

Szent István Egyetem

A talajlégzés komponenseinek azonosítása

Doktori értekezés tézisei

PAPP MARIANNA

Gödöllő

2020

A doktori iskola

megnevezése: Biológiai Tudományi Doktori Iskola

Tudományága: Biológiai tudomány

Vezetője: **Dr. Nagy Zoltán**

Intézetvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora

Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és
Környezettudományi Kar

Biológiai Tudományi Intézet

Témavezető : **Dr. Balogh János**

Egyetemi docens

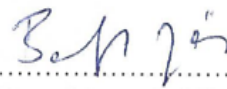
Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és
Környezettudományi Kar

Biológiai Tudományi Intézet



.....

Az iskolavezető jóváhagyása



.....

A témavezető jóváhagyása

A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

A globális szénmérleg vonatkozásában a fás társulások mellett a gyepterületek elterjedésük és szén-dioxid (CO₂) felvevő vagy leadó képességük miatt egyre több figyelmet kapnak úgy a nemzetközi, mint a hazai tudományos életben. A talajból kibocsátott CO₂, a talajlégzés (R_s), az ökológiai rendszerek szénforgalmának egyik legnagyobb részarányú komponense, így meghatározó a rendszerek CO₂-mérlegének alakításában is. A talajlégzés folyamatos, változó mértékű CO₂-áramot jelent a talaj felől az atmoszféra felé, mely forrását tekintve különböző komponensekre választható szét. A talajból kibocsátott CO₂ forrásainak meghatározása különböző szempontok szerint történhet. A kibocsátó szervezetek anyag- és energia biztosításának módja alapján megkülönböztetünk autotróf és heterotróf komponenseket. A különböző abiotikus és biotikus környezeti tényezők a talajlégzés különböző komponenseire eltérő módon hatnak, azonban a talajlégzés folyamatos mérésével olyan részletes adatsor nyerhető, amelynek időbeli felbontása nem is hasonlítható az alkalomszerű mérésekéhez. Ilyen mérési adatok elemzésével jobban értelmezhetővé válik az R_s és különböző komponenseinek (autotróf és heterotróf) környezeti változókra adott válasza, illetve csökkenthető annak bizonytalansága. A nagyobb időbeli felbontású mérések szükségességét a talaj CO₂-kibocsátásának napi változékonysága, a ható tényezőkre adott esetenkénti gyors válaszok (pl. csapadékeseményeket követő változások) is indokolják. A talajok CO₂-kibocsátása többféle módszerrel is mérhető. Ezek közül főként a dinamikus gázcseremérő kamrák és a gradiens rendszerek a legelterjedtebbek. A dinamikus (nyílt és zárt) kamrák előnye, hogy a kibocsátást közvetlenül a talaj felszínén mérik, s ez a gradiens rendszerek módszertanához képest kevesebb becslési bizonytalansággal jár. A kereskedelmi forgalomban kapható kamrás rendszerek egyik hátránya, hogy beszerzésük nagyon költséges. Másrészt, a gázcseremérő kamrák viszonylag nagy mérete miatt (belső átmérőjük 10 cm, vagy annál nagyobb, pl. LI-8100, EGM-4) nehezen alkalmazhatók zárt gyepekben, mivel a növényzet föld feletti részeit rendszeresen vágni kell ahhoz, hogy légzési aktivitásuk ne zavarja a talajból eredő CO₂-áram elkülönítését. A zöld növényi részek eltávolítása nemcsak nehézkes, hanem zavarást is okoz, ami a mérési eredményekben is jelentkezhethet. További nehézség lehet a működésbiztonság kérdése, hiszen zárt rendszerű eszközök esetében a kamrák zárását, nyitását mozgó alkatrészek biztosítják. Ezek

szabadföldi körülmények közötti meghibásodása (pl. akadály gátolja a fedél mozgását) észrevétlenül hibás mérést eredményezhet. Éppen ezért célul tűztük ki egy olyan, szabadföldi körülmények között is megbízhatóan működő, automata mérőrendszer (ASRS = automated soil respiration system) kifejlesztését, ami a lehetséges legkisebb zavarás mellett képes méréseket végezni gyepekben. A saját rendszer megbízhatóságát, illetve mérési pontosságát laboratóriumi körülmények közötti kalibrálással, valamint szabadföldi körülmények közötti méréssel teszteltük. A szabadföldi tesztelés során adatainkat az R_s mérésére általánosan használt rendszer (LI-6400) eredményeivel vetettük össze. Az összevetés azért volt szükséges, hogy a kifejlesztett rendszer működésének megbízhatóságáról a jellemzően többhetes karbantartás nélküli periódusokban is meggyőződhessünk.

A kutatás célkitűzései

A kutatómunka célkitűzései között a következők szerepeltek:

1. Automata mérőrendszer (ASRS = automated soil respiration system) kifejlesztése, mely szabadföldi körülmények mellett is megbízhatóan működik, és amelynek használata gyepekben a lehetséges legkisebb zavarás mellett megvalósítható.
2. A talajlégzés komponensek és a főbb környezeti tényezők, mint talajhőmérséklet (T_s), talajnedvesség-tartalom (SWC), valamint a biotikus változók, mint az ún. "normalizált vegetációs index" (normalized difference vegetation index; NDVI) és a bruttó primer produkció (gross primary production; GPP) közötti összefüggések vizsgálata.
3. A szén-allokáció és a talajlégzés közötti időbeli kapcsolat pontosítása, mértékének meghatározása.
4. Rhizoszférikus, mikorrhiza és heterotróf komponensek teljes talajlégzésen belüli arányának becslése száraz, homoki gyepon, automatizált nyílt kamrás talajlégzés-mérő rendszerrel végzett *in situ* 3 éves mérési ciklusra alapozva.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatási terület

Vizsgálatainkat 2010. augusztusa és 2014. májusa közötti időszakban végeztük a Kiskunsági Nemzeti Park területén található bugaci homokpusztagyepen (é. sz. 46°41'28", k. h. 19°36'42", tszf: 114 m). Az 550 ha-os legelő talaja csernozjom jellegű humuszos homok, nagy szerves-széntartalommal. A tíz éves átlagot (2004-2013) tekintve az évi átlaghőmérséklet 10,4 °C, az éves átlag csapadékmennyiség pedig 575 mm. A területen több mint 80 különböző növényfaj található, melyek közül domináns a *Carex stenophylla*, *Cynodon dactylon* és a *Festuca pseudovina*, *Poa spp.*. Az elmúlt húsz évben a homokpusztagyepet szürkemarha gulya extenzív legelőjeként használják alacsony legelési nyomással. Az állománysűrűség 0,23-0,58 állat ha⁻¹ volt 2004 és 2012 között. A mikrometeorológiai állomással történő folyamatos mérések és az alkalmankénti talajlégzés-mérések egyaránt 2002-ben kezdődtek el.

Particionálás módszere

A vizsgálatokhoz 2010 szeptemberében három különböző kezelést állítottunk be. Tíz talajhenger (80 cm mély és 15 cm belső átmérőjű) került kiásásra, ezt követően szitalással eltávolítottuk a gyökereket, majd a gyökérmentes talajt rétegenként visszatöltöttük a következő kezelések szerint: (1) 5 db teljesen zárt, függőlegesen elhelyezett PVC cső biztosította a gyökér- és mikorrhiza kizárt kezelést (Exrm), (2) ablakokkal és 40 µm-es mikropórusú inox hálóval borított 5 db függőlegesen elhelyezett PVC csővel valósítottuk meg a gyökérkizárt kezelést (Exr), valamint (3) a fűcsomók között bolygatatlan talajjal és vegetációval rendelkező kontroll foltokat (Exc) jelöltünk ki. A PVC csövek alján a víz átjárhatósága végett lyukakkal ellátott kupakokat helyeztünk el. Az inox háló segítségével a csövekből kizártuk a gyökereket, azonban a mikorrhiza fonalak számára továbbra is megmaradt a lehetőség a cső belsejébe való bejutásra.

A mérésekhez használt műszerek

Az eddy-kovariancia módszer segítségével lehetővé válik a nettó ökoszisztéma kicserélődés (Net Ecosystem Exchange, NEE) mérése. Méréseinkhez használt eddy-kovariancia (EC) rendszer egy CSAT3 (Campbell Scientific, USA) 10Hz-es szélesség méréseket végző ultraszónikus anemométerből és egy a vízgőz és a CO₂ koncentrációjának nagyfrekvenciás mérésére szolgáló Li-7500-as (Licor Inc, USA) nyílt utas infravörös gázanalizátorból (infra-red gas analyser = IRGA) áll, melyek SDM-en (synchronous device for measurement) keresztül egy CR5000 (Campbell Scientific, USA) adatgyűjtőhöz csatlakoznak. Kiegészítő mérések között szerepelt a csapadékmennyiség (ARG 100 rain gauge, Campbell, UK), a globálsugárzás (dual pyranometer, Schenk, Austria), a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR, SKP215, Campbell, UK), a talajnedvesség (CS616, Campbell, UK) és a talajhőmérséklet (105T, Campbell, UK) mérése.

A talajlégzés folyamatos mérésére kifejlesztett ASRS rendszer tartalmaz egy SBA-5 (PPSystems, Egyesült Királyság) típusú infravörös gázanalizátort (IRGA), két pumpát (MP, P), tömegáramlás-mérőket (MFM, D6F-01A1-110 típus, Omron Co., Japán), szelepeket (V1-10) és 10 db talajlégzés-mérő kamrát. A kamrák magassága 10,4 cm, átmérője 5 cm és alapterületük 19,6 cm². A kamrák stabilizálása és a direkt sugárzástól való védelem érdekében a műanyag kamrák (C) fehér fémhenger-borítást kaptak 2 mm-es légréssel. A kamrák tetején 4 db szellőzőnyílás van, melyek összes felülete 0,95 cm². A rendszer talajhőmérő és talajnedvesség-mérő szenzorokat (5TM, Decagon Devices, USA) is tartalmaz.

A LICOR-6400 típusú infravörös gázanalizátort és a hozzá tartozó talajlégzés-mérő kamrát a szabadföldi tesztelés során az alkalmankénti talajlégzés-méréseinkhez - melyek 2011-től kezdődően kéthetente történtek - használtuk. A talajhőmérséklet (T_s, °C) mérését (mely a talajlégzés-méréssel egyidőben a talaj felső 5 cm-es rétegében történt) 2011-2012 között kézi digitális hőmérővel, majd 2013-tól a talajlégzés-mérő műszerhez kapcsolt hőmérővel (001 MHP-ICSS-316G, Omega Engineering Ltd., UK) valósítottuk meg.

A talaj nedvességtartalmának térfogatszázalékban történő (SWC, %) mérésére (mely a talajlégzés-méréssel egyidőben a talaj felső 5 cm-es rétegében valósult meg) 2011-2012 között ML2 reflektométert (ML2, Delta-T Devices Co., Cambridge, UK), majd 2013-tól Field Scout talajnedvesség-mérőt (Field

Scout TDR 300, time domain reflectometry, Spectrum Technologies, IL-USA) használtunk.

Kiegészítő vizsgálatok

A talaj jellemző tulajdonságainak (talajtextúra, TN, TOC, gyökérbiomassa, pH, térfogatsűrűség) vizsgálata mellett a talajminták mikrobiális aktivitásának elemzésére is sor került, mely fluorescein-diacetát (FDA) hidrolízis és hifahossz-vizsgálatot foglalt magába. A biomassa-vágás talajlégzésre gyakorolt hatásának vizsgálatához kapcsolódó szabadföldi méréseink szintén Bugacon, legelés elől elzárt területen zajlottak.

Az adatok kiértékelése és a talajlégzés komponenseinek számítása

A talajlégzés biotikus és abiotikus tényezőktől való függésének megállapításához 4 modellt alkalmaztunk. A felhasznált talajlégzés modellek a következők voltak:

1. A talajlégzés hőmérséklet-függésének leírására a Lloyd-Taylor modellt használtuk (Modell 1):

$$Resp = R_{10} * e \left[E_0 * \left(\frac{1}{56,02} - \frac{1}{T_s - 227,13} \right) \right] \quad (1)$$

ahol $Resp$ a talajlégzés. Két paramétert (R_{10} és E_0) illesztettünk. R_{10} a 10 °C-on vett talajlégzési ráta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), E_0 az aktivációs energiához kapcsolódó paraméter Kelvinben kifejezve, T_s a talaj felső 5 centiméterében mért talajhőmérséklet (K).

2. A talajlégzés modellezésére használt Lloyd-Taylor modell továbbfejlesztett változata a talajlégzés térfogatszázalékban megadott talajnedvességtől (SWC, %) való függését is magában foglalja (Modell 2):

$$Resp = R_{10} * e \left[E_0 * \left(\frac{1}{56,02} - \frac{1}{T_s - 227,13} \right) \right] + \left[-0,5 * \left[\ln \left(\frac{SWC}{SWC_{opt}} \right) \right]^2 \right] \quad (2)$$

ahol SWC_{opt} a talajlégzés szempontjából optimális talajnedvesség tartalom (%). Három paraméter került illesztésre (R_{10} , E_0 és SWC_{opt}).

3. Modell 3 magában foglalja a normalizált differenciájú vegetációs indexet is (NDVI).

A szélessávú normalizált differenciájú vegetációs index (NDVI) értékek számításához a beérkező és visszavert globál- és fotoszintetikusán aktív sugárzás értékeket használtuk fel. A napi maximum sugárzásból napi NDVI értékeket, majd mozgó átlagos (1 hetes ablak mérettel) napi NDVI értékeket számítottunk és ezeket használtuk a további elemzésekhez.

$$Resp = R_{10} * e^{d * NDVI + E_0 * \left[\frac{1}{56,02} - \frac{1}{T_s - 227,13} \right]} + \left[-0,5 * \left[\ln \left(\frac{SWC}{SWC_{opt}} \right) \right]^2 \right] \quad (3)$$

ahol d egy hozzáadott modell paraméter. Négy paraméter illesztésére került sor (R_{10} , E_0 , SWC_{opt} és d).

4. A talajlégzés talajnedvességgel adott kapcsolatát a következő modell segítségével írtuk le (Modell 4):

$$Resp = R_{opt} * e^{\left[-0,5 * \left[\ln \left(\frac{SWC}{SWC_{opt}} \right) \right]^2 \right]} \quad (4)$$

ahol R_{opt} a talajlégzés optimális talajnedvesség tartalom mellett. Két paraméter (R_{opt} és SWC_{opt}) illesztését végeztük el.

Az azonos módon (kiástuk a talajt, átszitáltuk, a talajrétegeknek megfelelő sorrendben visszatöltöttük a különböző PVC csövekbe) létrehozott kezelésekben (gyökérkizárt= R_{TR} , valamint gyökér- és mikorrhiza kizárt kezelésekben= R_{TRM}) mért légzés értékek lehetővé teszik a mikorrhiza légzés meghatározását. Az R_M értéke a különböző kezelésekben mért légzésértékek különbségeként számítható ki az alábbiak szerint:

$$R_M = R_{TR} - R_{TRM} \quad (5)$$

Ismeretes, hogy a hálós technikával történő gyökérkizárásos módszer hátránya a talaj struktúrájának, szerkezetének bolygatása. Az ebből eredő eltérés korrekciójaként a kezelések CO_2 kibocsátás értékeit becsültük, továbbá a

talajnedvesség értékekben tapasztalt különbségek megszüntetése céljából az SWC értékeket azonos skálára emeltük, azaz normalizáltuk az alábbi egyenlet alapján:

$$SWC_n = \frac{SWC_{mean}}{SWC_{max}} \quad (6)$$

ahol SWC_n a normalizált talajnedvesség-érték kezelésenként SWC_{mean} az adott kezelésben mért (Exc, Exr vagy Exrm) óras átlag talajnedvesség érték, míg az SWC_{max} az említett kezelésekben mért maximum talajnedvesség érték.

A komponensek óránkénti légzés értékeinek becslését megelőzően a megfelelő modell paraméterek kiválasztásához mozgóablakos (5, 10, 30 nap, 1 ill. 3 év) modell-illesztést végeztünk. A becslésre a particionálásból fakadó, kezelésekben jelentkező talajnedvesség-tartalom változás miatt volt szükség. Az Exr kezelés (gyökérkizárt-kezelés) becslött értékei a heterotróf és mikorrhiza légzésnek feleltethetőek meg ($R_{(het+myc)*}$), míg az Exrm (gyökér- és mikorrhiza kizárt) kezelés becslött értékei a heterotróf légzést (R_{het*}) képviselik.

A különböző talajlégzés komponensek teljes talajlégzésen belüli részarányának meghatározása a becslött Exr ($R_{(het+myc)*}$) és a becslött Exrm (R_{het*}), valamint az Exc (R_s) kezelésben mért értékek felhasználásával történt a (7) és (8) egyenletek szerint.

A becslött mikorrhiza légzés (R_{myc*}) értékét a becslött gyökérkizárt kezelés légzés értékének és a becslött gyökér- és mikorrhiza kizárt kezelés légzésértékének különbségeként határoztuk meg:

$$R_{myc*} = R_{(het+myc)*} - R_{het*} \quad (7)$$

A becslött rhizoszférikus légzés (R_{rhizo*}) értéke a mért teljes talajlégzés érték és a becslött gyökérkizárt kezelés légzésértékének különbségeként került meghatározásra a következő egyenlet alapján:

$$R_{rhizo*} = R_s - R_{(het+myc)*} \quad (8)$$

Az adatfeldolgozás, a számítások és modell illesztések mind az R program alkalmazásával valósultak meg.

EREDMÉNYEK

Mérőműszer kalibrálás

Az általunk kifejlesztett automata mérőrendszer (ASRS) által mért CO₂-kibocsátás és a kalibrációs tartály CO₂-kibocsátása szoros korrelációt mutatott, ezzel is igazolva az ASRS mérések pontosságát. A LICOR-6400-as infravörös gázanalizátorral mért szabadföldi talajlégzés-értékek és az automata rendszer által rögzített fluxusok összevetése során kapott eredmények szintén a kifejlesztett rendszer megbízhatóságát támasztják alá.

Modell-illesztések

A három alkalmazott modell illesztését követően kapott paraméterek azt mutatták, hogy a Modell 3 (3. egyenlet), ahol a talajhőmérséklet, a talajnedvesség-tartalom és a vegetációs index (NDVI) független változóként volt jelen, jobbnak bizonyult a másik két modellhez képest. A Modell 4 illesztés (4. egyenlet) eredményei azt igazolták, hogy a talajlégzés SWC érzékenysége komponensenként eltérő.

A fotoszintetikus aktivitás és szén-allokáció mikorrhiza légzésre gyakorolt hatása

A mikorrhiza légzés (R_M) és a fotoszintetikus aktivitás (GPP) közötti kapcsolatot különböző time lag-ekkel, havonkénti bontásban is megvizsgáltuk, három hónap kivételével szignifikáns korrelációt tapasztaltunk. A legmagasabb korrelációs együttható márciusban jelentkezett, a leggyakoribb time lag pedig nulla napnak bizonyult.

A becsült talajlégzés komponensek részaránya

Az R_{het}^* komponens teljes talajlégzésen belüli részaránya átlagosan $55 \pm 21\%$ volt a 3 éves vizsgálati időszak során. Az R_{myc}^* teljes talajlégzéshez való hozzájárulása $9 \pm 9\%$, míg a R_{rhizo}^* aránya átlagosan $36 \pm 21\%$ -ra tehető.

Az R_{het}^* és R_{rhizo}^* komponensek átlagos részaránya a teljes talajbeli CO₂-kibocsátáson belül $52 \pm 19\%$ és $39 \pm 20\%$ az aktív periódus alatt, míg az irodalmi adatokkal összehangban $70 \pm 25\%$ és $21 \pm 21\%$ a nyugalmi időszak során. Az R_{myc}^* részaránya szintén változik az év során, azonban átlagban

sokkal kiegyenlítettebb a másik két komponenshez képest, ugyanis átlagosan $9\pm 9\%$ -ot ért el mind az aktív, mind pedig a nyugalmi időszakban.

A talajlégzés komponenseinek napi variabilitása

A talajlégzés napi variabilitását jelentősen befolyásolja a hőmérséklet, talajnedvesség és a szén-allokáció. Eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy a kezelésenkénti légzésintenzitások fenológiai fázisonként változnak, azonban az is jól látható, hogy az R_{TRM} kezelés légzésintenzitását az SWC változása kevésbé befolyásolja. Az éves menetben tapasztalt szórások magyarázatát keresve az egyes komponensek napi változékonyságát, azaz a napi átlaghoz viszonyított eltéréseinek mértékét is megvizsgáltuk a különböző fenológiai fázisokban. Eredményeink rávilágítanak a fotoszintézis talajlégzésre gyakorolt hatására a szubsztrát ellátottságon keresztül, valamint kiemelik a kettő közötti időbeliség fontosságát.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A doktori munka új tudományos eredményei a következő pontokban foglalhatóak össze:

1. Bebizonyítottuk, hogy az újonnan kifejlesztett nyílt rendszerű, automata talajlégzés-mérő rendszer megbízható és alkalmas a talajlégzés folyamatos rögzítésére, így a talajlégzés napi és éves változékonyságának tanulmányozására.
2. Modell-illesztéseket követően megállapítottuk, hogy az általunk használt modellek közül az abiotikus tényezők mellett (talajhőmérséklet, talajnedvesség) a biotikus független változót (vegetációs index, NDVI) is magába foglaló modell mutat legszorosabb összefüggést a talajlégzéssel, mely az autotróf komponens CO₂-felvétel iránti érzékenységre utal.
3. A talaj-nedvességtartalom és a napi átlag légzés értékek közötti analízissel kimutattuk a különböző komponensek eltérő aszály-érzékenységét, mely alapján megállapítottuk, hogy a heterotróf légzési komponens kevésbé érzékenyen reagál a talaj szárazodásra.
4. Megvizsgáltuk a napi GPP összeg és az R_M napi átlagai közötti összefüggést és megállapítottuk, hogy a fotoszintetikus aktivitás és a mikorrhiza légzés között szignifikáns kapcsolat mutatható ki.
5. Méréseink alapján megbecsültük a rhizoszférikus, mikorrhiza és heterotróf komponensek teljes talajlégzésen belüli arányát, illetve megállapítottuk, hogy száraz, homoki gyepen az autotróf és heterotróf komponensek részaránya eltérő az aktív és a nyugalmi időszak alatt.
6. Az éves változékonyság mellett meghatároztuk az egyes komponensek CO₂-kibocsátásának napi szintű dinamikáját, valamint megállapítottuk, hogy a talajlégzés elsősorban egy napos időskálán belül kapcsolódik a szén felvételhez (asszimilátum szállításhoz).

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kalibrálás és a talajlégzés-mérő műszerek összevetése

Az általunk kifejlesztett mérőműszer nagy előnye, hogy kis átmérőjű kamrái ($d = 5$ cm) a lehető legkisebb zavarás mellett alkalmazhatók gyepekben, így minimalizálják a talaj, valamint a talaj felszínéhez közel elhelyezkedő gyökerek bolygatását. A kalibrációs tartályon végzett mérések igazolták a műszer megbízható működését, így a mérések további korrekciójára nem volt szükség.

A kampányszerű mérési alkalmakkal ellentétben a folyamatos adatgyűjtés által lehetővé válik a talajlégzés napi és éves szintű változékonyságának elemzése és okainak feltárása, ezért javasoljuk a talajlégzés vizsgálatok során az általunk kifejlesztett automatizált, nyílt rendszerű talajlégzés-mérő műszerhez hasonló eszközök használatát.

A particionálás (szétválasztás) módszere/folyamata

A különböző légzési komponensek szétválasztására alkalmazott technika sikeresnek bizonyult, melyet a mikorrhiza mintavétel eredményei alátámasztanak. A gyökérekizárásos módszer egyik lehetséges problémája, hogy az SWC általában magasabb a kezeléseknél a kontrollhoz képest, ami a transzspiráció hiányával magyarázható. Vizsgálatunkban az SWC értékek szignifikánsan magasabbak voltak az Exr és Exrm kezeléseknél az Exc foltokon mért értékekhez képest.

Az adatfeldolgozás során javasoljuk az említett különbségek figyelembevételét, mely az SWC értékek normalizálásával, valamint a komponensek CO₂-kibocsátás becslése révén megalósítható.

Abiotikus és biotikus környezeti tényezők hatása

A heterotróf komponens és a talaj szárazodása között gyengébb kapcsolat volt tapasztalható, ezért arra következtethetünk, hogy az autotróf légzési komponens érzékenyebb az aszályra. Hasonló eredményeket találtunk az izotópos technikán alapuló particionálási vizsgálatunk során. Az abiotikus tényezők mellett a biotikus tényezők hatását is szükséges figyelembe venni. Ezt bizonyítja, hogy az NDVI-t, mint független változót tartalmazó Modell 3 alkalmazásával az illesztés javult (goodness of fit) összehasonlítva a csupán abiotikus tényezőket tartalmazó illesztésekhez képest, ezáltal kiemelve az autotróf komponens CO₂ felvétel iránti érzékenységét.

Munkánk során a fotoszintetikus aktivitás és a mikorrhiza légzés közötti időeltolódás elemzéséhez korrelációs analízist alkalmaztunk, melynek eredményeként szignifikáns korrelációt találtunk. A leggyakoribb time lag nulla nap volt. Az aktív periódusokban a GPP és az R_M között eltelt idő (0-2 nap) a fotoszintetikus termékek gyors transzlokációjára utal.

Eredményeink alapján javasoljuk a talajlégzés becsléséhez az abiotikus (talajhőmérséklet, talajnedvesség) és a biotikus (vegetációs index) változókat is tartalmazó modellek alkalmazását.

A talajból származó CO₂-kibocsátás komponenseinek részaránya és variabilitása

Megállapítottuk, hogy a heterotróf komponens teljes talajlégzésen belüli részaránya átlagosan 55%, míg az autotróf komponens részaránya átlagosan 45% volt a vizsgálati időszakban, valamint hogy a nyugalmi- és a növekedési periódus során eltérés tapasztalható.

A komponensek fenológiai fázisonkénti, évszakos változásain túl fontos megemlíteni a talajlégzés változásának napi dinamikáját is. Az aktív periódusban tapasztalt GPP és a CO₂ kibocsátás közötti 0 napos time lag alapján megállapítható a talajlégzés fotoszintézistől való erős függése, melynek hatása egy napon belül érezhető.

Az ökológiai rendszerek szénforgalmának alapos ismerete, modellszimulációk bemeneti paramétereinek pontosítása, a különböző komponensek eltérő részarányának és dinamikájának figyelembevétele fontos szempont, ezért javasoljuk további ökoszisztémák (pl. agrárökoszisztémák) talajlégzés komponenseinek vizsgálatát is.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓS LISTA

Szakmai folyóiratban megjelent cikk:

1. Marianna Papp, Szilvia Fóti, Zoltán Nagy, Krisztina Pintér, Katalin Posta, Sándor Fekete, Zsolt Csintalan, János Balogh (2018): Rhizospheric, mycorrhizal and heterotrophic respiration in dry grasslands. EUROPEAN JOURNAL OF SOIL BIOLOGY 85: pp. 43-52.
2. Papp Marianna, Balogh János, Pintér Krisztina, Fóti Szilvia, Koncz Péter, Marian Pavelka, Eva Darenova, Nagy Zoltán (2014): Homoki gyepek CO₂-kibocsátásának vizsgálata új, nyílt rendszerű automata mérőeszkővel. AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 63:(2) pp. 329-340.

A témához kapcsolódóan megjelent társszerzős cikk:

3. Balogh, J ; Fóti, Sz ; Papp, M ; Pintér, K ; Nagy, Z (2019): Separating the effects of temperature and carbon allocation on the diel pattern of soil respiration in the different phenological stages in dry grasslands. PLOS ONE 14: 10 Paper: e0223247, 19 p.
4. Fóti Sz, Balogh J, Papp M, Koncz P, Hidy D, Csintalan Zs, Kertész P, Bartha S, Zimmermann Z, Biró M, Horváth L, Molnár E, Szaniszló A, Kristóf K, Kampfl Gy, Nagy Z. (2018): Temporal variability of CO₂ and N₂O flux spatial patterns at a mowed and a grazed grassland. ECOSYSTEMS 21:(1) pp. 112-124.
5. Koncz P., Pintér K., Balogh J., Papp M., Hidy D., Csintalan Zs., Molnár E., Szaniszló A., Kampfl Gy., Horváth L., Nagy Z.(2017): Extensive grazing in contrast to mowing is climate-friendly based on the farm-scale greenhouse gas balance. AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT 240: pp. 121-134.
6. János Balogh, Marianna Papp, Krisztina Pintér, Szilvia Fóti, Katalin Posta, Werner Eugster, Zoltán Nagy (2016): Autotrophic component of soil respiration is repressed by drought more than the heterotrophic one in dry grasslands. BIOGEOSCIENCES 13:(18) pp. 5171-5182.
7. Szilvia Fóti, János Balogh, Michael Herbst, Marianna Papp, Péter Koncz, Sándor Bartha, Zita Zimmermann, Cecília Komoly, Gábor Szabó, Katalin Margóczy, Manuel Acosta, Zoltán Nagy (2016): Meta-analysis of grassland soil CO₂ efflux spatial variability as a result of

- interacting environmental factors at field scale. CATENA 143: pp. 78-89.
8. J Balogh, M Papp, K Pintér, Sz Fóti, K Posta, W Eugster, Z Nagy (2015): Autotrophic component of soil respiration is repressed by drought more than the heterotrophic one in a dry grassland. BIOGEOSCIENCES DISCUSSIONS 12: pp. 16885-16911.
 9. Balogh János, Fóti Szilvia, Pintér Krisztina, Burri Susanne, Eugster Werner, Papp Marianna, Nagy Zoltán (2015): Soil CO₂ efflux and production rates as influenced by evapotranspiration in a dry grassland. PLANT AND SOIL 388:(1-2) pp. 157-173.
 10. Koncz P, Balogh J, Papp M, Hidy D, Pintér K, Fóti Sz, Klumpp K, Nagy Z. (2015): Higher soil respiration under mowing than under grazing explained by biomass differences. NUTRIENT CYCLING IN AGROECOSYSTEMS 103:(2) pp. 201-215.
 11. Balogh J, Pintér K, Fóti Sz, Papp M, Cserhalmi D, Nagy Z. (2011): Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter and CO₂ uptake in dry grasslands. Soil Biology & Biochemistry 43: pp. 1006-1013.
 12. Balogh, J., Biró, M., Pintér, K. (2008): Root respiration in dry grassland. Cereal Research Communications 36: 355-358.

Konferencia kiadványban megjelent absztrakt (nemzetközi):

13. J, Balogh; Sz, Fóti; M, Papp; K, Pintér; Z, Nagy (2019): Diel patterns of rhizospheric, mycorrhizal and heterotrophic respiration, responses to drought and to plant CO₂ uptake in dry grasslands. Geophysical Research Abstracts 21 Paper: EGU2019-17660, 1 p.
14. Sz, Fóti; J, Balogh; B, Gecse; K, Pintér; M, Papp; P, Koncz; Z, Nagy (2019): Linking spatial analysis of low and high resolution grassland ecophysiological data. Geophysical Research Abstracts 21 Paper: EGU2019/EGU2019-17871, 1 p.
15. Koncz P, Pintér K, Hidy D, Balogh J, Papp M, Fóti Sz, Hortváth L, Nagy Z. (2015): Farm scale greenhouse gas budget; grazing is smart. In: Emmanuel Torquebiau (szerk.): Towards climate-smart solutions. Konferencia helye, ideje: Montpellier, Franciaország, 2015.03.16-

2015.03.18. (INRA - Institut national de la recherche agronomique). Montpellier: INRA; CIRAD, p. 193.

16. Papp M, Nagy Z, Pintér K, Koncz P, Fóti Sz, Balogh J (2014): Contribution of different soil respiration components to total soil CO₂ efflux. In: Zimmermann Z., Szabó G. (szerk.): II. „Sustainable development in the Carpathian Basin” international conference. Book of abstracts. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2014.12.11 -2014.12.13. Gödöllői Szent István Egyetem, pp. 1-164.
17. M Papp, Z Nagy, K Pintér, D Cserhalmi, P Koncz, Sz Fóti, J Balogh (2014): Components of the soil respiration in a sand grassland. In: Györgyey J. (szerk.) 11th Congress of the Hungarian Society of Plant Biology: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2014.09.27-2014.09.29. MTA Szegedi Biológiai Központ, 2014.
18. M Papp, J Balogh, K Pintér, D Cserhalmi, Z Nagy (2014): Soil CO₂ efflux in a sand grassland: contribution by root, mycorrhizal and basal respiration components. In: EGU General Assembly 2014. Konferencia helye, ideje: Wien, Ausztria, 2014.04.27-2014.05.02. Paper EGU2014-14580. (Geophysical Research Abstracts; 16.)
19. J Balogh, Sz Fóti, K Pintér, S Burri, W Eugster, M Papp, Z Nagy (2014): Transpiration affects soil CO₂ production in a dry grassland. In: EGU General Assembly 2014. Konferencia helye, ideje: Wien, Ausztria, 2014.04.27 -2014.05.02. Paper EGU2014-13838. (Geophysical Research Abstracts; 16.)
20. D Cserhalmi, J Balogh, M Papp, L Horváth, K Pintér, Z Nagy (2014): Effect of elevated atmospheric CO₂ concentration on soil CO₂ and N₂O effluxes in a loess grassland. In: EGU General Assembly 2014. Konferencia helye, ideje: Wien, Ausztria, 2014.04.27 -2014.05.02. Paper EGU2014-14656. (Geophysical Research Abstracts; 16.)
21. Sz Fóti, J Balogh, M Papp, Z Zimmermann, G Szabó, M Herbst, M Biró, S Bartha, L Horváth, Z Nagy (2014): Drivers of spatial patterns of physiological and soil parameters at micro- and field scale in a Hungarian sandy grassland. In: EGU General Assembly 2014. Konferencia helye, ideje: Wien, Ausztria, 2014.04.27 -2014.05.02. Paper EGU2014-13672. (Geophysical Research Abstracts; 16.)

22. K Pintér, J Balogh, P Koncz, D Hidy, D Cserhalmi, M Papp, Sz Fóti, Z Nagy (2014): Carbon sink activity is stronger under grazing than under mowing: results from a paired eddy flux towers experiment. In: EGU General Assembly 2014 . Konferencia helye, ideje: Wien, Ausztria, 2014.04.27 -2014.05.02. Paper EGU2014-14542. (Geophysical Research Abstracts; 16.)
23. Nagy Z, Pintér K, Pavelka M, Cserhalmi D, Papp M, Darenova E, Balogh J. (2011): Advantages of measuring eddy covariance and soil respiration simultaneously in dry grassland ecosystems. In: Dolman H, Ciais P, Freibauer A, Valentini R, le Quere C, Canadell P, Latham J, Bombelli A, Baek S (szerk.) Geocarbon Conference: Carbon in a changing world. Rome, Olaszország, 2011. október 24-26.

Konferencia kiadványban megjelent absztrakt (magyar):

24. Balogh J, Fóti Sz, Papp M, Pintér K, Koncz P, Posta K, Nagy Z. (2015): A szárazság hatása hazai gyepek szénforgalmára és annak összetevőire. In: Padisák Judit, Liker András, Stenger-Kovács Csilla (szerk.): X. Magyar Ökológus Kongresszus. 165 p. Konferencia helye, ideje: Veszprém, Magyarország, 2015.08.12-2015.08.14. Veszprém: Pannon Egyetem, p. 27.
25. Fóti Sz, Balogh J, Herbst M, Papp M, Koncz P, Bartha S, Zimmermann Z, Komoly C, Szabó G, Margóczy K, Acosta M, Nagy Z. (2015): Metaanalízis gyepek talajlégzésének térbeli mintázatáról. In: Padisák Judit, Liker András, Stenger-Kovács Csilla (szerk.): X. Magyar Ökológus Kongresszus. 165 p. Konferencia helye, ideje: Veszprém, Magyarország, 2015.08.12-2015.08.14. Veszprém: Pannon Egyetem, p. 55.
26. Koncz Péter, Pintér Krisztina, Hidy Dóra, Balogh János, Papp Marianna, Fóti Szilvia, Horváth László, Nagy Zoltán (2015): Az ország első farm szintű üvegházgáz mérlege. In: Padisák Judit, Liker András, Stenger-Kovács Csilla (szerk.): X. Magyar Ökológus Kongresszus. 165 p. Konferencia helye, ideje: Veszprém, Magyarország, 2015.08.12-2015.08.14. Veszprém: Pannon Egyetem, p. 80.
27. Papp Marianna, Balogh János, Pintér Krisztina, Fóti Szilvia, Posta Katalin, Nagy Zoltán (2015): Az autotróf és heterotróf komponensek aránya homoki legelő talajlégzésében. In: Padisák Judit, Liker András,

- Stenger-Kovács Csilla (szerk.): X. Magyar Ökológus Kongresszus. 165 p. Konferencia helye, ideje: Veszprém, Magyarország, 2015.08.12-2015.08.14. Veszprém: Pannon Egyetem, p. 112.
28. Papp M., Balogh J., Pintér K., Cserhalmi D., Nagy Z. (2013): The soil CO₂ efflux in a sandy grassland (Homoki gyep talajának CO₂ kibocsátása). In: Szabó G., Zimmermann Z.(szerk.): VIII. Kárpát-medencei Biológiai Szimpózium: I. Fenntartható fejlődés a Kárpát-medencében. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2013.11.21 -2013.11.23. Gödöllői Szent István Egyetem, pp. 1-144.
29. Papp M., Balogh J., Pintér K., Nagy Z. (2012): Talajlégzés komponenseinek vizsgálata homoki legelőn. Poszter. 9. Magyar Ökológus Kongresszus: Programfüzet, Előadások és poszterek összefoglalói. 117 p., Keszthely, Magyarország, 2012. szeptember 5-7. Vácrátót: MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet, 2012. p. 83. (ISBN:978-963-8391-54-4)
30. Papp M., Cserhalmi D, Balogh J, Nagy Z. (2012): Homoki gyep talajlégzés alkotóinak vizsgálata. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében IX. konferencia, Gödöllő, 2012. február 24-26. KITAIBELIA 17:(1) p.133.
31. Balogh J, Fóti Sz, Pintér K, Papp M., Cserhalmi D, Koncz P, M Pavelka, E Darenova, Nagy Z (2012): Talajok CO₂ kibocsátásának mérése új, automatizált technikával. In: Bartha S, Mázsa K (szerk.): 9. Magyar Ökológus Kongresszus: Programfüzet, Előadások és poszterek összefoglalói. 117 p. Konferencia helye, ideje: Keszthely, Magyarország, 2012.09.05 -2012.09.07. Vácrátót: MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet, 2012. p. 28. (ISBN:978-963-8391-54-4)
32. Bartha S, Fóti Sz, Balogh J, Péli E, Margóczy K, Csete S, Biró M, Csathó A I, Cserhalmi D, Koncz P, Németh Z, Papp M., Sutyinszki Zs, Szentes Sz, Tóth Zs, Molnár K, Kari A, Szerdahelyi T, Nagy Z (2012): A mikrocönológiai szerkezet és a szüfniziológiai működés összefüggései homoki gyepekbe. KITAIBELIA 17:(1) p. 75.

Könyvfejezet:

33. Koncz P., Papp M. (2016): Tájökológia fejezet, In: Nagy Z et al: Növényökológia egyetemi jegyzet, SZIE, MKK Növénytani és Ökofiziológiai Intézet, p. 120
34. Balogh J, Papp M, Pintér K, Cserhalmi D, Fóti Sz, Nagy Z. (2010): A talajlégzés alkotóinak vizsgálata száraz homoki legelőn. In: Bartha S, Nagy Z (szerk.) Botanikai, Növényélettani és Ökológiai Kutatások. Tuba Zoltán professzor úr emlékének. Gödöllő: SZIE MKK Növénytani és Ökofiziológiai Intézet, 2010. pp. 17-27. (ISBN:978-963-269-200-5)

Nem publikált tudományos jelentések:

35. Biró M. (2009): Gyepökoszisztémák szénforgalmának komponensei különös tekintettel a klímavédelemre. Diplomamunka, Gödöllő, SZIE Növénytani és Ökofiziológiai Intézet, 44 oldal.
36. Biró M. (2007): Talajlégzés komponenseinek azonosítása, XXVIII: Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Biológia Szekció, Debrecen, 2007. április 4-6.
37. Biró M. (2006): Talajlégzés komponenseinek azonosítása. TDK dolgozat, Gödöllő, SZIE Növénytani és Ökofiziológiai Intézet, 37 oldal.