döntően szárazságstresszelt időszakban.

- Bebizonyítottuk, hogy a löszgyep szünfiziológiai működését, CO_2-fixációjának mértékét a homoki legelőnél kisebb mértékben csökkentette az extrém szárazságstressz.

- Kutatásunk révén megállapítottuk, hogy a kevésbé strukturált homoki száraz legelő CO_2 megkötése optimális vízellátottság és fenológiai fázis esetén hasonló mértékű a löszgyepekhez.

- A löszpusztaréten és a homoki száraz legelőn mért NEE egyes abiotikus és biotikus paraméterektől való függésének, valamint a manipulációs kísérletek miatt a korrelációk erősségében bekövetkező eltérések meghatározása.

- Az összes vizsgált abiotikus és biotikus paraméter közül a LAI determinálta legjobban a szünfiziológiai működést.

- Bebizonyítottuk, hogy csak bizonyos talajnedvesség tartományok (a nagyon alacsony és általában a nagyon magas) csökkentik jelentősen a szünfiziológiai működést, míg a köztes tartományban az SWC a vártnál kisebb mértékben determinálja a C-fixációt.

- Produkció vizsgálatok és NEE mérések alapján bebizonyítottuk, hogy széndioxid-gáz szempontjából a vizsgált *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* löszgyep éves szinten – kezeléstől függetlenül – megkötőnek tekinthető.

- Igazoltuk, hogy a csapadékhasznosítási hatékonyság (RUE) a vizsgált gyepállományok döntő többségénél telítődés jellegű, továbbá az átlagoshoz közeli csapadékmennyiség biztosít optimális produkció-növekedést.

- A kutatás során vizsgált összes paraméter közül a leggyorsabb változás a fajkompozíció esetében figyelhető meg mindhárom manipulációs kísérlet esetén.

- Megállapítottuk, hogy a fajszám és a Shannon-diverzitás csökkenése nem feltétlenül jár együtt a szünfiziológiai működés redukciójával.

- A vizsgálati ciklusban öntözés hatására a pillangósvirágúak eltűntek a gyepből, az egyszikűek monodominánssá váltak, valamint lecsökkent a szociális-magatartástípusok száma.

6. KÓVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A kifejlesztett hordozható állománymérő kamrák alkalmasak további fátlan társulások vizsgálatára, melynek során egyrészt további alapadatokat kaphatunk a különböző ökoszisztémák szünfiziológiai működéséről (beleértve a C-fixáció mértékét és időbeli dinamikáját), szerveződéséről, másrészt a globális klímaváltozás, illetve a különböző antropogén és természetes diszturbációk hatásai (pl. tűz) is monitorozhatóvá válnak állományfiziológiai szinten. Napjaink egyik legfontosabb vegetációkutatási területe az egyes ökoszisztémák szénmérlegének vizsgálata, részben eddy kovarianciás technikával, részben GIS módszerrel. Az említett technikák azonban nem alkalmasak a vegetáció finomabb léptékű mozaikosságának vizsgálatára, melyre az általunk kifejlesztett kamrás mérések kiválóan hasznosíthatóak. Ezen kívül a nyílt rendszerű mérésekkel nemcsak szárazföldi, hanem vízi ökoszisztémák növényzete is tanulmányozható.

A kapott eredményeink további információkat szolgáltattak két hazai növényközösség hazai szénforgalomban betöltött szerepéről. Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a 2003-ban tapasztalt extrém száraz periódus a szünbotanikai viszonyokat és fiziológiai aktivitást tekintve egyaránt nagyobb mértékben stresszelte a kevésbé strukturált, de humuszban gazdag homoki gyepet, mint a löszgyepet. A fajkompozíció és a borítási értékek megváltozásából nemcsak az egyes fajok tűrőképességére következtethetünk, hanem a jövőben sikeres taxonok predikciója is lehetővé válik, a manipuláció során kiválasztott grádiens mentén. A három manipulációs kísérlet közül szárazabb évben az öntözés, csapadékosabb időszakban a műtrágyázás növelte legnagyobb mértékben az állományszintű C-fixációt, míg a vizsgált három éves periódus során a legeltetés felhagyása nem változtatta meg szignifikánsan a CO_2-megkötés mértékét. Az 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. Vizsgálatunk során kiderült, hogy csak bizonyos talajnedvesség tartományok (a nagyon alacsony és általában a nagyon magas) csökkentik jelentősen a szünfiziológiai működést, míg a köztes tartományban az SWC a vártnál kisebb mértékben determinálja a C-fixációt. Kutatásunk az állományszintű működés, stabilitás és szabályozás szerepének újabb bizonyítékait is szolgáltatta (pl. az állományszintű CO_2-fluxus nagyobb mértékű állomány-evapotranszspiráció, fény- és hőmérséklet függése a jelentősebb LAI-val jellemezhető időszakokban). Eredményeink nem támasztják alá azt a hipotézist, hogy rövid távon a szünbotanikai jellemzők megváltozásával a szünfiziológiai működés is minden esetben párhuzamosan változik. A RUE a vizsgált állományok többségénél telítődés jellegű volt, ezért úgy tűnik, hogy a hazai gyeptípusoknál az átlagoshoz közeli csapadékmennyiség ideális a produkció optimális növekedéséhez.

Eredményeink nemcsak alapkutatás jellegűek, hanem a környezet- és természetvédelemben egyaránt hasznosíthatók. A vizsgált objektumok jelentős szénmegkötő képessége egyben felhívja a figyelmet a hazai természetközeli gyepállományok, társulások jelentőségére és megóvására is. Vizsgálati eredményeink felhasználhatók továbbá a löszpusztarét és a homoki legelő, illetve a hasonló dinamikájú növényállományok modellezéséhez is. Kutatásunk igazolta, hogy a kezelési eredmények értékelésénél – és ezek modellezési alapadatként történő felhasználásánál – figyelembe kell venni egy kezdeti adaptációs periódust, melynek időskálája a kezelés jellegétől, a klimatikus viszonyoktól és a vegetációdinamikai folyamatok intenzitásától függ.

7.1. ÖSSZEFOGLALÁS

In situ terepkutatásunk során az általunk kifejlesztett hordozható, nem-destruktív, 60 cm átmérőjű mérőkamrák, illetve infravörös gázanalizátorok (LiCor-6200 és Ciras 2) segítségével megismertük két eltérő fajkészletű, textúrájú, fiziognómiájú és diverzitású gyeptársulás, a homoki legelő és a löszpusztarét állományszintű CO_2-fluxusának évek közötti és szezonális dinamikáját. Ezenkívül cönológiai felvételezések, valamint biomassza és talajminták alapján vizsgáltuk három manipulációs kísérlet (legeltetés felhagyása, műtrágyázás, öntözés) hatását a szünfiziológiai és szünbotanikai működésre – beleértve a különböző funkcionális csoportok arányának megváltozását –, továbbá a föld feletti biomassza tömegére, a biomassza elemtartalmára és a talaj C- és N-tartalmára. A GreenGrass projekt kutatásához kapcsolódóan végzett, szemléletében és metodikájában nemzetközi és hazai szinten egyaránt újszerű kutatások során meghatározhatóvá és összehasonlíthatóvá vált több, hazánkban jellemző alapkőzeten előforduló gyeptársulás CO_2-fluxusának időbeli dinamikája, a mikrometeorológiai tényezők és ökológiai változók, valamint manipulációs kísérletek függvényében. Meteorológiai méréseink és a sokéves átlagok összevetése alapján kiderült, hogy a 2003-as esztendő az átlagosnál jóval szárazabb, míg 2004. az átlagosnál csapadékosabb volt. Az eltérő időjárású évek csapadékmennyisége és annak eloszlása jelentős mértékben befolyásolta a gyepek működését és produkcióját, valamint hatással volt a manipulációs kísérletek eredményeire is, de egyben lehetővé tette a globális klímaváltozással feltehetőleg egyre gyakoribbá váló extrém klimatikus viszonyok (pl. szélsőséges szárazságstressz) vegetáció működésére gyakorolt hatásának integrált, több tudományterületet felölelő tanulmányozását.

A kapott eredményeink további információkat szolgáltattak két hazai növényközösség szénforgalomban betöltött szerepéről. A három manipulációs kísérlet közül szárazabb évben az öntözés, csapadékosabb időszakban a műtrágyázás növelte legnagyobb mértékben az állományszintű C-fixációt, míg a vizsgált három éves periódus során a legeltetés felhagyása nem változtatta meg szignifikánsan a CO_2-megkötés mértékét. Az 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. Vizsgálatunk során kiderült, hogy csak bizonyos talajnedvesség tartományok (a nagyon alacsony és általában a nagyon magas) csökkentik jelentősen a szünfiziológiai működést, míg a köztes tartományban a talaj víztartalom a vártnál kisebb mértékben határozza meg a C-fixációt.

A kutatás során vizsgált összes paraméter közül a leggyorsabb változás a fajkompozíció esetében figyelhető meg mindhárom manipulációs kísérlet esetén. A löszgyepeknél kezelés hatására észlelt csökkenő fajszám és diverzitás, elsősorban erős kompetitor fajok növekvő dominanciája (*Salvia nemorosa* a műtrágyázott, *Dactylis glomerata* az öntözött gyepben) miatt következett be. A bugaci legeltetéstől elkerített gyepben tavasszal az egyszikűek csoportrészesedése jelentősebben visszaesett. Gödöllőn öntözés hatására a kétszikűek relatív és abszolút arányai egyaránt lecsökkentek és az egyszikűek monodominánssá váltak, míg a pillangós fajok teljesen eltűntek a kezelt gyepből. A Raunkier-féle életformák esetében a homoki legelőn csapadékos évben tavasszal mindkét területen szignifikánsan nőtt a rövid életciklusú, efemér jellegű kétszikű fajok (Th) száma és csoporttömeg részesedése, míg a nem legelt gyepben felére csökkent a hemitherophyta és eltűnt a chamaephyta életforma. A műtrágyázott és az öntözött gyepben dominált a hazai pázsitfüvekre jellemző hemikriptophyton életforma. A műtrágyázott gyepben több volt a kompetitor, de kevesebb volt a specialista és a természetes zavarástűrő. Öntözés hatására lecsökkent a szociális-magatartástípusok száma. A C_4-es fajok átlagos borítása minden állomány esetében megnőtt az őszi időszakra. A löszgyep esetén a műtrágyázás növelte, a legeltetés csökkentette ezen funkcionális csoport átlagos borítását.

Mindhárom manipulált állomány földfeletti biomassza mennyisége és potenciális növekedési rátája minden évben és vegetációs időszakban meghaladta a kontroll állományok értékeit. A 2003. évi aszály

az öntözött állomány kivételével szignifikánsan csökkentette minden gyeptípus éves nettó primer produkcióját. A szárazságstressz a vizsgált löszgyepek közül legnagyobb mértékben az isaszegi állományokat terhelte. A biomassza C-tartalma a földhasználati módtól függetlenül csak szűk tartományban változott és a manipulált állományok közül egyedül a műtrágyázott gyepben növekedett kismértékben a FAB és az FFB széntartalma egyaránt. A hajtások és a gyökerek N-tartalma a legeltetéstől elkerített és az öntözött gyepben haladta meg a kontrollét, de az FFB esetén mindkét említett állományban csökkent a kindulási évhez képest. Mindkét terület talajának össz-széntartalma szignifikánsan emelkedett a vizsgálati periódus során, különösen a löszgyep állományok „B”- és a homoki legelő „A”- szintjében. A talaj összznitrogén-tartalma minden löszgyep típusban csökkent, ellenben a homoki legelőn szignifikánsan nőtt, de a legeltetéstől elzárt gyep esetén (hasonlóan a talaj széntartalmához) kisebb mértékben.

A kifejlesztett hordozható állománymérő kamrák alkalmasak további fátlan társulások, valamint térbeli léptékfüggő szünfiziológiai folyamatok vizsgálatára. Eredményeink nemcsak alapkutatás jellegűek, hanem a környezet- és természetvédelemben egyaránt hasznosíthatók. A vizsgált objektumok jelentős szénmegkötő képessége egyben felhívja a figyelmet a hazai természetközeli gyepállományok, társulások jelentőségére és megóvására is. Vizsgálati eredményeink felhasználhatók továbbá a löszpusztarét és a homoki legelő, illetve a hasonló dinamikájú növényállományok modellezéséhez is. Kutatásunk igazolta, hogy a kezelési eredmények értékelésénél – és ezek modellezési alapadatként történő felhasználásánál – figyelembe kell venni egy kezdeti adaptációs periódust, melynek időskálája a kezelés jellegétől, a klimatikus viszonyoktól és a vegetációdinamikai folyamatok intenzitásától függ.

7.2. SUMMARY

During our *in situ* field experiments the interannual and intraannual variability of CO_2-fluxes of the sandy pasture and loess grassland at stand level were recognized by our newly developed portable, non-destructive measuring chambers (with diameters of 60 cm) and IRGAs. The studied sandy and loess grass stands have distinct species pool, texture, physiognomy and diversity. Both the nationally and internationally novel-like approach and method (connected with the GreenGrass Project) allowed us to determine and compare the temporal variation in CO_2-flux of more Hungarian grass communities developed on characteristic parent materials as a function of micrometeorological data, ecological variables and manipulation experiments. The year of 2003 was much drier, while 2004 was more humid than the standard normal period, based on the comparison of our and long-term meteorological data. The amount and distribution difference in the precipitation of the studied years affected significantly the physiological activity and biomass production as well as have an influence on the results of manipulation experiments. But it also allowed us to study the effects of climatic anomalies (e.g. severe drought stress), which will presumably become more ferquent as a result of the Global Climate Change on the vegetation processes using an integrated approach which covers several scientific fields.

The results provide further information on the role of two Hungarian plant communities in the carbon cycle. Out of the three manipulation experiments the stand C-fixation was mostly increased by irrigation in the dry year and by fertilization in humid periods. However, grazing exclusion did not change significantly the magnitude of CO_2-uptake over the studied years. Among the abiotic factors the PAR had better correlation with stand CO_2-fixation, than air temperature and soil water content. Considering all abiotic and biotic parameters the LAI determined chiefly the synphysiological activity. The results showed that just certain soil moisture regimes (the very low and generally the very high) decreased significantly the synphysiological activity, while in the intermediate range the SWC determined less the C-fixation, than expected.

The fastest change of all studied parameters was observed at the species composition in each manipulation experiment. Mainly the increasing dominance of strong competitors (*Salvia nemorosa* in fertilized and *Dactylis glomerata* in irrigated stands) resulted in a decline in species richness and diversity detected at loess stands. Group participation of monocots in spring decreased more significantly in the grazing excluded stand of Bugac. Irrigation resulted in reduction of dicots both in relative and absolute values, furthermore the monocots became dominant, while the legumes disappeared from the treated plots at Gödöllő site. Related to Raunkier life-forms in springtime during the humid year the number and group participation of ephemeral dicot taxa (Th, which have short lifecycle) have increased significantly in both stands of the sandy pasture, while in the grazing excluded part the number of hemitherophytes declined with 50 percent and the chamaephytes became absent. Hemikriptophytes dominated the fertilized and irrigated plots, which represents a typical life-form of Hungarian grasses. In the fertilized stand the number of competitors increased, but the specialists and disturbance tolerants decreased compared to the control plots. Irrigation reduced the number of social behaviour types. The mean percentage cover of C_4 taxa increased in autumn in all stands. Fertilization increased, but irrigation decreased the mean cover of this functional group in loess grassland.

In all manipulated stands the amount of aboveground biomass and plant potential productivity have exceeded the control values in each year and growing season. The drought of 2003 significantly decreased the yearly net primary production of all grass types except in the irrigated stand. Out of the investigated loess stands the drought stress most seriously (negatively) affected the plots located near Isaszeg. The C content of the biomass changed to a small extent independently from the land use type. Out of the manipulated stands it slightly increased only in the fertilized plots both in the above and

below ground components. Shoot and root N content of the grazing excluded and irrigated stands have exceeded the control values, but in case of above ground biomass in both stands it declined compared with the beginning. Soil total C content of all plots significantly increased during the studied period, especially in „B" layer of loess grasslands and „A" layer in sandy pasture. Soil total N content decreased in all loess stands but significantly increased in sandy areas with lower magnitude (similarly to soil carbon) at the grazing excluded plot.

The developed portable stand CO_2-flux measuring chambers are adequate for examining other non-arborescent plant communities as well as determining their the synphysiological minimi-area. Our results are related not only to basic research but can be used both in environmental protection and nature conservation. The significant carbon sequestration potential of the studied objects also draws an attention to the importance and conservation of the Hungarian natural-like grasslands and grass communities. Our results furthermore can be used for modelling the loess grassland and sandy pasture as well as other plant communities characterized by similar dynamics. It was proved, based on our study, that an initial acclimation period has to be take into consideration during the evaluation of results and their use for model database. Its time-scale depends on the treatment type, the climatic conditions and the intensity of vegetation dynamics.

8. MELLÉKLETEK

M1 IRODALOMJEGYZÉK

ALARD D., BANCE J.-F., FRILEUX P.-N. (1994): Grassland Vegetation as an Indicator of the Main Agro-Ecological Factors in a Rural Landscape: Consequences for Biodiversity and Wildlife Conservation in Central Normandy (France). *Journal of Environmental Management,* 42: 91-109.

ALMÁDI L., KOVÁCS-LÁNG E., MÉSZÁROS-DRASKOVITS R., KALAPOS T. (1986): The relationship between the transpiration and photosynthesis of xerophitic grasses. *Abstracta Botanica*, 10: 1-16.

ANGELL R. F., SVEJCAR T. (1999): A chamber design for measuring net CO_2 exchange on rangeland. *J. Range Management*, 52: 27-31.

ANGELL R. F., SVEJCAR T., BATES J., SALIENDRA N. Z., JOHNSON D. A.(2001): Bowen ratio and closed chamber carbon dioxide flux measurements over sagebrush steppe vegetation. *Agr. Forest Meteorol.*, 108: 153-161.

ARCHIBOLD, O.W. (1995): Ecology of World Vegetation. London: Chapman and Hall, 510 p.

BALDOCCHI D. (2005): The carbon cycle under stress. *Nature*, 437: 483-484.

BALOGH J., FÓTI SZ., JUHÁSZ A., CZÓBEL SZ., NAGY Z.,TUBA Z. (2005): Seasonal CO_2-exchange variations of a temperate semi-desert grassland in Hungary. *Photosynthetica*, 43: 107-110.

BALOGH J., NAGY Z., FÓTI SZ., PINTÉR K., CZÓBEL SZ., PÉLI E. R., ACOSTA M., MAREK M. V., CSINTALAN ZS., TUBA Z. (2007): Comparison of CO_2 and H_2O fluxes over grassland vegetations measured by the eddy-covariance technique and by open system chamber. *Photosynthetica*, 45: 288-292.

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

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

BAUER A., COLE C. V., BLACK A. L. (1987): Soil property comparisons in virgin grasslands between grazed and nongrazed management systems. *Soil Science Society of America Journal*, 51: 176–182.

BAZZAZ F. A. (1996): Plants in Changing Environments. Linking Physiological, Population, and Community Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 320 p.

BÉRES CS., FENYVESI A., RASCHI A., RIDDER H. W. (1998): Field experiment on water transport of oak trees studying by computer tomograph and magnetic resonance imaging. *Chemosphere*, 36: 925-930.

BORHIDI A. (1993): A Magyar flóra szociálismagatártás típusai, természetességi és relatív ökológiai értékszámai. Social behaviour types of the Hungarian Flora, its naturalness and relativ ecological indicator values. Pécs: JPTE, 94 p.

BORHIDI A. (1997): Gondolatok és kételyek: Az Ősmátra-elmélet. *Studia Phytologica Jubilaria*, Pécs, pp. 161-188.

BORHIDI A. (2003): Magyarország növénytársulásai. Budapest: Akadémiai Kiadó, 610 p.

BOUMA T. J., BRYLA D. R. (2000): On the assessment of root and soil respiration for soils of different textures: interactions with soil moisture contents and soil CO_2 concentration. *Plant and Soil*, 227: 215-221.

BURKE I. C, LAURENROTH W. K, MILCHUNAS D. G. (1997): Biogeochemistry of managed grasslands in central North America. 85–102. p. In: Paul E. A, Paustian K, Elliott E. T, Cole C. V. (Szerk.): *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. Boca Raton: CRC Press, 414 p.

BURKE I. C., YONKER C. M., PARTON W. J., COLE C. V., FLACH K., SCHIMEL D. S. (1989): Texture, climate, cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 53: 800–805.

CAMPBELL G. S. (1986): Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an

ellipsoidal inclination angle distribution. *Agr. Forest Meteorol.*, 36: 317-321.

CHEN S. P., BAI Y. F., LIN G. H., LIANG Y., HAN Y. G. (2005): Effects of grazing on photosynthetic characteristics of major steppe species in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Photosynthetica*, 43: 559-565.

CHRISTENSEN B. T. & JOHNSTON A. E. (1997): Soil organic matter and soil quality – lessons learned from long term field experiments at Askov and Rothamsted. 399-430 p. In: GREGORICH G., CARTER M. R. (szerk.): *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Amsterdam: Elsevier, 448 p.

CIAIS PH., REICHSTEIN M., VIOVY N., GRANIER A., OGÉE J., ALLARD V., AUBINET M., BUCHMANN N., BERNHOFER CHR., CARRARA A., CHEVALLIER F., DE NOBLET N., FRIEND A.D., FRIEDLINGSTEIN P., GRÜNWALD T., HEINESCH B., KERONEN P., KNOHL A., KRINNER G., LOUSTAU D., MANCA G., MATTEUCCI G., MIGLIETTA F., OURCIVAL J. M., PAPALE D., PILEGAARD K., RAMBAL S., SEUFERT G., SOUSSANA J. F., SANZ M. J., SCHULZE E. D., VESALA T., VALENTINI R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437: 529-533

CONANT R. T., PAUSTIAN K., ELLIOTT E. T. (2001): Grassland Management and Conversion into Grassland: Effects on Soil Carbon. *Ecological Applications*, 11: 343-355.

CRITCHLEY C. N. R., BURKE M. J. W., STEVENS D. P. (2004): Conservation of lowland semi-natural grasslands in the UK: a review of botanical monitoring results from agri-environment schemes. *Biological Conservation*, 115: 263-278.

CZÓBEL SZ. (2007): A Föld növényzeti övei. 526-546 p. In: TUBA Z., SZERDAHELYI T., ENGLONER A., NAGY J. (szerk.). Botanika I., II., III. Bevezetés a növénytanba, algológiába, gombatanba és a funkcionális növényökológiába. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 730 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, 267 p.

CZÓBEL SZ., BALOGH J., SZIRMAI O., TUBA Z. (2005a): Floating chamber a potential tool for measuring CO_2 fluxes of aquatic plant communities, *Cereal Research Communications*, 33: 165-168.

CZÓBEL SZ., BALOGH J., FÓTI SZ., SZIRMAI SZ., NAGY Z., PÉLI E., NAGY J., SZERDAHELYI T., ENGLONER A., HORVÁTH L., PINTÉR K., TUBA Z. (2005b): Effects of different land use change on temperate semi-natural grasslands. Acta Biologica Szegediensis 49: 133-136

CZÓBEL SZ., FÓTI SZ., BALOGH J., NAGY Z., BARTHA S., TUBA Z. (2005c): Scale analysis in grassland vegetation. A novel approach. *Photosynthetica*, 43: 267-272.

CZÓBEL SZ., SZIRMAI O., SZERDAHELYI T., NAGY J., BALOGH J., FÓTI SZ., PÉLI E, PINTÉR K., HORVÁTH L., NAGY Z. (2007): Megváltoztatott kezelésű hazai gyeptársulásaink funkcionális ökológiai válaszai. *Magyar tudomány* (in press)

DAVIS F. W., SCHIMEL D. S., FRIEDL M. A., MICHAELSEN J. C., KITTEL T. G. F., DUBAYAH R., DOZIER J. (1992): Covariance of biophysical data with digital topographic and land use maps over the FIFE site. *J. geophys. Res.*, 97: 19009-19021.

DORE S., HYMUS G. J., JOHNSON D. P., HINKLE C. R., VALENTINI R., DRAKE B. G. (2003): Cross validation of open-top chamber and eddy covariance measurements of ecosystem CO_2 exchange in a Florida scrub-oak ecosystem. *Global Change Biology*, 9: 84-94

DRASKOVICS R. M. (1979): Light and pigment investigations on species in a Hungarian beechwood. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, 25: 309-324.

DUGAS W. A., HEUER M. L., MAYEUX H. S. (1999): Carbon dioxide fluxes over bermudagrass, native prairie, and sorghum. *Agr. Forest Meteorol.*, 93: 121-139.

DUGAS W. A., REICOSKY D. C., KINIRY J. R. (1997): Chamber and micrometeorological measurements of CO_2 and H_2O fluxes for three C_4 grasses. *Agr. Forest Meteorol.*, 83: 113-133.

EASON W. R., SCULLION J., SCOTT E. P. (1999): Soil parameters and plant responses associated with arbuscular mycorrhizas from contrasting grassland management regimes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73: 245-255.

EHLERINGER J. R. & FIELD C. B. (szerk.) (1993): Scaling Physiological Processes. San Diego: Academic Press, 367 p.

EPSTEIN H. E., LAUENROTH W. K., BURKE I. C., COFFIN D. P. (1996): Ecological responses of dominant grasses along two climatic gradients in the Great Plains of the United States. *Journal of Vegetation Science*, 7: 777-788.

EPSTEIN H. E., LAUENROTH W. K., BURKE I. C., COFFIN D. P. (1997): Productivity patterns of C_3 and C_4 functional types in the U.S. Great Plains. *Ecology*, 78: 722-731.

EYNARD A., SCHUMACHER T. E., LINDSTROM M. J., MALO D. D. (2005): Effects of agricultural management systems on soil organic carbon in aggregates of Ustolls and Usterts. *Soil and Tillage Research,* 81: 253-263.

FEKETE G. (1972): A növénytársulás fiziognómiai struktúrája, a fény és a víz, mint produkcióökológiai tényezők. *MTA Biol. Oszt. Közl.*, 15: 137-158.

FEKETE G. (1981): Növénytársulástan 169-263. p. In: HORTOBÁGYI T., SIMON T.(szerk.) Növényföldrajz, társulástan és ökológia. Budapest: Tankönyvkiadó, 546 p.

FEKETE G. (1992): The holistic view of succession reconsidered. *Coenoses*, 7: 21-29.

FEKETE G., PRÉCSÉNYI I., MOLNÁR E., MELKÓ E. (1976): Niche studies on some plant species of a grassland community. I. Comparison of various measurements. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.* 22: 321-354.

FEKETE, G. & TUBA Z. (1977): Supraindividual versus individual homogenity of photosynthetic pigments: a study on community structure. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung*., 23: 319-331.

FEKETE, G. & TUBA Z. (1982): Photosynthetic activity in the stages of sandy succession. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung*., 28: 291-296.

FEKETE G., TUBA Z., MELKÓ E. (1988): Background processes at the population level during succession in grasslands on sand. *Vegetatio*, 77: 33-41.

FEKETE G., TUBA Z., PRÉCSÉNYI I. (1980): Niche studies on some plant species of a grassland community. VII. Quantity and seasonality of photosynthetic pigments. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.* 26: 289-297.

FEKETE G., TUBA Z., PRÉCSÉNYI I. (1995): Application of three approaches to evaluate abundance and rarity in a sand grassland community. *Coenoses*, 10: 29-38.

FLANAGAN L. B., WEVER L. A., CARLSON P. J. (2002): Seasonal and interannual variation in carbon dioxide exchange and carbon balance in a northern temperate grassland. *Global Change Biology*, 7: 599-615.

FRANK A. B. (2002): Carbon dioxide fluxes over a grazed and seeded pasture int he Northern Great Plains. *Environmental Pollution*, 116: 397-403.

FRANK A. B., DUGAS W. A. (2001): Carbon dioxide fluxes over a northern, semiarid, mixed-grass prairie. *Agr. Forest Meteorol.*, 108: 317-326.

FRANK A. B., LIEBIG M. A., HANSON J. D. (2002): Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands. *Soil Biol. Biochem*., 34: 1235-1241.

GILMANOV T. G., TIESZEN L. L., WYLIE B. K., FLANAGAN L. B., FRANK A. B., HAFERKAMP M. R., MEYERS T. P., MORGAN J. A. (2003): Integration of CO_2 flux and remotely sensed data for primary production and ecosystem respiration analyses int he Northern Great Plains: potential for quantitative spatial extrapolation. *Global Ecology and Biogeography*, 14: 271-292.

GOLLUSCIO R. A., SALA O. E., LAUENROTH W. K. (1998): Differential use of large summer rainfall events by shrubs and grasses: a manipulative experiment in the Patagonian steppe. *Oecologia*, 115: 17-25.

GOUGH L., OSENBERG C. W., GROSS K. L., COLLINS S. L. (2000): Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities. *Oicos*, 89: 429-439.

HASZPRA L. (1995): Carbon dioxide concentration measurements at a rural site in Hungary. *Tellus*, 47: 17-22.

HASZPRA L., BARCZA Z. (2005): A magyarországi légköri szén-dioxid mérések szerepe az éghajlati modellek megalapozásában. *AGRO 21 Füzetek*, 38: 13-26.

HEIDMANN T., CHRISTENSEN B. T., OLESEN S. E. (2002): Changes in soil C and N content in different cropping systems and soil types. 77-86 p., In: PETERSEN S. O., OLESEN J. E. (szerk.) *Greenhouse Gas Inventories for Agriculture int he Nordic Countries*, Helsingør: DIAS, 157 p.

HOOK P. B., LAUENROTH W. K. (1994): Root system response of a perennial bunchgrass to neighbourhood-scale soil water heterogeneity. *Functional Ecology*, 8: 738-745.

HUBERTY L. E., GROSS K. L., MILLER C. J. (1998): Effects of nitrogen addition on successional dynamics and species diversity in Michigan old-fields. *J. Ecol.*, 86: 794-803.

HUI D., LUO Y., XU T., WOFSY S., BALDOCCHI D., SCHMID H., KATUL G., MONSON R., GOLDSTEIN A., CURTIS P., HOLLINGER D. (2003): Contribution of Climatic variables to Seasonal and Interannual Variability in Net Ecosystem Exchange at Eight AmeriFlux Forest Sites**.** 249 p. In AGU (szerk.) *Book of Abstacts of the American Geophysical Union - Fall Meeting*, San Francisco, USA, 997 p.

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

HUXMAN T., SMITH M., FAY P., KNAPP A., SHAW M., LOIK M., SMITH S., TISSUE D., ZAK J., WELTZIN J., POCKMAN W., SALA O., HADDAD B., HARTE J., KOCH G., SCHWINNING S., SMALL E., WILLIAMS D. (2004): Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature*, 429: 651-654.

IUCN report on Biological diversity on Dryland, Mediterranean, Arid, Semi-arid, Savanna and grassland ecosystems (1999) In: *Fourth Meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice*, Montreal, Canada 6 p.

JACQUEMYN H., BRYS R., HERMY M. (2003): Short-term effects of different management regimes ont he response of calcareous grassland vegetation to increased nitrogen. *Biological Conservation*, 111: 137-147.

JENNY H (1980): The soil resource. New York: Springler-Verlag, 377 p.

JUHÁSZ-NAGY P. (1980): A cönológia koegzisztenciális szerkezeteinek modellezése. Akadémiai doktori értekezés, Budapest 106 p.

JUHÁSZ-NAGY P., PODANI J. (1983): Information theory methods for the study of spatial processes and succession. *Vegetatio*, 51: 129-140.

KALAPOS T. (1989): Drought adaptive plant strategies in a semiarid sandy grassland. *Abstacta Botanica*, 13: 1-15.

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

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

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

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* (Vienna, Austria), Rodibrück: Vienna, 728 p.

KOVÁCS-LÁNG E. (1975): Distribution and dynamics of phosphorus, nitrogen and potassium in perennial open sandy steppe - meadow /*Festucetum vaginatae danubiale*/. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, 21: 77-90.

KOVÁCS-LÁNG E., KALAPOS T., MÉSZÁROS-DRASKOVITS R. (1989): Comparison of photosynthesis and transpiration in four species of a semiarid grassland community. *Ekologia Trávneho Porastu*, 3: 67-76.

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: *6. Magyar Ökológus Kongresszus (Gödöllő) - Előadások és poszterek összefoglalói*, Gödöllő: Bessenyei, 306 p.

KOVÁCS-LÁNG E. & SZABÓ M. (1973): Effect of environmental factors on the phytomass production of sandy meadows. *Ann. Univ. Sci. Budapest Sect. Biol.*, 15: 81-89.

KNAPP A. K., BRIGGS J. M., BLAIR J. M., TURNER C. L. (1998): Patterns and controls of aboveground net primary production in tallgrass prairie. 193-221. p. In: Knapp A. K., Briggs J. M., Hartnett D. C., Collins S. L. (szerk.) *Grassland dynamics Long-Term Ecological Research in Tallgrass Prairie.* Oxford New York: University Press, 386 p.

LAVRENKO E. M., KARAMYSHEVA Z.V. (1992): Steppes of the former Soviet Union and Mongolia. 3-59. p. In: COUPLAND, R. T. & GOODALL D. W. (szerk.) *Ecosystems of the World 8B.* Amsterdam: Elsevier, 556 p.

LI S. G., ASANUMA J., EUGSTER W., KOTANI A., LIU J. J., URANO T., OIKAWA T., DAVAA G., OYUNBAATAR D., SUGITA M. (2005): Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biology*, 11: 1941-1955.

LOREAU, M., NAEEM S., INCHAUSTI P., BENGTSSON J., GRIME J. P., HECTOR A., HOOPER D. U., HUSTON M. A., RAFFAELLI D., SCHMID B., TILMAN D., WARDLE D. A. (2001): Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. *Science*, 290: 804-808.

LOVELAND T. R., MERCHANT J. W., OHLEN D. O., BROWN J. F. (1991): Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U. S. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57: 1453-1463.

LOVELL R. D., JARVIS S. C. (1998): Soil microbial biomass and activity in soil from different grassland management treatments stored under controll conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 2077-2085.

LUOTO M., PYKALA J., KUUSSAARI M. (2003): Decline of landscape-scale habitat and species diversity after the end of cattle grazing. *Journal of Nature Conservation*, 11: 171-178.

MARSCHALL M. (1998): Nitrate reductase activity during desiccation and rehydration of the desiccation tolerant moss *Tortula ruralis* (Hedw.) Gaertn *et.al*. and the leafy liverwort *Porella platyphylla* (L.) Pfeiff. *Journal of Bryology*, 20: 273-285.

MATUS G., PAPP M., TÓTHMÉRÉSZ B. (2005): Impact of management on vegetation dynamics and seed bank formation of inland dune grassland in Hungary. *Flora*, 200: 296-306.

MATUS G. & TÓTHMÉRÉSZ B. (1987): The effect of grazing on the structure of a sandy grassland. 23-30. p. In: KRAHULEC F., AGNEW A. D. Q., WILLIAMS J. H. (szerk.) *Spatial processes in plant communities.* The Hague: SPB. Academic Publ., 259 p.

MATUS G., TÓTHMÉRÉSZ B., PAPP M. (2003): Restoration prospects of abandoned species-rich sandy grassland in Hungary. *Appl. Veg. Sci.*, 6: 169-178.

MÉSZÁROS I. (1984): Concentrations of photosynthetic pigments in a turkey-oak forest and its edge. *Acta Bot. Hung*., 31: 209-216.

MÉSZÁROS I. (1988): Struktúrális és ökofiziológiai jellemzők másodlagos erdőszegélyekben. Kandidátusi értekezés, Debrecen, 120 p.

MÉSZÁROS I. & VERES SZ. (2006): Növényökofiziológiai vizsgálatok nyírségi homokpusztagyepben: a fotoszintetikus pigmentösszetétel változékonysága. 151-167 p. In: MOLNÁR E. (szerk.) *Kutatás, oktatás, értékteremtés. A 80 éves Précsényi István köszöntése.* Vácrátót: MTA ÖBKI, 244 p.

MÉSZÁROS I., VERES SZ., TÓTH R. V. (1996): Relationship between the operation of violaxanthin cycle and the PSII quantum yield in sandy grassland species. *Plant Physiology and Biochemistry,* Special Issue: pp. 327.

MOLNÁR E. N., NOSEK N. J. (1979): Spatial processes in a grassland community. I. Number of individuals, biomass and cover at community level. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung*., 25: 339-348.

MONTEITH J. L. & UNSWORTH M. H. (1995): Principles of Environmental Physics. London - New York - Melbourne – Auckland: Edward Arnold, 287 p.

MOONEY H. A. (1991): Plant physiological ecology - determinants of progress. *Functional Ecology*, 5: 127-135.

MUCINA L., BARTHA S. (1999): Variance in species richness and guild proportionality in two contrasting dry grassland community. *Biológia (Bratislava)*, 54: 67-75.

NAGY A. H., HORÁNSZKY A. (1980): Productivity and photosyntetic flexibility in some species of a grassland community. *Acta Botanica*, 26: 443-449.

NAGY Z., CSINTALAN Z., TUBA Z. (2007a): Gyepvegetáció akklimatizációja emelt légköri szén-dioxid koncentrációhoz: hosszú időtartamú kísérletek eredményei. *Magyar tudomány* (in press)

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

NAGY Z., TUBA Z., CSINTALAN ZS. (1993): Ecophysiological responses of different density maize stands under drought stress and during recovery. *Photosynthetica*, 28: 351-359.

NAGY Z., TUBA Z., SZENTE K., UZVÖLGYI J., FEKETE G. (1994): Photosynthesis and water use efficiency during degradation of a semiarid loess steppe. *Photosynthetica*, 30: 307-311.

NORMAN J. M., KUCHARIK C. J., GOWER S. T., BALDOCCHI D. D., CRILL P. M., RAYMENT M., SAVAGE K., STRIEGL R. G. (1997): A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes. *J. geophys. Res*., 28: 771-777.

NOSEK J. N. (1986): Spatial processes in a grassland community, III. species area relation, dominance-diversity curves, changes in the frequency and density of the species. *Acta Bot. Hung*., 32: 61-78.

ORTHEN B. & WEHRMEYER A. (2004): Seasonal dynamics of non-structural carbohydrates in bulbs and shoots of the geophyte *Galanthus nivalis*. *Physiologia Plantarum*, 120: 529-536.

OSEM Y., PEREVOLOTSKY A., KIGEL J. (2004): Site productivity and plant size explain the response of annual species to grazing exclusion in a Mediterranean semi-arid rangeland. *Journal of Ecology*, 92: 297-309.

PARUELO J. M., JOBBAGY E. G., SALA O. E., LAUENROTH W. K., BURKE I. C. (1998): Functional and structural convergence of temperate grassland and shrubland ecosystems. *Ecological Applications*, 8: 194-206.

PASTOR J., DOWNING A., ERICKSON H. E. (1996): Species-area curves and diversity-productivity relationships in beaver meadows of Voyageurs National Park, Minnesota, USA. *Oikos*, 77: 399-406.

PINTÉR K., WEIDINGER T., BARCZA Z., BALOGH J., CZÓBEL SZ., FÓTI SZ., NAGY Z., TUBA Z. (2007): Az ökoszisztéma léptékű fotoszintetikus CO_2 asszimiláció és légzés sajátosságai mérsékeltövi gyepekben. *Magyar tudomány* (in press)

PIPER J. K. BILLINGS D. N., LEITE V. J. (2005): Effects of nitrogen fertilizer on the composition of two prairie plant communities. *Community Ecology*, 6: 93-100.

PÓCS T. (1981): Növényföldrajz. 27-166. p. In: HORTOBÁGYI T., SIMON T.(szerk.) *Növényföldrajz, társulástan és ökológia.* Budapest: Tankönyvkiadó, 546 p.

PRÉCSÉNYI I. & MÉSZÁROS I. (1997): The responses of a *Potentilla arenaria* Borkh. subpopulation to some soil factors in sandy grassland. *Acta Botanica Hungarica,* 40: 193-201.

PRÉCSÉNYI I., PAPP M., NAGY M. (1990): Comparative Analysis of *Potentillo-Festucetum pseudovinea* and *Festuco vaginatae-Corynephoetum* communities. 35-51. p. In: PRÉCSÉNYI I. (szerk.) *Acta Biologica Debrecina Supplementum.* Debrecen: Egyetemi Nyomda, 206 p.

REEDER J. D., SCHUMAN G. E. (2002): Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. *Environmental Pollution,* 116: 87-93.

SALA O. E., LAUENROTH W. K. (1982): Small rainfall events: An ecological role in semiarid regions. *Oecologia*, 53: 301-304.

SALA O. E., PARTON W. J., JOYCE L. A., LAUENROTH W. K. (1988): Primary production of the central grassland region of the United States. *Ecology*, 69: 40-45.

ŠESTÁK, Z., ČATSKÝ, J., JARVIS, P.G. (ed.) (1971): Plant Photosynthetic Production, Manual of Methods. The Hague: Dr W. Junk Publ., 825 p.

SCHIMEL D. S. (1993): New Technologies for Physiological Ecology. 359-365. p. In: Ehleringer J. R. & Field C. B. (szerk.) Scaling Physiological Processes. San Diego: Academic Press, 388 p.

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

SOUSSANA J. F., ALLARD V., PILEGAARD K., AMBUS P., AMMAN C., CAMPBELL C., CESCHIA E., CLIFTON-BROWN J., CZÓBEL SZ., 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. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121: 121-134.

SOUSSANA . F., HARTWIG U. A., ARNONE J. A. (1996): The effects of elevated CO_2 on symbiotic N-2 fixation: A link between carbon and nitrogen cycles in grassland ecosystems. *Plant and Soil*, 187: 321–332.

SPEHN E. M., SCHERER-LORENZEN M., SCHMID B., HECTOR A., CALDEIRA M. C., DIMITRAKOPOULOS P. G., FINN J. A., JUMPPONEN A., DONNOVAN G.O, PEREIRA J. S., SCHULZE E.-D., TROUMBIS A. Y., KÖRNER C. (2002): The role of legumes as a component of biodiversity in a cross-European study of grassland biomass nitrogen. *Oikos*, 98: 205–218.

SU Y. Z., LI Y. L., CUI J. Y., ZHAO W. Z. (2005): Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. *Catena*, 59: 267-278.

SUBA J. & LÉGRÁDY G. (1985): Characteristics of photosynthetic intensity and efficiency in species of a Turkey Oak-Oak phytocenosis. *Acta Bot. Hung*., 31: 283-299.

SUYKER A. E., VERMA S. B. (2001): Year round observations of the net ecosystem exchange of carbon dioxide in a native tallgrass prairie. *Global Change Biology*, 7: 279-289.

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

SZÁSZ G (2005): Termésingadozást kiváltó éghajlati változékonyság a Kárpát-medencében. *AGRO 21 Füzetek*, 40: 33-69.

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

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

SZENTE K., NAGY Z., TUBA Z., FEKETE G. (1996): Photosynthesis of *Festuca rupicola* and *Bothriochloa ischaemum* under degradation and cutting pressure in a semiarid loess grassland. *Photosynthetica*, 32: 399-407.

SZERDAHELYI T., NAGY J., FÓTI SZ., CZÓBEL SZ., BALOGH J., TUBA, Z. (2004a): Botanical composition and selected CO_2 exchange characteristics of temperate semi-desert sand grassland in Hungary under present-day and elevated air CO_2 concentracions. *Ekologia Bratislava*, 23: 124-136.

SZERDAHELYI T., FÓTI SZ., NAGY J., CZÓBEL SZ., BALOGH J., TUBA Z. (2004b): Species composition and CO_2 exchange of a temperate loess grassland *(Salvio-Festucetum rupicolae)* at present-day and the expected future air CO_2 concentrations. *Ekologia Bratislava*, 23:137-146.

THIEL-EGENTER C., RISCH A. C., JURGENSEN M. F., PAGE-DUMROESE D. S., SCHÜTZ M. (2007): Response of a subalpine grassland to simulated grazing: aboveground productivity along soil phosphorus gradients. *Photosynthetica*, (in press)

TILMAN D. (1987): Secondary succession and pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients. *Ecol. Monographs*, 57: 189-214.

TUBA Z. (1984): Rearrangement of photosynthetic pigment composition in C_4, C_3 and CAM species during drought and recovery. *J. Plant Physiol.*, 115: 331-338.

TUBA Z. (2005): Az emelkedő légköri CO_2-koncentráció hatása növényközösségek összetételére, szerkezetére és produkciójára. *Bot. Közlemények*, 92: 189-206.

TUBA Z. & CSINTALAN ZS. (2002): Bevezetés a növényélettanba I. Fotoszintézis, Légzés, Vízgazdálkodás.– Oktatási segédanyag, Gödöllő: Egyetemi Kiadó, 124 p.

TUBA Z., CSINTALAN ZS., PROCTOR M. C. F. (1996): Photosynthetic responses of a moss, *Tortula ruralis* (Hedw.) Gaertn. et al. *ssp. ruralis*, and the lichens *Cladonia convoluta* (Lam.) P. Cout. and *C. furcata* (Huds.) Schrad. to water deficit and short periods of desiccation, and their eco-physiological significance: a baseline study at present-day CO_2 concentration. *New. Phytol.*, 133: 353-361.

TUBA Z., CSINTALAN ZS., NAGY Z., SZENTE K., KEMÉNY G., TAKÁCS Z., KOCH J., BADACSONYI A., MURAKEÖZY P., PALICZ G., KÓBOR SZ., ÖTVÖS E., BARTHA S. (1998): Szünfiziológia: alapozó gondolatok és exploratív vizsgálatok egy születő növényökológiai tudományterülethez. 171-196. p. In: Fekete, G. (szerk.) *A közösségi ökológia frontvonalai*. Budapest: Scientia Kiadó, 233 p.

TUBA Z., NAGY Z., CZÓBEL SZ., BALOGH J., CSINTALAN ZS., FÓTI SZ., JUHÁSZ A., PÉLI E, SZENTE K., PALICZ G., HORVÁTH L., WEIDINGER T., PINTÉR K., VIRÁGH K., NAGY J., SZERDAHELYI T., ENGLONER A., SZIRMAI O., BARTHA S. (2004): Hazai gyeptársulások funkcionális ökológiai válszai, C-körforgalma és üvegházhatású gázainak mérlege jelenlegi és jövőbeni várható éghajlati viszonyok, illetve eltérő használati módok mellett. *AGRO 21 Füzetek*, 37: 123-138.

TURNER C. L. & KNAPP A. K. (1996): Responses of a C_3 grass and three C_3 forbs to variation in nitrogen and light in a tallgrass prairie. *Ecology*, 77: 1738-1749.

VALENTINI R., GAMON J. A., FIELD C. B. (1995): Ecosystem gas exchange in a California grassland: seasonal patterns and implications for scaling. *Ecology*, 76: 1940-1952.

VARGA-HASZONITS Z. & VARGA Z. (2004): Az éghajlati változékonyság és a természeti periódusok. *AGRO 21 Füzetek*, 37: 23-32.

VARNAMKHASTI A. S., MILCHUNAS D. G., LAUENROTH W. K., GOETZ H. (1995): Production and Rain Use Efficiency in Short-Grass Steppe: Grazing History, Defoliation and Water Resource. *Journal of Vegetation Science*, 6: 787-796.

VERES SZ., TÓTH V. R., LÁPOSI R., OLÁH V., LAKATOS G., MÉSZÁROS I. (2006): Carotenoid composition and photochemical activity of four sandy grassland species. *Photosynthetica*, 44: 255-261.

VERSEGHY K., KOVÁCS-LÁNG E. (1971): Investigations on production of grassland communities of sandy soil in the IBP area near Csévharaszt (Hungary) I. Production of lichens. *Acta biol. Acad. Sci. hung.*, 22: 393-411.

VIRÁGH K. (1982): Vegetation dynamics induced by some herbicides in a perennial grassland community. *Acta Bot. Hung.* 28: 424-447.

VIRÁGH K. (1986): The effect of herbicides on vegetation dynamics; A multivariate study. *Abstracta Botanica*, 10: 317-340.

VIRÁGH K. (1987a): The effects of herbicides on vegetation dynamics; A 5-year study of temporal variation of species composition in permanent grassland plots. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica,* 22: 385-405.

VIRÁGH K. (1987b): The effect of herbicides on vegetation dynamics; Comparision of classifications. *Abstracta Botanica*, 11: 53-70.

VIRÁGH K. (1989a): The effect of selective herbicides on structural changes of an old perennial grassland community; An experimental approach to the study of community stability: resilience and resistance. *Acta Bot. Hung.*, 35: 99-125.

VIRÁGH K. (1989b): The effect of selective herbicides on temporal population patterns in an old perennial grassland community. *Acta Bot. Hung.*, 35: 127-143.

VIRÁGH K. (1991): Diversity and resilience after herbicide disturbances in a Hungarian perennial grassland community. 223-227. p. In: Pineda F. D., Casado M. A. *et al.* (szerk.) *Biological Diversity.* Madrid: Fundación Ramon Aceres, 300 p.

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

VIRÁGH K. (1992b): Diszturbációt követő vegetációdinamizmus egy sztyeptársulásban. Kandidátusi értekezés, Vácrátót. 125 p.

VIRÁGH K. (1994): Spatial aspects of vegetation dynamics induced by herbicide disturbances in a Hungarian loess grassland community. *Tiscia*, 28: 3-13.

VIRÁGH K. (2000): Vegetációdinamika és szukcessziókutatás az utóbbi 15 évben. 53-79 p. In: Virágh, K, Kun, A. (szerk.): *Vegetáció és dinamizmus.* Vácrátót: MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, 255 p.

VIRÁGH K. & BARTHA S. (1996): The effect of current dynamical state of a loess steppe community on its responses to disturbances. *Tiscia*, 3: 3-13.

VIRÁGH K. & FEKETE G. (1984): Degradation stages in a xeroseries: composition, similarity, grouping, coordination. *Acta Bot. Hung.*, 30: 427-459.

VIRÁGH K., HORVÁTH F., BOKROS SZ. (1995): Modelling the regeneration dynamics of a Hungarian loess steppe community. 214 p. In: Demeter, A. és Peregovits L. (szerk.): *'Ecological processes: Current status and Perspectives'*. Abstracts of EURECO'95, 7th European Ecological Congress, Budapest, August 20-25, 1995. Hungary.

VLEESHOUWERS L. M. & VERHAGEN A. (2002): Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*, 8: 519-530.

WELLES J. M., DEMETRIADES-SHAH T. H., MCDERMITT D. K. (2001): Considerations for measuring ground CO_2 effluxes with chambers. *Chemical Geology*, 177: 3-13.

WU J. G., LOUCKS O. (1992): Xilingele. 67-84 p. In: Committee on Scholarly Communication with the People's Republic of China, National Research Council (szerk.): *Grassland and grassland sciences in Northern China*, Washington: National Academies Press, 214 p.

WYLIE B. K., JOHNSON D. A., LACA E., SALIENDRA N. Z., GILMANOV T. G., REED B. C., TIESZEN L. L., WORSTELL B. B. (2003): Calibration of remotely sensed, coarse resolution NDVI to CO_2 fluxes in a sagebrush-steppe ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 85: 243-255.

XU L. & BALDOCCHI D. D. (2004): Seasonal variation in carbon dioxide exchange over a Mediterranean annual grassland in California. Agricultural and Forest Meteorology. 123: 79–96.

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. *Global Change Biology*, 10: 161-169.

ZAMOLODCHIKOV D. G. & KARELIN D. V. (2001): An empirical model of carbon fluxes in Russian tundra. *Global Change Biol.*, 7: 147-161.

ZÓLYOMI B. & FEKETE G. (1994): The Pannonian loess steppe: Differentiation in space and time. *Abstracta Botanica*, 18: 29-41.

Elektronikus hivatkozások:

VIRÁGH K.(*s.a.*): Vegetációdinamikai kutatások. http://www.obki.hu/kutatas/kutnom/vegdin50.rtf
www.cuma.hu/szakkor/homepage/szakkor/csapadek.html (Isaszeg havi csapadékösszegei)
www.weatheronline.co.uk (Kecskemét havi csapadékösszegei)

M2 CÖNOLÓGIAI TÁBLÁZATOK

III. táblázat
Bugac, 2002. július 2.
nem legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Nagy János

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
70	*Festuca valesiaca*	H	C
8.4	*Carex stenophylla*	G	G
6.1	*Cynodon dactylon*	G	RC
4	*Achillea pannonica*	H	DT
3	*Medicago lupulina*	Th	DT
2.4	*Elymus repens*	G	RC
2	*Medicago falcata*	H	DT
1.9	*Helictotrichon pubescens*	H	G
1.3	*Poa angustifolia*	H	DT
1.2	*Galium verum*	H	DT
0.8	*Veronica prostrata*	Ch	G
0.6	*Convolvulus arvensis*	H	RC
0.6	*Trifolium arvense*	Th	DT
0.4	*Arrhenatherum elatius*	H	DT
0.3	*Plantago maritima*	H	G
0.3	*Arenaria serpyllifolia*	Th	NP
0.2	*Potentilla arenaria*	H	G
0.2	*Medicago minima*	Th	G
0.1	*Holoscoenus romanus*	G	C
0.1	*Melandrium album*	Th	W
0.001	*Poa bulbosa*	H	NP
0.001	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.001	*Bromus mollis*	Th	DT
0.001	*Alyssum alyssoides*	Th	NP
0.001	*Erophila verna*	Th	NP
0.001	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.001	*Carduus nutans*	TH	DT
0.001	*Capsella bursa-pastoris*	Th	W
0.001	*Erysimum diffusum*	TH	NP
0.001	*Brassica elongata*	Th	S
0.001	*Cerastium semidecandrum*	Th	NP

IV. táblázat
Bugac, 2002. október 10.
nem legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Nagy János

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
62.1	*Festuca pseudovina*	H	C
19.5	*Achillea collina*	H	DT
16.3	*Potentilla reptans*	H	DT
15	*Taraxacum serotinum*	H	S
11.1	*Carex stenophylla*	G	G
10.7	*Medicago falcata*	H	DT
9.2	*Achillea setacea*	H	G
7.2	*Cynodon dactylon*	G	RC
6.9	*Elymus repens*	G	RC
6.4	*Plantago maritima*	H	G
6	*Galium verum*	H	DT
4.5	*Dactylis glomerata*	H	DT
4.2	*Medicago lupulina*	Th	DT
4.2	*Poa angustifolia*	H	DT
3.5	*Medicago minima*	Th	G
2.8	*Arrhenatherum elatior*	H	DT
2.8	*Veronica austriaca*	H	G
2.3	*Melandrium album*	Th	W
2.1	*Poa pratensis*	H	G
2	*Centaurea micranthos*	TH	DT
2	*Galium mollugo*	H	G
2	*Taraxacum officinale*	TH	RC
1.6	*Serratula tinctoria*	H	G
1.3	*Achillea setacea*	H	G
1.1	*Geranium pusillum*	Th	DT
1	*Amaranthus retroflexus*	Th	RC
1	*Carduus nutans*	TH	DT
1.0	*Chenopodium album*	Th	RC
1	*Eryngium campestre*	H	DT
1	*Plantago lanceolata*	H	DT
0.8	*Cerastium semidecandrum*	Th	NP
0.7	*Leontodon hispidus*	H	DT
0.6	*Polygonum arenarium*	Th	NP
0.5	*Holcus lanatus*	H	G
0.5	*Lathyrus tuberosus*	H	W
0.5	*Leontodon autumnalis*	H	DT
0.4	*Concolvulus arvensis*	H	RC

V. táblázat
Bugac, 2003. október 18.
nem legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Nagy János

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
32.6	*Festuca pseudovina*	H	C
10.6	*Cynodon dactylon*	G	RC
10	*Marrubium peregrinum*	H	W
6.9	*Achillea setacea*	H	G
6.5	*Achillea collina*	H	DT
4.9	*Elymus repens*	G	RC
4.4	*Carex stenophylla*	G	G
4.2	*Arrhenatherum elatius*	H	DT
2.8	*Plantago maritima*	H	G
2.4	*Dactylis glomerata*	H	DT
2.3	*Galium verum*	H	DT
2.2	*Medicago falcata*	H	DT
2	*Carduus nutans*	TH	DT
1.6	*Carex divisa*	G	G
1.6	*Veronica austriaca*	H	G
1.5	*Medicago minima*	Th	G
1.2	*Carex praecox*	H	G
1	*Lathyrus tuberosus*	H	W
0.9	*Poa pratensis*	H	G
0.8	*Medicago lupulina*	Th	DT
0.6	*Melandrium album*	Th	W
0.3	*Cerastium semidecandum*	Th	NP
0.2	*Chenopodium album*	Th	RC
0.1	*Knautia arvensis*	H	DT

VI. táblázat
Bugac, 2004. június 24.
nem legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Gál Bernadett, Nagy János

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
24.33	*Carex stenophylla*	G	G
23.37	*Festuca valesiaca*	H	C
9.41	*Arenaria serpyllifolia*	Th	NP
9.17	*Medicago falcata*	H	DT
8.72	*Trifolium campestre*	Th	DT
6.52	*Cynodon dactylon*	G	RC
3.11	*Poa bulbosa*	H	NP
2.64	*Galium verum*	H	DT
2.01	*Cerastium semidecandrum*	Th	NP
1.4	*Medicago minima*	Th	G
1.14	*Carex divisa*	G	G
0.83	*Draba nemorosa*	Th	NP
0.68	*Holosteum umbellatum*	Th	W
0.61	*Elymus repens*	G	RC
0.49	*Eryngium campestre*	H	DT
0.46	*Buglossoides arvensis*	H	DT
0.35	*Convolvulus arvensis*	H	RC
0.35	*Alyssum alyssoides*	Th	NP
0.31	*Veronica triphyllos*	Th	NP
0.3	*Plantago arenaria*	Th	NP
0.26	*Achillea setacea*	H	G
0.25	*Holoschoenus romanus*	G	C
0.19	*Erysimum diffusum*	TH	NP
0.16	*Veronica polita*	Th	W
0.15	*Melandrium album*	Th	W
0.12	*Erodium cicutarium*	Th	W
0.11	*Capsella bursa-pastoris*	Th	W
0.09	*Arabis auriculata*	Th	G
0.09	*Geranium pusillum*	Th	DT
0.07	*Viola kitaibeliana*	Th	NP
0.05	*Astragalus vesicarius*	H	S
0.05	*Poa pratensis*	H	G
0.03	*Veronica austriaca*	H	G
0.03	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.02	*Cruciata laevipes*	H	DT
0.02	*Silene conica*	Th	NP
0.01	*Vicia angustifolia*	Th	DT

0.002	*Bromus mollis*	Th	DT
0.002	*Camelina microcarpa*	Th	W
0.002	*Myosotis stricta*	Th	NP
0.002	*Polygonum arenarium*	Th	NP
0.001	*Veronica hederifolia*	Th	W
0.0004	*Medicago lupulina*	Th	DT

VII. táblázat
Bugac, 2002. július 2.
legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Engloner Attila, Szerdahelyi Tibor

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
58.4	*Festuca pseudovina*	H	C
13.2	*Cynodon dactylon*	G	RC
2.8	*Medicago falcata*	H	DT
2.6	*Achillea pannonica*	H	DT
1.1	*Galium verum*	H	DT
0.5	*Eryngium campestre*	H	DT
0.3	*Veronica austriaca*	H	G
0.2	*Ononis spinosa*	Ch	DT
0.2	*Carex stenophylla*	G	G
0.001	*Thymus praecox*	Ch	S
0.001	*Elymus repens*	G	RC
0.001	*Holoschoenus romanus*	G	C
0.001	*Potentilla arenaria*	H	G
0.001	*Poa angustifolia*	H	DT
0.001	*Sanguisorba minor*	H	G
0.001	*Cerastium pumilum*	Th	NP
0.001	*Bromus mollis*	Th	DT
0.001	*Erysimum diffusum*	TH	NP
0.001	*Melandrium album*	Th	W
0.001	*Alyssum alissoides*	Th	NP
0.001	*Carduus nutans*	TH	DT
0.001	*Lactuca viminea*	TH	G
0.001	*Medicago minima*	Th	G
0.001	*Taraxacum officinale*	TH	RC

VIII. táblázat
Bugac, 2002. október 10.
legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Engloner Attila, Szerdahelyi Tibor

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
53.1	*Festuca pseudovina*	H	C
24.7	*Cynodon dactylon*	G	RC
7	*Achillea setacea*	H	G
4	*Carex stenophylla*	G	G
2.7	*Medicago falcata*	H	DT
2.6	*Potentilla arenaria*	H	G
2.2	*Achillea collina*	H	DT
1	*Veronica austriaca*	H	G
1	*Medicago lupulina*	Th	DT
0.9	*Elymus repens*	G	RC
0.9	*Galium verum*	H	DT
0.7	*Trifolium pratense*	H	DT
0.6	*Melandrium album*	Th	W
0.5	*Polygonum arenarium*	Th	NP
0.2	*Eryngium campestre*	H	DT
0.1	*Cerastium semidecandrum*	Th	NP
0.1	*Achillea setacea*	H	G
0.1	*Achillea pannonica*	H	DT
0.1	*Amaranthus retroflexus*	Th	RC
0.1	*Chenopodium album*	Th	RC
0.1	*Erodium cicutarium*	Th	W
0.1	*Erysimum diffusum*	TH	NP
0.1	*Lathyrus tuberosus*	H	W
0.1	*Leontodon hispidus*	H	DT
0.1	*Medicago minima*	Th	G
0.1	*Serratula tinctoria*	H	G
0.1	*Taraxacum officinale*	TH	RC
0.1	*Verbascum phoeniceum*	H	G
0.1	*Geranium pusillum*	Th	DT

IX. táblázat
Bugac, 2003. október 18.
legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Engloner Attila, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
25	*Dactylis glomerata*	H	DT
20.2	*Cynodon dactylon*	G	RC
14	*Festuca pseudovina*	H	C
8.6	*Achillea collina*	H	DT
6.6	*Carex stenophylla*	G	G
6.3	*Ononis spinosa*	Ch	DT
3.2	*Galium verum*	H	DT
2.8	*Potentilla arenaria*	H	G
1.8	*Medicago falcata*	H	DT
1.2	*Veronica austriaca*	H	G
1	*Eryngium campestre*	H	DT
0.8	*Melandrium album*	Th	W
0.5	*Elymus repens*	G	RC
0.3	*Erysimum diffusum*	TH	NP
0.1	*Cerastium pumilum*	Th	NP
0.1	*Taraxacum officinale*	TH	RC
0.1	*Erodium cicutarium*	Th	W
0.1	*Verbascum phoeniceum*	H	G

X. táblázat
Bugac, 2004. június 24.
legelt *Cynodonti-Festucetum pseudovinae* állomány
felvételező: Engloner Attila, Szerdahelyi Tibor

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
42.5	*Festuca pseudovina*	H	C
18.52	*Cynodon dactylon*	G	RC
17.86	*Cerastium semidecandrum*	Th	NP
16.32	*Medicago falcata*	H	DT
10.16	*Medicago lupulina*	Th	DT
6.03	*Carex stenophylla*	G	G
5.4	*Galium verum*	H	DT
5.26	*Achillea collina*	H	DT
1.37	*Eryngium campestre*	H	DT
0.39	*Poa bulbosa*	H	NP
0.19	*Erophila verna*	Th	NP
0.16	*Veronica austriaca*	H	G
0.12	*Poa compressa*	H	DT
0.1	*Potentilla arenaria*	H	G
0.08	*Silene vulgaris*	H	DT
0.08	*Alyssum alyssoides*	Th	NP
0.06	*Erysimum diffusum*	TH	NP
0.02	*Melandrium album*	Th	W
0.02	*Vicia angustifolia*	Th	DT
0.005	*Cruciata laevipes*	H	DT
0.001	*Elymus repens*	G	RC
0.001	*Bromus mollis*	Th	DT
0.001	*Myosotis stricta*	Th	NP
0.0003	*Erodium cicutarium*	Th	W
0.0002	*Capsella bursa-pastoris*	Th	W
0.0002	*Buglossoides arvensis*	Th	DT
0.0002	*Geranium pusillum*	Th	DT
0.0001	*Anthemis ruthenica*	Th	NP
0.0001	*Ambrosia artemisiifolia*	Th	AC
0.0001	*Bromus tectorum*	Th	DT
0.0001	*Berteroa incana*	Th	W
0.00004	*Cirsium arvense*	G	RC
0.00004	*Taraxacum officinale*	H	RC
0.00004	*Viola arvensis*	Th	W
0.00004	*Falcaria vulgaris*	Th	W

XI. táblázat

Isaszeg, 2002. június 13.

műtrágyázott *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány

felvételező: Szerdahelyi Tibor, Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
78	*Festuca rupicola*	H	C
12	*Dorycnium herbacem*	H	G
5.6	*Salvia nemorosa*	H	DT
3	*Chrysopogon gryllus*	H	C
2.1	*Eryngium campestre*	H	DT
2	*Thymus praecox*	Ch	S
0.8	*Astragalus onobrychis*	H	G
0.3	*Seseli osseum*	H	G
0.1	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.1	*Galium verum*	H	DT
0.001	*Rhinanthus minor*	Th	G
0.001	*Falcaria vulgaris*	Th	W
0.001	*Chamaecytisus austriacus*	N	G
0.001	*Crataegus monogyna*	M	G
0.001	*Centaurea sadleriana*	H	G
0.001	*Achillea collina*	H	DT
0.001	*Elymus repens*	G	RC
0.001	*Genista tinctoria*	Ch	G
0.001	*Rubus caesius.*	N	DT
0.001	*Prunus spinosa*	M	C
0.001	*Pyrus pyraster*	M	G
0.001	*Hypericum perforatum*	H	DT
0.001	*Pimpinella saxifraga*	H	G

XII. táblázat
Isaszeg, 2002. október 1.
műtrágyázott *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Szerdahelyi Tibor, Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
28	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
22	*Festuca rupicola*	H	C
9.4	*Salvia nemoralis*	H	DT
2	*Dorycnium herbaceum*	H	G
0.1	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.1	*Galium verum*	H	DT
0.001	*Rubus caesius*	N	DT
0.001	*Prunus spinosa*	M	C
0.001	*Pyrus pyraster*	M	G
0.001	*Centaurea sadleriana*	H	G
0.001	*Hypericum perforatum*	H	DT
0.001	*Coronilla varia*	H	DT
0.001	*Eryngium campestre*	H	DT
0.001	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.001	*Medicago falcata*	H	DT
0.001	*Seseli osseum*	H	G
0.001	*Elymus repens*	G	RC
0.001	*Genista tinctoria*	Ch	G
0.001	*Thymus praecox*	Ch	S

XIII. táblázat
Isaszeg, 2003. október 15.
műtrágyázott *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
24.2	*Festuca rupicola*	H	C
13	*Salvia nemorosa*	H	DT
6.2	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
6	*Dorycnium herbaceum*	H	G
3.6	*Dactylis glomerata*	H	DT
2.4	*Onobrychis viciaefolia*	H	DT
1	*Centaurea sadleriana*	H	G
0.8	*Seseli osseum*	H	G
0.8	*Prunus spinosa*	M	C
0.3	*Poa pratensis*	H	G
0.2	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.04	*Medicago falcata*	H	DT
0.02	*Galium verum*	H	DT

XIV. táblázat
Isaszeg, 2004. június 22.
műtrágyázott *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
57.50	*Salvia nemorosa*	H	DT
8.75	*Astragalus onobrychis*	H	G
6.13	*Festuca rupicola*	H	C
3.25	*Dorycnium herbaceum*	H	G
2.94	*Dactylis glomerata*	H	DT
2.50	*Medicago falcata*	H	DT
1.88	*Koeleria cristata*	H	G
1.50	*Seseli osseum*	H	G
1.31	*Arabis hirsuta*	TH	G
1.25	*Centaurea sadleriana*	H	G
0.75	*Bromus inermis*	H	C
0.63	*Eryngium campestre*	H	DT
0.50	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
0.50	*Knautia arvensis*	H	DT
0.06	*Silene multiflora*	H	G
0.01	*Apera spica-venti*	Th	W
0.01	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.01	*Myosotis arvensis*	Th	DT
0.01	*Poa pratensis*	H	G

XV. táblázat
Isaszeg, 2004. november 4.
műtrágyázott *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
36.25	*Festuca rupicola*	H	C
25	*Salvia nemorosa*	H	DT
11.25	*Dactylis glomerata*	H	DT
6	*Botriochloa ichaemum*	H	DT
3.75	*Seseli osseum*	H	G
3	*Dorycnium herbaceum*	H	G
0.75	*Galium verum*	H	DT
0.75	*Knautia arvensis*	H	DT
0.75	*Silene otites*	H	G
0.375	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.25	*Rubus caesius*	N	DT
0.25	*Prunus spinosa*	M	C
0.25	*Eryngium campestre*	H	DT
0.25	*Onobrychis viciifolia*	H	DT

XVI. táblázat
Isaszeg, 2002. június 13.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Szerdahelyi Tibor, Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
60	*Festuca rupicola*	H	C
8	*Euphorbia pannonica*	H	S
7	*Linum hirsutum*	H	S
6.2	*Eryngium campestre*	H	DT
5	*Dorycnium herbacem*	H	G
4.6	*Onobrychis viciifolia*	H	DT
3	*Salvia nemorosa*	H	DT
1.2	*Astragalus onobrychis*	H	G
0.6	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.4	*Chrysopogon gryllus*	H	C
0.2	*Dianthus pontederae*	H	G
0.1	*Galium verum*	H	DT
0.001	*Verbascum phlomoides*	TH	W
0.001	*Rhinanthus minor*	Th	G
0.001	*Myosotis arvensis*	Th	DT
0.001	*Melandrium album*	Th	W
0.001	*Acinos arvensis*	TH	NP
0.001	*Crataegus monogyna*	M	G
0.001	*Seseli osseum*	H	G
0.001	*Coronilla varia*	H	DT
0.001	*Pimpinella saxifraga*	H	G
0.001	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.001	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.001	*Achillea collina*	H	DT
0.001	*Elymus repens*	G	RC

XVII. táblázat
Isaszeg, 2002. október 1.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Szerdahelyi Tibor, Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
65	*Festuca rupicola*	H	C
12	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
4	*Dorycnium herbaceum*	H	G
2	*Salvia nemorosa*	H	DT
1.8	*Linum hirsutum*	H	S
1.2	*Galium verum*	H	DT
0.9	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.7	*Eryngium campestre*	H	DT
0.2	*Astragalus onobrychis*	H	G
0.2	*Euphorbia pannonica*	H	S
0.001	*Acinos arvensis*	TH	NP
0.001	*Odontites rubra*	Th	DT
0.001	*Crataegus monogyna*	M	G
0.001	*Achillea collina*	H	DT
0.001	*Coronilla varia*	H	DT
0.001	*Onobrychis viciaefolia*	H	DT
0.001	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.001	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.001	*Pimpinella saxifraga*	H	G
0.001	*Seseli osseum*	H	G
0.001	*Silene multiflora*	H	G

XVIII. táblázat
Isaszeg, 2003. október 15.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
28.4	*Festuca rupicola*	H	C
13	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
5	*Dorycnium herbaceum*	H	G
6.3	*Medicago falcata*	H	DT
4	*Salvia nemorosa*	H	DT
1.2	*Onobrychis viciaefolia*	H	DT
0.2	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.2	*Poa pratensis*	H	G
1	*Seseli osseum*	H	G
2	*Euphorbia pannonica*	H	S
0.2	*Prunus spinosa*	M	C

XIX. táblázat
Isaszeg, 2004. június 7.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
40	*Festuca rupicola*	H	C
11.6	*Onobrychis viciifolia*	H	DT
6	*Dorycnium herbaceum*	H	G
5.6	*Salvia nemorosa*	H	DT
4.6	*Koeleria cristata*	H	G
3.6	*Eryngium campestre*	H	DT
2.6	*Astragalus onobrychis*	H	G
2	*Euphorbia pannonica*	H	S
1.8	*Seseli osseum*	H	G
1	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.6	*Galium verum*	H	DT
0.6	*Elymus repens*	G	RC
0.4	*Achillea collina*	H	DT
0.4	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.4	*Linum hirsutum*	H	S
0.4	*Pimpinella saxifraga*	H	G
0.4	*Poa pratensis*	H	G
0.2	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.2	*Coronilla varia*	H	DT
0.2	*Knautia arvensis*	H	DT
0.2	*Medicago falcata*	H	DT
0.2	*Silene otites*	H	G
0.1	*Crataegus monogyna*	M	G

XX. táblázat
Isaszeg, 2004. november 4.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
51.25	*Festuca rupicola*	H	C
6.25	*Eryngium campestre*	H	DT
5.25	*Dactylis glomerata*	H	DT
4.75	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
4.375	*Seseli osseum*	H	G
2.5	*Elymus intermedium*	G	DT
1.625	*Coronilla varia*	H	DT
1.5	*Galeopsis ladanum*	Th	W
1.5	*Onobrychis viciifolia*	H	DT
1.375	*Silene otites*	H	G
0.5	*Galium verum*	H	DT
0.5	*Poa pratensis*	H	G
0.5	*Salvia nemorosa*	H	DT
0.375	*Euphorbia polychroma*	H	G
0.25	*Achillea collina*	H	DT
0.25	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.125	*Arabis hirsuta*	TH	G
0.125	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.125	*Knautia arvensis*	H	DT
0.125	*Medicago falcata*	H	DT
0.125	*Sanguisorba minor*	H	G

XXI. táblázat
Gödöllő, 2002. június 20.
kiindulási állapot (öntözött és kontroll) *Salvio-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Nagy János

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
80	*Festuca valesiaca*	H	C
8.7	*Bromus inermis*	H	C
6.2	*Brachypodium pinnatum*	H	C
2.1	*Salvia nemorosa*	H	DT
2.1	*Seseli osseum*	H	G
2	*Coronilla varia*	H	DT
1.8	*Dactylis glomerata*	H	DT
1.1	*Knautia arvensis*	H	DT
0.9	*Melilotus officinalis*	Th	W
0.8	*Koeleria cristata*	H	G
0.8	*Melandrium album*	Th	W
0.6	*Galium verum*	H	DT
0.6	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.5	*Silene otites*	H	G
0.5	*Ambrosia artemisiifolia*	Th	AC
0.4	*Thymus glabrescens*	Ch	G
0.4	*Achillea collina*	H	DT
0.4	*Eryngium campestre*	H	DT
0.4	*Rapistrum perenne*	TH	G
0.3	*Euphorbia pannonica*	H	S
0.3	*Poa pratensis*	H	G
0.3	*Daucus carota*	Th	DT
0.2	*Ononis spinosa*	Ch	DT
0.2	*Pimpinella saxifraga*	H	G
0.2	*Salvia pratensis*	H	G
0.001	*Lathyrus tuberosus*	H	W
0.001	*Leontodon autumnalis*	H	DT
0.001	*Onobrychis viciifolia*	H	DT
0.001	*Convolvulus arvensis*	H	RC
0.001	*Medicago lupulina*	Th	DT
0.001	*Falcaria vulgaris*	Th	W
0.001	*Chenopodium album*	Th	RC
0.001	*Veronica verna*	Th	NP
0.001	*Viola sp.*	TH	G
0.001	*Vicia angustifolia*	Th	DT

XXII. táblázat
Gödöllő, 2002. november 15.
öntözött *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Nagy János

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
49.7	*Festuca valesiaca*	H	C
25.5	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
15.2	*Carex praecox*	H	G
10.3	*Bromus inermis*	H	C
7.6	*Dactylis glomerata*	H	DT
1	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.8	*Galium verum*	H	DT
0.6	*Knautia arvensis*	H	DT
0.3	*Hypericum perforatum*	H	DT
0.3	*Salvia pratensis*	H	G
0.3	*Rapistrum perenne*	TH	G
0.2	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.2	*Coronilla varia*	H	DT
0.2	*Euphorbia pannonica*	H	S
0.2	*Salvia nemorosa*	H	DT
0.1	*Achillea collina*	H	DT
0.1	*Galium mollugo*	H	G
0.1	*Seseli osseum*	H	G
0.1	*Silene vulgaris*	H	DT
0.001	*Pimpinella saxifraga*	H	G
0.001	*Hieracium sp.*	H	G
0.001	*Leontodon hispidus*	H	DT
0.001	*Linaria kocianowichii*	H	Gr
0.001	*Linaria vulgaris*	H	W
0.001	*Centaurea pannonica*	H	DT
0.001	*Centaurea sadleriana*	H	G
0.001	*Vicia angustifolia*	Th	DT
0.001	*Stellaria media*	Th	DT
0.001	*Thesium dollineri*	TH	W
0.001	*Daucus carota*	Th	DT

XXIII. táblázat
Gödöllő, 2003. június 5.
öntözött *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
26.19	*Festuca rupicola*	H	C
19.81	*Festuca valesiaca*	H	C
13.88	*Dactylis glomerata*	H	DT
5.5	*Convolvulus arvensis*	H	RC
4.69	*Arrhenatherum elatius*	H	DT
4.19	*Agropyron repens*	G	RC
3.51	*Seseli osseum*	H	G
3.31	*Coronilla varia*	H	DT
2.69	*Medicago lupulina*	Th	DT
2.31	*Gallium verum*	H	DT
1.56	*Knautia arvensis*	H	DT
1.25	*Bromus inermis*	H	C
1.25	*Filipendula vulgaris*	H	G
1.25	*Silene vulgaris*	H	DT
1	*Eryngium campestre*	H	DT
0.94	*Salvia nemorosa*	H	DT
0.56	*Linum hirsutum*	H	S
0.56	*Euphorbia salicifolia*	H	DT
0.5	*Taraxacum officinale*	TH	RC
0.44	*Phleum phleoides*	H	G
0.31	*Tragopogon dubius*	TH	DT
0.31	*Stellaria media*	Th	DT
0.31	*Verbascum sp,*	H	G
0.31	*Melandrium viscosum*	Th	S
0.27	*Poa pratensis*	H	G
0.19	*Koeleria cristata*	H	G
0.19	*Pimpinella saxifraga*	H	G
0.13	*Plantago lanceolata*	H	DT
0.13	*Senecio vulgaris*	Th	W
0.13	*Ajuga genevensis*	H	G
0.13	*Stenactis annua*	Th	AC
0.13	*Fragaria sp,*	H	G
0.13	*Salvia pratensis*	H	G
0.07	*Ambrosia artemisifolia*	Th	AC
0.06	*Arabis hirsuta*	TH	G
0.01	*Hieracium bauhini*	H	G
0.01	*Capsella bursa-pastoris*	Th	W

0.01	*Teucrium chamaedrys*	Ch	G
0.01	*Thesium linophyllon*	TH	W

XXIV. táblázat
Gödöllő, 2003. november 3.
öntözött *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
77	*Dactylis glomerata*	H	DT
12.6	*Festuca valesiaca*	H	C
8	*Bromus inermis*	H	C
2.8	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
1.82	*Galium mollugo*	H	G
1	*Agropyron repens*	G	RC
0.4	*Knautia arvensis*	H	DT
0.22	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.2	*Daucus carota*	Th	DT
0.2	*Digitaria sanguinalis*	Th	AC
0.06	*Poa pratensis*	H	G
0.04	*Salvia pratensis*	H	G
0.04	*Achillea collina*	H	DT
0.02	*Salvia nemorosa*	H	DT
0.02	*Erigeron canadensis*	Th	AC
0.02	*Euphorbia salicifolia*	H	DT
0.02	*Hypericum perfoliatum*	H	DT
0.02	*Convolvulus arvensis*	H	RC
0.02	*Taraxacum officinale*	TH	RC
0.02	*Ranunculus auricomus*	H	S

XXV. táblázat
Gödöllő, 2004. június 22.
öntözött *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
27.50	*Dactylis glomerata*	H	DT
13.75	*Elymus repens*	H	RC
13.00	*Bromus inermis*	H	C
11.25	*Festuca valesiaca*	H	C
10.00	*Arrhenatherum elatius*	H	DT
5.75	*Galium verum*	H	DT
5.50	*Poa pratensis*	H	G
3.25	*Euphorbia salicifolia*	H	DT
3.00	*Knautia arvensis*	H	DT
2.00	*Convolvulus arvensis*	H	RC
1.25	*Pimpinella saxifraga*	H	G
1.00	*Achillea collina*	H	DT
1.00	*Lolium perenne*	H	DT
0.50	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.50	*Eryngium campestre*	H	DT

XVI. táblázat
Gödöllő, 2004. november 5.
öntözött *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
78.75	*Dactylis glomerata*	H	DT
9.25	*Botriochloa ichaemum*	H	DT
3.5	*Knautia arvensis*	H	DT
2.75	*Galium verum*	H	DT
1.25	*Festuca rupicola*	H	C
1.25	*Hypericum perfoliatum*	H	DT
1	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
1	*Taraxacum officinale*	H	RC
0.5	*Euphorbia pannonica*	H	S
0.5	*Daucus carota*	Th	DT
0.25	*Pimpinella saxifraga*	H	G

XXVII. táblázat
Gödöllő, 2002. november 15.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Nagy János

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
81	*Festuca valesiaca*	H	C
13.8	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
12.2	*Pimpinella saxifraga*	H	G
3.2	*Dactylis glomerata*	H	DT
2.8	*Bromus inermis*	H	C
0.6	*Carex humilis*	H	C
0.5	*Galium verum*	H	DT
0.4	*Scabiosa ocholeuca*	H	DT
0.3	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.2	*Thymus glabrescens*	Ch	G
0.2	*Achillea collina*	H	DT
0.2	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.2	*Carex praecox*	H	G
0.2	*Coronilla varia*	H	DT
0.2	*Poa pratensis*	H	G
0.2	*Salvia pratensis*	H	G
0.2	*Seseli osseum*	H	G
0.2	*Melandrium album*	Th	W
0.1	*Centaurea sadleriana*	H	G
0.1	*Euphorbia pannonica*	H	S
0.1	*Hieracium sp.*	H	G
0.1	*Medicago lupulina*	Th	DT
0.001	*Centaurea pannonica*	H	DT
0.001	*Salvia nemorosa*	H	DT
0.001	*Galium mollugo*	H	G
0.001	*Hypericum perforatum*	H	DT
0.001	*Knautia arvensis*	H	DT
0.001	*Leontodon hispidus*	H	DT
0.001	*Linaria kocianovichii*	H	Gr
0.001	*Linaria vulgaris*	H	W
0.001	*Silene vulgaris*	H	DT
0.001	*Picris hieracioides*	TH	DT
0.001	*Daucus carota*	Th	DT
0.001	*Digitaria sanguinalis*	Th	AC
0.001	*Rapistrum perenne*	TH	G
0.001	*Stellaria media*	Th	DT
0.001	*Vicia angustifolia*	Th	DT

XXVIII. táblázat
Gödöllő, 2003. június 5.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
27.65	*Festuca valesiaca*	H	C
8.75	*Agropyron repens*	G	RC
3.35	*Convolvulus arvensis*	H	RC
3.2	*Dactylis glomerata*	H	DT
3.15	*Salvia nemorosa*	H	DT
2.85	*Festuca rupicola*	H	C
2.75	*Seseli osseum*	H	G
1.5	*Knautia arvensis*	H	DT
1.41	*Phleum phleoides*	H	G
1.21	*Bromus inermis*	H	C
1.11	*Gallium verum*	H	DT
0.75	*Thymus glabrecens*	Ch	G
0.7	*Coronilla varia*	H	DT
0.7	*Eryngium campestre*	H	DT
0.6	*Poa pratensis*	H	G
0.55	*Lous corniculatus*	H	DT
0.5	*Agrimonia eupaoria*	H	DT
0.5	*Linaria genistifolia*	H	G
0.5	*Linum hirsutum*	H	S
0.45	*Achillea collina*	H	DT
0.4	*Senecio vulgaris*	H	W
0.26	*Koeleria cristata*	H	G
0.2	*Euphorbia cyparisias*	H	DT
0.2	*Melandrium viscosum*	Th	S
0.2	*Silene otites*	H	G
0.16	*Arrhenatherum elatius*	H	DT
0.15	*Euphorbia salicifolia*	H	DT
0.1	*Centaurea sadleriana*	H	G
0.1	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.1	*Medicago lupulina*	Th	DT
0.05	*Rumex acetosa*	H	DT
0.05	*Ajuga laxmanni*	H	S
0.05	*Asperula cynanchica*	H	G
0.05	*Euphorbia virgata*	H	DT
0.05	*Hieraium bauhinii*	H	G
0.05	*Poa trivialis*	H	DT
0.01	*Ambrosia artemisifolia*	Th	AC

XXIX. táblázat
Gödöllő, 2003. november 3.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
54	*Festuca valesiaca*	H	C
20	*Botriochloa ischaemum*	H	DT
2.42	*Bromus inermis*	H	C
1	*Knautia arvensis*	H	DT
0.86	*Poa pratensis*	H	G
0.8	*Salvia pratensis*	H	G
0.64	*Euphorbia pannonica*	H	SZMT
0.6	*Silene otites*	H	G
0.44	*Scabiosa ochroleuca*	H	DT
0.42	*Agropyron repens*	G	RC
0.4	*Salvia nemorosa*	H	DT
0.26	*Coronilla varia*	H	DT
0.26	*Galium verum*	H	DT
0.24	*Seseli osseum*	H	G
0.22	*Pimpinella saxifraga*	H	G
0.22	*Picris hieracioides*	TH	DT
0.22	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.2	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.2	*Thymus glabrescens*	Ch	G
0.2	*Echium vulgare*	TH	W
0.08	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.06	*Daucus carota*	Th	DT
0.06	*Achillea collina*	H	DT
0.04	*Rumex acetosella*	H	NP
0.02	*Melandrium album*	Th	W
0.02	*Thesium dollineri*	TH	W
0.02	*Plantago lanceolata*	H	DT
0.02	*Silene vulgaris*	H	DT

XXX. táblázat
Gödöllő, 2004. június 22.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
27.00	*Festuca valesiaca*	H	C
11.00	*Bromus inermis*	H	C
10.75	*Salvia nemorosa*	H	DT
7.88	*Elymus repens*	G	**RC**
6.38	*Coronilla varia*	H	DT
5.25	*Koeleria cristata*	H	G
4.00	*Galium verum*	H	DT
3.25	*Convolvulus arvensis*	H	**RC**
2.75	*Knautia arvensis*	H	DT
2.00	*Poa pratensis*	H	G
1.50	*Linum hirsutum*	H	S
1.25	*Achillea collina*	H	DT
1.25	*Senecio vulgaris*	H	W
0.88	*Medicago lupulina*	Th	DT
0.75	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.75	*Arrhenatherum elatius*	H	DT
0.75	*Euphorbia salicifolia*	H	DT
0.75	*Silene vulgaris*	H	DT
0.63	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.38	*Ambrosia artemisiifolia*	Th	AC
0.38	*Holosteum umbellatum*	Th	W
0.25	*Ononis spinosa*	Ch	DT
0.25	*Thymus glabrescens*	Ch	G
0.25	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.25	*Melandrium viscosum*	Th	S
0.25	*Stenactis annua*	Th	AC
0.13	*Lolium perenne*	H	DT
0.13	*Onobrychis viciifolia*	H	DT

XXXI. táblázat
Gödöllő, 2004. november 5.
kontroll *Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* állomány
felvételező: Czóbel Szilárd, Szirmai Orsolya

borítási átlag (%)	fajnév	életforma	SZMT
53.75	*Festuca valesiaca*	H	C
20.75	*Botriochloa ichaemum*	H	DT
3	*Salvia nemorosa*	H	DT
2.75	*Knautia arvensis*	H	DT
1.5	*Seseli osseum*	H	G
1.5	*Silene otites*	H	G
1.25	*Galium verum*	H	DT
1.125	*Bromus inermis*	H	C
1.125	*Pimpinella saxifraga*	H	G
1	*Centaurea sadleriana*	H	G
1	*Medicago lupulina*	H	DT
0.75	*Agrimonia eupatoria*	H	DT
0.75	*Coronilla varia*	H	DT
0.75	*Conyza canadensis*	Th	AC
0.625	*Achillea collina*	H	DT
0.5	*Ononis spinosa*	H	DT
0.25	*Arrhenatherum elatius*	H	DT
0.25	*Linum hirsutum*	H	S
0.25	*Vicia cracca*	H	DT
0.25	*Ambrosia artemisiifolia*	Th	AC
0.125	*Dactylis glomerata*	H	DT
0.125	*Euphorbia polychroma*	H	G
0.125	*Filipendula vulgaris*	H	G
0.125	*Lathyrus tuberosus*	H	W

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk megköszönni témavezetőmnek, Tuba Zoltán professzornak munkám kitartó támogatását, hasznos tanácsait és észrevételeit, valamint a kísérletek megvalósításához nyújtott segítségét, illetve a szükséges eszközök biztosítását. Hálával tartozom feleségemnek, Szirmai Orsolyának és családom többi tagjának a megértésükért és türelmükért. Az ilyen nagy mennyiségű terepi adatgyűjtés természetesen csak team munkában lehetséges. Köszönöm kollegáim segítségét a terepi adatgyűjtés és kiszállások során, külön is kiemelve Szirmai Orsolya és Balogh János tevékenységét. Sóvári Attila kreatívitása és lelkesedése nélkül a mérőkamrák a mai napig nem készültek volna el, ezért neki is külön köszönettel tartozom. A terepi adatgyűjtésben, a begyűjtött biomassza adatok lemérésében és laboratóriumi analízishez történő előkészítésében, illetve a manipulációs kísérletek működtetésében részt vett minden további kutatótársamnak, név szerint Balogh Barnabásnak, Benkő Zsuzsannának, Engloner Attilának, Fóti Szilviának, Gál Bernadettnek, Lakner Gábornak, Molnár Anikónak, Nagy Jánosnak, Nagy Zoltánnak, Péli Evelinnek, Pintér Krisztinának, Szerdahelyi Tibornak és Ürmös Zsoltnak ezúton is köszönöm a segítségét. Köszönettel tartozom Juhász Melindának, Németh Zoltánnak, Vikár Dórának és Vitányi Róbertnek a szakirodalom szerkesztésében nyújtott segítségükért. A bugacpusztai területen a legeltetés időszakos megszüntetését, valamint az eddy kovariancia állomás felépítését a Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatósága engedélyezte, ezért a nemzeti park igazgatóinak, valamint Krix Róbertnek is szeretném megköszönni az együttműködésüket. A talajtani analízisek kapcsán az ERTI-nél Páncél Gábor és Horváth László (OMSZ), míg a TAKI-nál Rajkai Kálmán segítette a munkámat, melyet hálásan köszönök. A kutatás pénzügyi forrásait döntően a GREENGRASS (EVK-CT-2001-00105, 2002-2004) EU 5-ös projekt, kisebb mértékben a „Szünfiziológiai folyamatok léptékfüggése fátlan növénytársulásokban” elnevezésű OTKA-32568-as pályázat és a CARBOEUROPE-IP (GOCE-CT-2003-50-5572, 2004) EU 6-os projekt fedezték.