

## A növényborítás hatása a talaj CO<sub>2</sub> emissziójának napi dinamikájára

Szóllósi Nikolett<sup>1</sup> – Juhász Csaba<sup>1</sup> –  
Kovács Györgyi<sup>2</sup> – Zsembeli József<sup>2</sup>

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma,

<sup>1</sup>Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási

Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék, Debrecen

<sup>2</sup>KIK Karcagi Kutató Intézet, Karcag

szollosi@gissserver1.date.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a nemzetközi ökoszisztéma kutatások egyik fő célkitűzése a kulcsfontosságú üvegházhatású gázok (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O és CH<sub>4</sub>) ciklusainak mérése eltérő jellegű élőhelyeken. Ezen üvegházhatású gázok cseréje – annak mennyisége és a CO<sub>2</sub> és CH<sub>4</sub> 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 (Soussana et al., 2007).

A globális szénmérleg szempontjából a gyepsterületek jelentősége kiemelkedő nagy területi elterjedésük, össz-széntartalmuk, szervesanyag-készletük (a globális készletek 10%-a) révén (Lemmens et al., 2006). Fontosak a klimatikus viszonyoktól függő jelentős szén-dioxid felvevő vagy leadó képességük miatt is (Xu és Baldocchi, 2004). Idén nyáron vizsgáltuk füves és kopár felszínű talajon a talaj CO<sub>2</sub> emisszióját egy teljes nap leforgása alatt.

**Kulcsszavak:** CO<sub>2</sub>-emisszió, talajfelszín, napi dinamika

### SUMMARY

Nowadays one of main goals of international ecosystem research the measurement of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>) in different places. The fluctuation of these greenhouse gases – quantity and trend in the case of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> – could be diverse with atmosphere because it depends on several effects of factors like climate, soil type, vegetation. In grassland out of the three greenhouse gases which fill a part in gas emission, in the case of CO<sub>2</sub> soil and vegetation are the most important factors (Soussana et al., 2007).

In the aspect of global carbon balance grasslands are very important by their large area extension, total carbon content, organic content store (10% of the global carbon storage) (Lemmens et al., 2006). In this summer measurements were carried out to determine CO<sub>2</sub> emission of the soil from different soil surfaces like grass covered and bare soil surface during a whole day.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>-emission, soil surface, daily dynamics

### BEVEZETÉS

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 kilenczede is), de legnagyobb széntároló kapacitással a talaj rendelkezik, mely a füves ökoszisztéma összes szerves széntartalmának döntő tömegét (átlag 90%) tárolja.

A Föld talajában kb. 1,58×10<sup>18</sup> g szerves kötött szén található (Reiners, 1968). A különböző gyep típusok talajában a széntartalom eltéréseit döntően klimatikus és edafikus tényezők együttes hatása idézi elő (Reeder és Schuman, 2002). A szerves C-koncentráció általában emelkedik a talaj magasabb agyagtartalmával (Bauer et al., 1987) és a növekvő csapadékmennyiséggel párhuzamosan. A talajlégzés egészében a gyökérlégzés részaránya mérsékeltövi gyepekben 17-40% közötti (Raich és Tufekciogul, 2000), pontos megállapítására száraz kontinentális gyep típusokban még nem történtek vizsgálatok annak ellenére sem, hogy a talajlégzés a primer produkció azon komponense, amely az egyre gyakoribbá váló nyári száraz időszakban az adott ökoszisztémát nettó szén elnyelőből kibocsátóvá fordíthatja.

2009 nyarán több, mint negyven alkalommal mértük végig 6 liziméter egységen a talaj szén-dioxid koncentrációját, hőmérsékletét és nedvességtartalmát. Ebből kifolyólag kíváncsiak voltunk, hogy egy teljes nap alatt hogyan változik a CO<sub>2</sub> emissziója a talajnak, mivel azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek és változékonyak. A gyökérlégzésből és a mikrobiológiai aktivitásból származó CO<sub>2</sub> emisszió elkülönítése érdekében növény nélküli, csupasz, illetve növényvel borított, füves talajú tenyészedényekben mértünk. Ezek összevetésével az e két forrásból származó szén-dioxid mértékének meghatározása volt a célunk.

### ANYAG ÉS MÓDSZER

A Debreceni Egyetem AMTC KIK Karcagi Kutató Intézet munkatársai 2002 óta folytatnak a talaj szén-dioxid emissziójának meghatározását célzó vizsgálatokat, szoros együttműködésben a Debreceni Egyetem AMTC, MTK, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszékével, mely 2006 nyarán kapcsolódott be a fenti kutatásokba. A méréseket a DE AMTC KIK Karcagi Kutató Intézetének liziméter állomásán végeztük 6 átfolyóvizes liziméteren. Karcag a Nagykunság kistérségben helyezkedik el, a Tisza folyótól keletre. Magyarország egyik legszárazabb, a hőmérsékleti ingadozásokat tekintve legszélsőségesebb, illetve

leginkább kontinentális jellegű területe. A mérés ideje alatti meteorológiai adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

A liziméterek talajának típusa mély humusz réteggű, mélyben szolonyeces réti csernozjom, mely a

térségre jellemző talajtípus. A liziméterek talajainak a vizsgálat szempontjából fontosabb paramétereit a 2. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

Meteorológiai adatok a mérések ideje alatt

Dátum(1)	Napi átlag hőmérséklet (°C)(2)	Globál-sugárzás (W*m <sup>-2</sup> )(3)	Csapadék-összeg (mm)(4)	Minimum hőmérséklet (°C)(5)	Maximum hőmérséklet (°C)(6)	Átlag hőmérséklet (°C)(7)	Relatív nedvesség min (%)(8)
2009.08.26	25,3	272,9	0,0	16,0	33,6	25,3	22,0
2009.08.27	25,8	266,2	0,0	17,6	33,5	25,8	23,0

Table 1: Meteorological data during the measurements

Date(1), Daily average temperature(2), Global radiance(3), Sum precipitation(4), Min. temperature(5), Max. Temperature(6), Average temperature(7), Relative moisture min.(8)

2. táblázat

A liziméterek talajának fontosabb kémiai és fizikai jellemzői

Genetikai szint(1)	Össz. só % (2)	Humusz % (3)	Szerves C % (4)	Nedvességtartalom (tf%)(5)				Térfogat-tömeg (g cm <sup>-3</sup> )(6)
				pF 0	pF 0,4	pF 2	pF 2,4	
A <sub>sz</sub>	0,04	2,68	1,55	41,87	40,76	36,91	33,82	1,59
A <sub>1</sub>	0,04	2,27	1,32	42,57	40,73	35,57	33,19	1,56
B	0,04	1,67	0,97	52,03	49,14	36,22	31,22	1,28
BC	0,04	1,18	0,68	51,89	50,01	35,69	30,61	1,31
C	0,04	1,18	0,68	46,9	45,82	35,11	30,31	1,37

Table 2: The main chemical and physical characteristics of lysimeter soils

Soil genetic layer(1), Sum. Salt %(2), Humus %(3), Organic Carbon %(4), Soil moisture(5), Soil bulk density(6)

Ahhoz, hogy a talaj C-készletét alkotó gyökérlégzésből és a mikrobiológiai aktivitásból származó szén-dioxid emissziót külön-külön kiértékelhessük, az edények felét befűvesítettük, a másik 3 növényborítás nélkül maradt (1. ábra), így a gyökérlégzés kizárásával, pusztán a mikrobiológiai bontásból származó CO<sub>2</sub> mennyiségét is (három ismétlésben) meg tudtuk határozni.

1. ábra: A fűvesített és a kopár felszínű liziméterek



Figure 1: Lysimeters covered by grass and without vegetation

### A talaj CO<sub>2</sub> emissziójának mérése

Az emisszió becsülhető (Zsembeli et al., 2008) műszaki számításokkal (anyagmérlegek, fajlagos, empirikus adatok, gyors elemzések), másrészt számos módszer létezik fátlan növényállományok CO<sub>2</sub>-gázcseréjének mérésére különböző gázelemző rendszerek segítségével, melyek lehetnek fix telepítésűek és mobil rendszerek. Kisléptékű térbeli

variabilitás nyomon követésére elsősorban különböző méretű és alakú, nyílt vagy zárt rendszerű kamrás technikával (Pumpanen et al., 2004), esetenként mikrometeorológiai módszerrel (Verma, 1990), de talajminták laboratóriumi elemzésével is.

A mérések során a zárt rendszerű kamrás módszert alkalmaztuk, mely előnye, hogy pontosan tudjuk a mért áram eredetét, illetve, hogy hová irányul (Rayment és Jarvis, 2000), míg a mikrometeorológiai módszerek esetében ennek meghatározása nehézségekbe ütközik (footprint analízis, Pintér et al., 2006).

ANAGAS CD 98 típusú, angol gyártmányú gázelemző készülékkel mértük a CO<sub>2</sub> koncentráció értékeit, mely az infravörös elven működő gázelemzők csoportjába tartozik. Az infravörös gázelemzők kizárólag vegyületek elemzésére alkalmasak.

### Mérések

Az élezett szegélyű fémkeret talajba helyezése (a 8 cm magas melyből 5,5 cm van a talajban) és a fémkereten kiképzett vályús perem vízzel való feltöltése biztosítja a légmentes izolációt (Kovács és Szöllösi, 2008). A műanyag edény térfogata 18000 cm<sup>3</sup>, a fémkeret átmérője 44 cm. A keretek lehelyezését követően megmértük a kezdeti CO<sub>2</sub> értékeket. Majd elvégeztük a térbeli lehatárolást. A harminc perces inkubációs idő leteltét követően

megmértük a megnövekedett koncentrációt. Ezt követően számítottuk a talaj szén-dioxid emisszióját egységnyi területre és időre vetítve.

A talaj aktuális nedvességtartalmának mérésére a HydroSense TM típusú talajnedvesség-mérőt használtuk (5-10 cm-en). A talaj-, illetve levegő hőmérsékletét digitális hőmérő segítségével határoztuk meg.

## EREDMÉNYEK

### A talaj szénkészletének becslése

A becslést a 2003-as IPCC ajánlásában foglalt módszertant követve végeztük el (3. táblázat). Éves szinten lényeges változás nem volt a szénkészletben egyik területen sem, mivel az előző évben is ugyanilyen talajfelszíneken folytak kísérletek. A gyepesített felszíni területen egy hektárra vetítve (43,3 t/ha) jelentősen magasabb karbon készlet (8 t/ha) becsülhető (3. táblázat). Valószínűsíthetően ez annak tulajdonítható, hogy több a biomassza a területen.

### Mérések és számítás alapján végzett becslés

A CO<sub>2</sub>-gázcsere és annak valamennyi komponense (fotoszintetikus CO<sub>2</sub>-fixáció, fotoszintetizáló és nem fotoszintetizáló szervek sötét- és fénylélegzése, valamint a talaj autotróf és heterotróf lélegzése, valamint a talaj autotróf és heterotróf lélegzése) térben és időben nagy variabilitást mutat minden vegetációtípusban (Stoyan et al., 2000). E variabilitás (akár természetes, akár mesterséges okok hozzák létre) a folyton változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás egyik lényeges megnyilvánulása (Cheng et al., 2007). Emellett a zöld növényzet sűrűsége is befolyásolja a talajnedvességet, a felszíni hőmérsékletet, az energia- és

vízháztartás, a tápanyagforgalom mintázatát, és ez a viszony kölcsönös (Cosh és Brutsaert, 2003).

### A csupasz talajfelszínen történt mérések

A talaj CO<sub>2</sub> emissziója este 22 és 6 óra között volt a legalacsonyabb (2. ábra). A legalacsonyabb emissziós, levegő- és talaj hőmérsékleti értéket reggel 6 órakor mértük. Emellett minimum emissziós értéket 16 órakor kaptunk, amikor a levegő hőmérséklete elérte a maximális 35,05 °C-ot. A maximális talaj CO<sub>2</sub> emisszió koncentrációkat 10 és 20 órakor tapasztaltuk. A délelőtti maximális CO<sub>2</sub> emisszió áramlási értékeket kb. 4 órás csúszással követik a talaj és a levegő hőmérsékleti maximumok. A kiegészítő mérések eredményeit a 3. ábra tartalmazza.

A talajnedvesség és a hőmérsékleti adatok, illetve a talaj CO<sub>2</sub> emissziója között nem volt olyan lineáris kapcsolat, amely statisztikailag is kimutatható lett volna.

### A fűvel borított felszínen mért eredmények

A talaj CO<sub>2</sub> emissziója éjjel és 6 óra között volt a legalacsonyabb (4. ábra). A minimum emissziós értéket 14 órakor (0,2 g\*m<sup>-2</sup>\*h<sup>-1</sup>) és hajnal 2 órakor (0,19 g\*m<sup>-2</sup>\*h<sup>-1</sup>) kaptuk. A maximális talaj CO<sub>2</sub> koncentrációkat 10-kor (0,49 g\*m<sup>-2</sup>\*h<sup>-1</sup>) és 20 órakor (0,39 g\*m<sup>-2</sup>\*h<sup>-1</sup>) tapasztaltuk (utóbbinál maximális talajnedvesség értékek). A kora délutáni (14 h) minimális szén-dioxid emisszió áramlási értékeket kb. 2 órás csúszással követik a talaj- és a levegő hőmérsékleti maximumok.

A kiegészítő méréseknél hasonló eredményeket kaptunk (4. ábra), mint a csupasz talajfelszínű edényekben.

3. táblázat

z IPCC segédprogrammal számított szénkészletek

IPCC módszertan(1)	Csupasz felszíni terület(2)		Gyepesített terület(3)	
	2008	2009	2008	2009
Talajtípus(4)	magas agyagtartalmú(14)	magas agyagtartalmú(14)	magas agyagtartalmú(14)	magas agyagtartalmú(14)
Éghajlati besorolás(5)	meleg, száraz(15)	meleg, száraz(15)	meleg, száraz(15)	meleg, száraz(15)
Referencia karbon készlet(6)	38 t/ha	38 t/ha	38 t/ha	38 t/ha
Földhasználat típusa(7)	művelés nélküli(16)	művelés nélküli(16)	gyep(17)	gyep(17)
Földhasználati faktor(8)	0,93	0,93	1	1
Menedzsment(9)	-	-	javított(18)	javított(18)
Menedzsment faktor(10)	1,00	1,00	1,14	1,14
Szerves C bevitel(11)	-	-	közepes(19)	közepes(19)
Beviteli faktor(12)	1	1	1	1
Becsült szénkészlet(13)	35,3 t/ha	35,3 t/ha	43,3 t/ha	43,3 t/ha

Table 3: Soil carbon stocks calculated with the IPCC support program

IPCC method(1), Bare soil surface(2), Grassland(3), Native soil type(4), Climate region(5), Existing carbon stock(6), Landuse type(7), Landuse factor(8), Management(9), Management factor(10), Organic C input(11), Input factor(12), Predicted carbon store(13), High activity clay(14), Warm, dry(15), Set aside(16), Grassland(17), Improved(18), Medium(19)

2. ábra: A 24 órás mérés eredményei

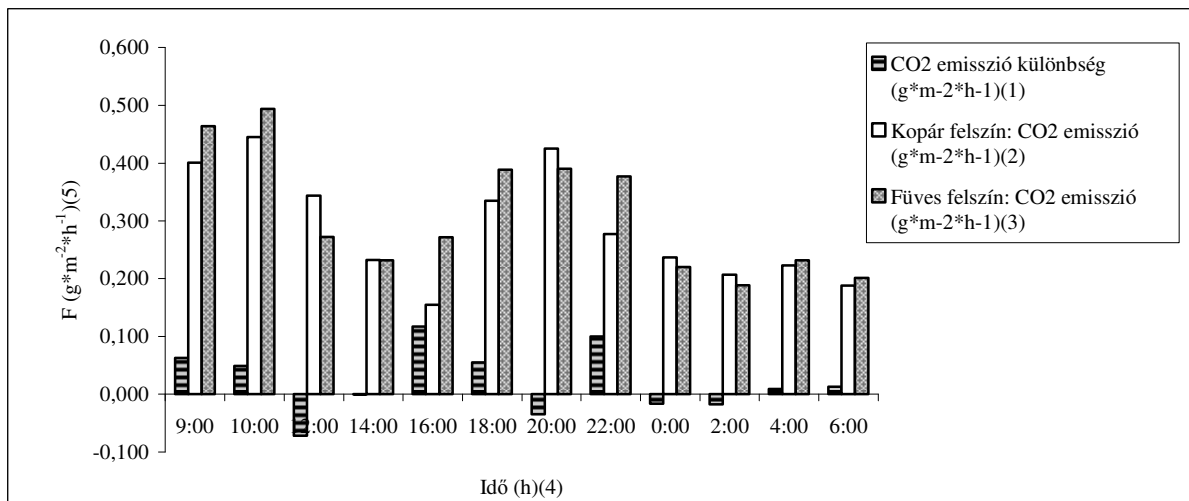


Figure 2: Results of 24 hours measurements

Difference of CO<sub>2</sub> emission(1), CO<sub>2</sub> emission of the bare soil surface(2), CO<sub>2</sub> emission of the grass field(3), Time(4), Flux(5)

3. ábra: A csupasz felszínű terület kiegészítő méréseinek adatai

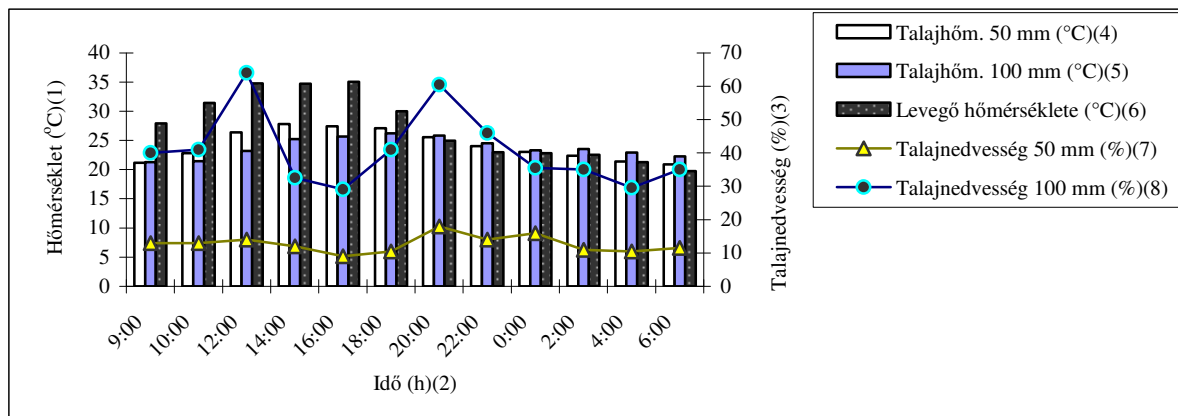


Figure 3: Complementary measurements of bare soil surface

Temperature(1), Time(2), Soil moisture(3), Soil temperature 50 mm(4), Soil temperature 100 mm(5), Air temperature(6), Soil moisture 50 mm(7), Soil moisture 100 mm(8)

4. ábra: Füvesített terület kiegészítő méréseinek adatai

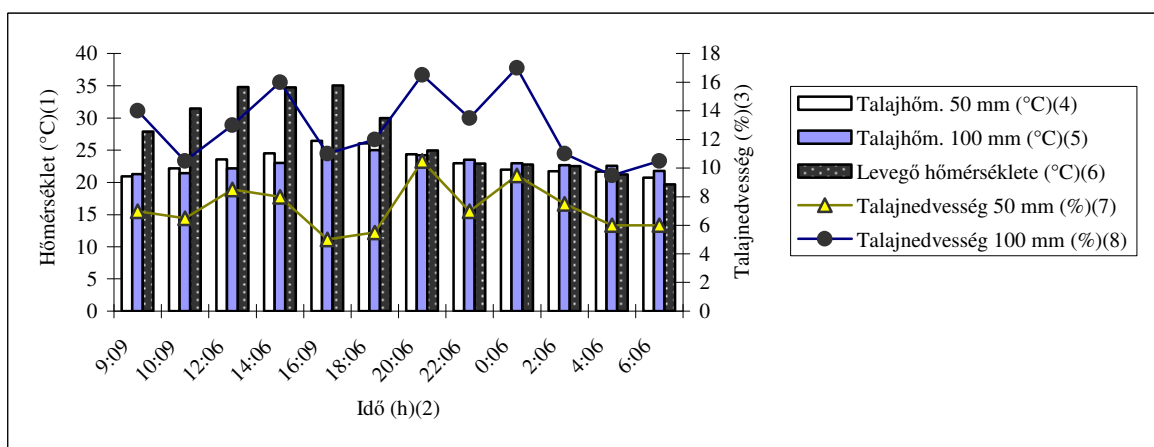


Figure 4: Complementary measurements of grassland

Temperature(1), Time(2), Soil moisture(3), Soil temperature 50 mm(4), Soil temperature 100 mm(5), Air temperature(6), Soil moisture 50 mm(7), Soil moisture 100 mm(8)

*A két méréssorozat összevetése*

A CO<sub>2</sub> kibocsátás időbeli menetének vizsgálatára végeztünk 24 órás méréseket, amikor egy napon keresztül (2009. 08. 26.-2009. 08. 27.) 2 órás időközönként mértük a koncentráció alakulását (2. ábra). A CO<sub>2</sub> különbség a füves talaj légzésének és a csupasz terület légzésének a különbségét ábrázolja. A negatív értékek azt jelzik, hogy a füvesített terület talajlégzése alacsonyabb mértékű volt a másik kezeléshez képest. Délután 14 órakor a különböző talajfelszín emissziós értékei azonosak voltak, emellett az angol perjével füvesített edénynél ez a délutáni minimum értékkel volt egyenlő. A csupasz felszín emissziója még két órán keresztül csökkent. Ezekből következően a növényvel borított talajoknak kiegyenlítettebb, kevésbé szélsőséges a talajlégzése.

Az idő előrehaladtával megélnkült a légköri átkeveredés, később pedig a vegetáció aktivitása, aminek következtében egyrészt a szén-dioxid koncentrációban enyhe süllyedést fedezhettünk fel, másrészt tisztán kivehető a napi koncentráció ingás növekedése. Napközben a különböző felszínű talajok mindkét esetben 10-kor és 20 órakor érik el a talajélet aktivitási maximumot. A legalacsonyabb értékeket a koradélutáni órákban tapasztaltuk. Kora délutánra a határreteg jól átkeveredett, vagyis az éjszaka felhalmozódott (és kizárólag a mérőhelyre és közvetlen környezetre jellemző) többlet szén-dioxid ekkorra már teljesen elkeveredett a határretegben.

Összességében elmondható, a talajélet aktivitása az éjszaka folyamán csökken, azonban a füvesített területen ez az állapot később (éjfélkor) áll be. Ez mindkét esetben a kora délelőtti órákig tart. A növényborítás nélküli területen a délutáni emissziós minimum koncentrációt 16 órakor mértük, amikor a hőmérsékleti értékek elérték az akkor mért napi maximum értékeket. A délutáni minimumot a növényvel borított terület korábban (14 h) éri el. A talaj hőmérséklete a füvesített területen végig 2-3 °C-kal alacsonyabb volt. A talajnedvesség % a felső 50 mm-ben 1,5-2×, a felső 100 mm-es mélységben pedig 2-3× magasabb volt a csupasz területen.

Mivel nem volt statisztikailag kimutatható különbség a két terület emissziós értékei között, így a füvesített területen a gyökérlégzésből származó emisszió és a fotoszintézis során megkötött CO<sub>2</sub> közel azonos nagyságrendűnek volt tekinthető, kiegyenlítette egymást a két folyamat. A mért paraméterek esetében elmondható, hogy a talaj CO<sub>2</sub> kibocsátása és az arra ható tényezők közti kapcsolat nem lineáris.

**KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK**

A talaj CO<sub>2</sub> kibocsátása a hőmérséklet emelkedésével növekszik. Ennek hatására növekszik az üvegházhatású gázok (továbbiakban ÜHG-k) koncentrációja a légkörben, az további hőmérséklet-emelkedést indukál, ami pozitív visszacsatolási folyamat a természetben. A szén-dioxid abszolút értéke és változási tendenciája is jelentős információkat hordoz, mint fenntarthatósági indikátor. Emiatt figyelemreméltó eredményeket kaptunk a talajállapot és a CO<sub>2</sub>-emisszió összefüggéseivel kapcsolatban a szén-dioxid emisszió napi tendenciáját illetően. A növényvel borított terület CO<sub>2</sub> emissziója és a növények által megkötött CO<sub>2</sub> mennyisége kiegyenlítette egymást. Emiatt jelentős különbséget nem tapasztaltunk a különböző felszínű területeken mért szén-dioxid koncentrációs értékek között.

A természeti rendszerek egyensúlyi állapotra törekuszenek, melyet a kapott eredmények is alátámasztanak. Emellett a természeti rendszerekben működő pozitív visszacsatolás is megfigyelhető volt a mért paraméterek tekintetében. Azonban az egyes összefüggéseket leíró egyenletek levezetéséhez további vizsgálatok szükségesek, mivel nem lineáris a kapcsolat a vizsgált rendszerekben.

A közelmúlt hazai (Tuba et al., 2004) és nemzetközi (pl. Soussana et al., 2007) ökofiziológiai és mikrometeorológiai kutatások során bebizonyosodott, hogy a vizsgált hazai gyepek szisztémák – hasonlóan a vizsgált európai füves területekhez, és leszámítva az extrém száraz éveket – a talajjal és légkörrel alkotott rendszerben, mint fogyasztók, megkötők játszanak szerepet az üvegházhatású nyomgázok cseréjében. Nagy kiterjedésű gyepterületeink tehát jelentős szerepet töltenek be az üvegházhatású gázok Magyarországra vetített éves mérlegében, hiszen a döntően a közlekedés és az ipar által kibocsátott ÜHG 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 előre jelzett földhasználati és klimatikus változások funkcionális ökológiai hatásainak predikciójára (Czöbel et al., 2007). Ezen ismeretek nem csupán alaputatásként hasznosulnak, hanem segíthetnek nemzetközi környezetvédelmi vállalásaink (pl. Kyotói Jegyzőkönyv) teljesítésében, valamint az üzleti lehetőségek (CO<sub>2</sub>-kereskedelem) bővülésében is.

**IRODALOM**

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.

Burke, I. C.-Laurenroth, W. K.-Milchunas, D. G. (1997): Biogeochemistry of managed grasslands in central North America. [In: Paul E. A. et al. (eds.) *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America.*] Boca Raton: CRC Press, 414. 85-102.

- Cheng, X.-An, S.-Chen, J.-Li, B.-Liu, Y.-Liu, S. (2007): Spatial relationships among species, above-ground biomass, N, and P in degraded grasslands in Ordos Plateau, northwestern China. *Journal of Arid Environments*, 68. 652-667.
- Cosh, M. H.-Brutsaert, W. (2003): Microscale structural aspects of vegetation density variability. *Journal of Hydrology*, 276. 128-136.
- Czóbel Sz.-Szirmai O.-Szerdahelyi T.-Nagy J.-Balogh J.-Fóti Sz.-Péli E.-Pintér K.-Horváth L.-Nagy Z. (2007): Megváltoztatott kezelései hazai gyeptársulásaink funkcionális ökológiai válaszai. *Magyar Tudomány* (in press)
- Kovács Gy.-Szöllősi N. (2008): A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére szolgáló eszközök mérőhelyspecifikus fejlesztése. *Acta agraria debreceniensis*. Debrecen 30. 53-58.
- Lemmens, C. M. H. M.-de Boeck, H. J.-Gielen, B.-Bossuyt, H.-Malchair, S.-Carnol, M.-Merckx, R.-Nijs, I.-Ceulemans, R. (2006): End-of-season effects of elevated temperature on ecophysiological processes of grassland species at different species richness levels. *Environmental and Experimental Botany*, 56. 245-254.
- Pintér, K.-Nagy, Z.-Balogh, J.-Fóti, Sz.-Barcza, Z.-Kristóf, D.-Weidinger, T.-Tuba, Z. (2006): Interannual variability of C-balance in grassland ecosystems. *Open Science Conference on the GHG Cycle in the Northern Hemisphere*, Sissi-Lassithi, Crete
- Pumpanen, J.-Kolari, P.-Ilvesniemi, H.-Minkinen, K.-Vesala, T.-Niinistö, S.-Lohila, A.-Larmola, T.-Morero, M.-Pihlatie, M.-Janssens, I.-Yuste, J. C.-Günzweig, J. M.-Reith, S.-Subke, J. A.-Savage, K.-Kutsch, W.-Østregren, G.-Ziegler, W.-Anthony, P.-Lindroth, A.-Hari, P. (2004): Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO<sub>2</sub> efflux. *Agr. Forest Meteorol.*, 123. 159-176.
- Raich, J. W.-Tufekcioglu, A. (2000): Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry*, 48. 71-90.
- Rayment, M. B.-Jarvis, P. G. (2000): Temporal and spatial variation of soil CO<sub>2</sub> efflux in a Canadian boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 32. 35-45.
- 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.
- Reiners, W. A. (1968): Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests. *Ecology*, 49. 471-483.
- Soussana, J. F.-Allard, V.-Pilegaard, K.-Ambus, P.-Ammann, C.-Campbell, C.-Ceschia, E.-Clifton-Brown, J.-Czobel, S.-Domingues, R.-Flechard, C.-Fuhrer, J.-Hensen, A.-Horváth, 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<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121 (1-2). 121-134.
- Stoyan, H.-de Polli, H.-Böhm, S.-Robertson, G. P.-Paul, E. A. (2000): Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. *Plant and Soil*, 222. 1-2. 203-214.
- 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 válaszai, C-körforgalma és üvegházhatású gázainak mérlege jelenlegi és jövőbeni várható éghajlati viszonyok, illetve eltérő használati módok mellett. *AGRO 21 Füzetek*, 37. 123-138.
- Verma, S. B. (1990): Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. *Remote Sensing Reviews*, 5. 99-115.
- 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.
- Zsembeli, J.-Kovács, Gy.-Szöllősi, N.-Gyuricza, Cs. (2008): Correlations of Soil Management and Carbon Stock Change in Soils. *ECOMIT Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems* 75-80. November 5-7, 2008 in Piešťany, Slovakia