

SZENT ISTVÁN EGYETEM

KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**Eltérő nitrogén-tápanyagellátási módok hatása a talaj
N₂O és CO₂ produkciójára és kibocsátására
bolygatatlan talajoszlop- és tenyészedény
modellkísérletben.**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Molnár Erik

Gödöllő

2020

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága Környezettudomány

vezetője: Csákiné Dr. Michéli Erika egyetemi tanár Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Környezettudományi Intézet Talajtani és Agrokémiai Tanszék

Belső témavezető: Dr. Heltai György professor emeritus, az MTA doktora, Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Környezettudományi Intézet Kémia Tanszék

Külső témavezető: Dr. Szili-Kovács Tibor, tudományos főmunkatárs, a mezőgazdasági tudományok kandidátusa Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A belső témavezető jóváhagyása

.....
A külső témavezető jóváhagyása

A munka előzményei, a kitűzött célok

Az éghajlatváltozás kormányközi testületének (IPCC) jelentései szerint napjainkban növekvő tendenciát mutat az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja, azaz az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásai történelmi időskálán jelenleg a legmagasabbak. A közelmúltbeli éghajlati változások széleskörű hatással vannak az ember által létrehozott, valamint a természeti rendszerekre (IPCC 2014)

A kibocsátáshoz az ipar és a közlekedés környezetterhelésén kívül a mezőgazdasági szektor is hozzájárul. Mivel a növények nem minden esetben képesek a talajba juttatott tápanyag-utánpótlást teljes egészében felvenni, a nem megfelelő növénytaplálás miatt a nitrogén-veszteség is nőhet. Ennek legnagyobb része a nitrát kimosódásból adódik, de jelentős lehet a gázalapú nitrogén veszteség (N_2 , NO és N_2O) is, főként a denitrifikációból fakadóan. E folyamatnak köszönhetően nőhet a légkör N_2O koncentrációja, mely a sztratoszférában NO molekulává alakulva képes bontani az ózont, csökkentve ezzel az ózonpajzs vastagságát is. Mind a CO_2 , mind az N_2O hozzájárulhat a globális klímaváltozáshoz, mely hazánkban az évi középhőmérséklet emelkedésén kívül a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribb előfordulásában is megnyilvánul. E hatásokra a talaj szervesanyag-forgalmával biológiailag szoros kapcsolatban lévő nitrogén-ciklusok érzékenyen reagálnak. Mindezen okok miatt kiemelten aktuális feladatnak tekinthető a különböző nitrogén-ellátási módok szerepének tanulmányozása a talajlevegő CO_2 és N_2O produkciójában.

Munkám az OTKA által támogatott pályázatok (K 72926; K 73326, K 73768) négyesintű kísérleti rendszeréhez kapcsolódott, melyben szántóföldi, bolygatatlan talajoszlop, mezokozmosz (nagy méretű tenyészedeny), és mikrokozmosz kísérleti rendszerekben tanulmányoztuk a talajlevegő CO_2 , N_2O és NO_x koncentráció változását különböző tápanyag- és vízellátási körülmények között. Ezekben a vizsgálatokon belül a saját kutatási célkitűzéseim a következők voltak:

a különböző tápanyagellátási módokon kezelt talajokban a CO_2 és N_2O felhalmozódásának és felületi emissziójának tanulmányozása a természeteshez legközelebb álló környezeti viszonyok mellett, az alábbi kísérleti összeállításokban:

1. A Pannon Egyetem Georgikon Karának üvegházában felállított tenyészedenyeket 50 kg, szántóföldi tartamkísérletből származó talajmintával töltöttük meg, a talajban gázcsapdákat helyeztünk el talajlevegő minták gyűjtésére. Azonos vízellátottság mellett a különféle kezelést kapott mezokozmosz rendszerek mindegyikében kukorica jelzőnövényeket neveltünk a betakarításig. A kísérlet során a különböző istállótrágya, NPK műtrágya és ezek kombinációinak, valamint a kukoricaszár alászántásának hatását vizsgáltam.

2. A tartamkísérlet szegélyterületéről származó talajrétegből bolygatatlan talajoszlopokat készítettünk, melyeket az MTA-TAKI Órbottyáni telephelyén egy süllyesztett aknában helyeztünk el. Ezen kísérleti rendszerben ugyancsak kukorica jelzőnövény alkalmazásával különböző hatóanyag-tartalmú szerves és NPK trágyázás mellett tanulmányoztam a CO_2 és N_2O mélységi eloszlását 20, 40, 60 cm mélységben elhelyezett gázcsapdákkal a tenyészidő folyamán. A CO_2 felszíni emisszióját a felszínen kialakított gyűjtőkamrákban mértem.

Arra kerestem a választ, hogy milyen körülmények között számíthatunk az üvegházhatású gázok nagyobb mértékű emissziójára, és kimutathatók-e az ezzel kapcsolatos mikrobiológiai aktivitás változásai a talajban a különböző tápanyagellátási viszonyok és a hazai klimatikus adottságok mellett.

Anyag és módszer

Tenyészedény kísérleti rendszer

A kutatás mezokozmosz kísérleti részéhez a Pannon Egyetem Georgikon Karának tartamkísérletéből származtak a talajminták. Mindegyik tenyészedény-mezokozmosz esetén a gázcsapdák a felszíntől mért 20 cm-es talajmélységben két 0,9 dm³ térfogatú gázzáró tölcserő helyezettük el. A tölcserők végei, a CO₂ és N₂O gáz tekintetében át nem eresztő szilikoncsövekkel voltak összekötve. A szilikoncső szabad vége fadugóval volt lezárva, a mintavétel a szabadon lógó szilikoncsövön keresztül történt.

Valamennyi tenyészedény esetén a vízellátottság azonos volt (V_k=65%) melyet tömegre öntözéssel biztosítottunk. Az üvegház belső léghőmérsékletét folyamatosan rögzítettük, és a mérés valamint az azt megelőző nap átlagos napi középhőmérsékletét vettük figyelembe a korreláció vizsgálatnál. A mezokozmoszok mindegyikébe 4 tő kukorica jelzőnövény volt ültetve. 30 tenyészedényben 10 féle kezelés hatását tanulmányoztuk (így egy kezelést összesen 3 edényben ismételtünk). Minden egyes gázmintát 3 ismétlésben vettünk. Az egyes kezeléseket úgy állítottuk össze, hogy különböző adagú istállótrágyát, hatóanyagtartalom tekintetében ezzel egyenértékű NPK műtrágyát (27%-os pétisó, 18%-os szuperfoszfát, 60%-os KCl), ezek kombinációit, valamint a vetésforgóban szereplő kukorica, vagy őszi búza szalmájának alászántását alkalmaztuk. Az egyes talajminták kezelési összeállításait az 1. számú táblázat foglalja össze. A szerves trágyázást még a kisparsellás tartamkísérlet részeként kapták meg a talajminták, az istállótrágya táblázatban feltüntetett mennyiségének első részletét 2008 őszen. A PK műtrágyát ugyanekkor kapták meg a talajminták, a N műtrágyát azonban minden évben tavasszal. 2008-ban három kezelésben a felszínre helyezett gázcsapdákkal is (1F, 4F és 7F kezelés), 2010-ben pedig ugyanezen három kezelésben jelzőnövény alkalmazása nélkül is (1A, 4A és 7A kezelés) elvégeztük a kísérletet. A mezokozmosz kísérlet mindhárom évben vetéssel indult, amely 2008-ban 05.08-án, 2009-ben 04.25-én, 2010-ben pedig 04.30-án történt.

1. táblázat A mezokozmosz kísérleti rendszerben alkalmazott kezelések

Kezelés száma	Alkalmazott kezelés leírása
1	Kezelés nélküli kontroll
2	35 t ha ⁻¹ istállótrágya (öt év alatt 2 részletben kijuttatva)
3	70 t ha ⁻¹ istállótrágya (öt év alatt 2 részletben kijuttatva)
4	105 t ha ⁻¹ istállótrágya (öt év alatt 2 részletben kijuttatva)
5	1 egység (35 t ha ⁻¹ istállótrágyával egyenértékű) NPK tartalmú műtrágya
6	2 egység (70 t ha ⁻¹ istállótrágyával egyenértékű) NPK tartalmú műtrágya
7	3 egység (105 t ha ⁻¹ istállótrágyával egyenértékű) NPK tartalmú műtrágya
8	35 t ha ⁻¹ istállótrágya és 640 kg ha ⁻¹ N 360 kg ha ⁻¹ P és 660 kg ha ⁻¹ K tartalomnak megfelelő műtrágya
9	1 egység műtrágya és 640 kg ha ⁻¹ N 360 kg ha ⁻¹ P és 660 kg ha ⁻¹ K tartalomnak megfelelő műtrágya
10	1 egység műtrágya és 640 kg ha ⁻¹ N 360 kg ha ⁻¹ P és 660 kg ha ⁻¹ K tartalomnak megfelelő műtrágya, valamint őszi búza szalmájának alászántása

Talajoszlopos kísérleti rendszer

A vizsgálat során hat bolygatatlan talajoszlopot alkalmaztunk különböző kezelésekkkel. A talajoszlopot az MTA ATK Talajtani Kutató Intézet örbottyáni telephelyén a szabadban egy süllyesztett aknában állítottuk fel. Ezek a bolygatatlan oszlopok a Pannon Egyetem keszthelyi műtrágyázási tartamkísérletek melletti nem szántott szegélyterületről származnak. Mivel a preparálás során megőrizték eredeti szerkezetüket, a három fázis (szilárd, folyadék és gáz) dinamikájának vizsgálata a természeteshez közeli környezetben valósulhatott meg. A hat darab talajoszlop magassága 90 cm, átmérője 40 cm volt. Az oszlopokat egyenként három furattal láttuk el, 20, 40 és 60 centiméteres talajmélységben. Ezekbe a furatokba kerültek a

320 mm hosszú, 12 mm-es belső átmérőjű és 1,2 mm falvastagságú, a CO₂ és az N₂O tekintetében gázáteresztő szilikonsövek. A csövek végeit butilgumi szeptummal zártuk le, amelyeket átszűrve vettük a mintákat. Választásunk azért esett a gázáteresztő szilikonsövekre, mert ilyenkor a talajlevegő még akkor is átjut diffúzióval a cső falán, ha a talaj pórustere vízzel telített (Szili-Kovács et al. 2009b). A szilikonsövek összeesésének elkerülése érdekében a szilikonsövekbe 12mm-es spirálrugót helyeztünk el távtartóként. A talajoszlop kísérletek 2008-ban 05.26-án, 2009-ben 05.10-én, 2010-ben 04.27-én, 2011-ben 05.02-én, 2012-ben pedig 05.03-án indultak (2009-től vetéssel).

A hat talajoszlop 2009-től eltérő kezeléseket kapott. Az egyes kezeléseket a hatodik oszlop kivételével a tenyészedény kísérleti rendszerrel azonosan állítottuk össze. Az egyik oszlop csak istállótrágyát, másik két oszlop a hatóanyag-tartalom tekintetében az istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyát, valamint egy oszlop a műtrágyán felül további NPK műtrágyát kapott. Az egyik kontroll oszlop és az egyik kombinált kezelésben részesített talajoszlop kivételével az oszlopokba egyenként 4 db kukorica jelzőnövényt (*Zea mays* L.) ültettünk. Az egyes kezeléseket a 2. számú táblázat mutatja be.

2. táblázat: a talajoszlopok egyes kezeléseiről

oszlop száma	Alkalmazott kezelések	Tenyészedény kezelés száma
1	Kontroll, növény nélkül	1
3	Kontroll, kukorica növényvel	1
5	105 t ha ⁻¹ istállótrágya öt év alatt 2 részletben kijuttatva	4
2	3 egység (105 t ha ⁻¹ istállótrágyával tápanyag tekintetében egyenértékű) öt év alatt 2 részletben kijutatott NPK tartalmú műtrágya (növény nélkül)	7
4	3 egység (105 t ha ⁻¹ istállótrágyával tápanyag tekintetében egyenértékű) öt év alatt 2 részletben kijutatott NPK tartalmú műtrágya (növényvel)	7
6	105 t ha ⁻¹ istállótrágya és 3 egység (105 t ha ⁻¹ istállótrágyával tápanyag tekintetében egyenértékű) NPK tartalmú műtrágya öt év alatt 2 részletben kijuttatva	-

Mindkét kísérleti rendszer esetében a gázminta szállítása előre vákuumozott, szeptummal lezárt mintavevő csövekben történt. A talajoszlopok felszínéről származó gázmintákat a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetének laboratóriumába, a talajoszlopok belsejéből származó mintákat pedig a Szent István Egyetem Kémia Tanszékének laboratóriumába szállítottuk, ahol a mérést minél gyorsabban végrehajtottuk. A gázminták elemzése a Szent István Egyetem Kémia Tanszékén HP 5890 Series II gázkromatográf (Kampfl et al.2007, Fóti et al. 2017, Koncz et al. 2017)(Porapak Q oszloppal TCD és ECD detektorral felszerelve) történt meg. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetében pedig, FISONS GC8000 gázkromatográf (Porapak Q oszloppal, metanizátorral és FID detektorral felszerelve) segítségével történt.

További vizsgálatok:

FDA (fluoreszcein-diacetát) vizsgálat, melynek lényege, hogy a színtelen fluoreszcein-diacetátot a talajban található enzimek képesek hidrolizálni. A hidrolízis eredményeként színes végtermék keletkezik, a fluoreszcein (Stubberfield & Shaw 1990), melynek koncentrációja élénksárga színe miatt spektrofotometrikan mérhető (Swisher & Carrol 1980, Adam & Duncan 2001, Green et. al. 2005). A talajoszlopos és a tenyészedény vizsgálat esetében is végeztünk FDA vizsgálatot 3 ismétlésben.

SIR (szubsztrát-indukált respiráció) vizsgálat, melynek lényege, hogy a mikroorganizmusok széles körében hasznosítható (D-glükózoldatot) szubsztrátot adnak a talajhoz, amire a talaj mikroszervezetei a respiráció növekedésével válaszolnak (Anderson & Domsch 1978).

Megfigyelték, hogy a respirációs válasz nagysága arányos a mikrobiális biomasszával (Szili-Kovács 2004). A keletkezett CO₂ mennyiségét a korábban említett FISON S GC8000 gázkromatográf segítségével mértük meg.

Szénmérleg számítása

A kísérletsorozat elején a talaj szerves széntartalmának (SOC) mérésére is sor került 2008-ban. 2012-ben a kísérlet végeztével szintén mérésre került a SOC. A talajban visszamaradt szénmennyiség becslésekor a kifejtett kukoricánövény széntartalom átlagának 29%-ával vettük figyelembe, ahogyan azt Amos és Walters javasolta (2006). A talaj kumulatív CO₂-C kiáramlását Gong és munkatársai (2012) javaslata alapján számítottuk ki.

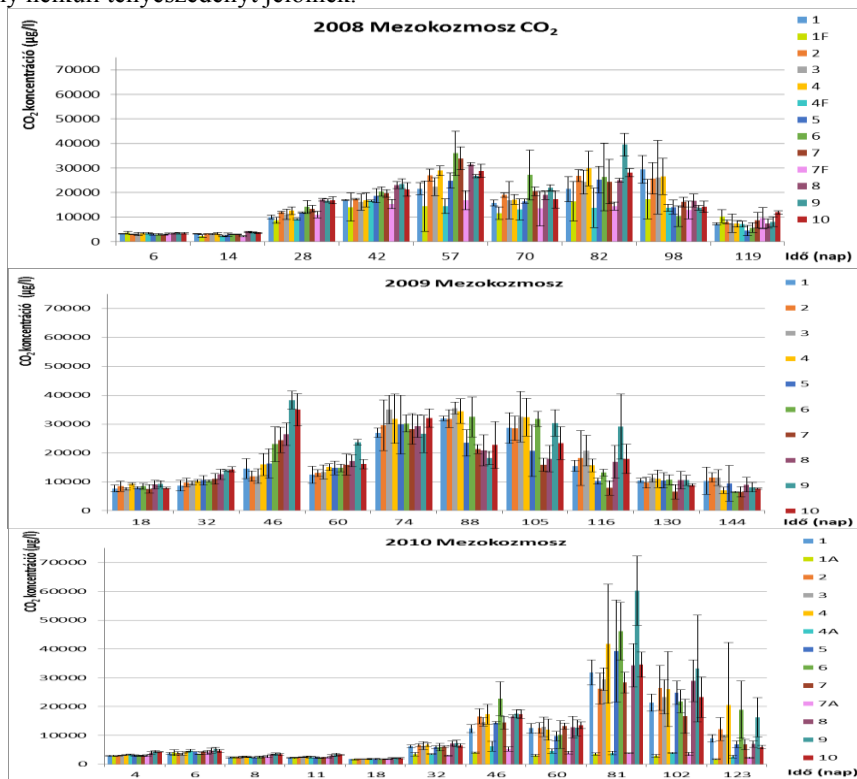
Statistikai értékelés

A statisztikai értékelést a Statistical Product and Service Solutiond (SPSS) 9 és ugyanezen program 16-os verziójával végeztük. A különböző tényezők hatásait Tukey-féle posthoc teszttel kiegészített variancia-analízissel, a változók közötti összefüggések szorosságát Spearman-féle rank-korrelációval határoztuk meg

Eredmények és értékelésük

A mezokozmosz kísérleti rendszer

A mezokozmosz kísérleti rendszer eredményeit az 1. és 2. ábra szemlélteti. Az „F” jelű kezelések felszíni gázcsapdából történő gázmintavételt jelölnek. Az „A” jelű kezelések növény nélküli tenyészedényt jelölnek.



1. ábra: a mezokozmosz kísérleti rendszerben mért CO₂ koncentrációk 2008-2012. A kezelések jelölése az 1. táblázatban látható.



2. ábra: a mezokozmosz kísérleti rendszerben mért N₂O koncentrációk 2008-2012. A kezelések jelölése az 1. táblázatban látható.

A **tenyészedényes** kísérleti rendszerben a CO₂ és N₂O képződésével kapcsolatban mindhárom évben megfigyelhetők voltak a következő hatások:

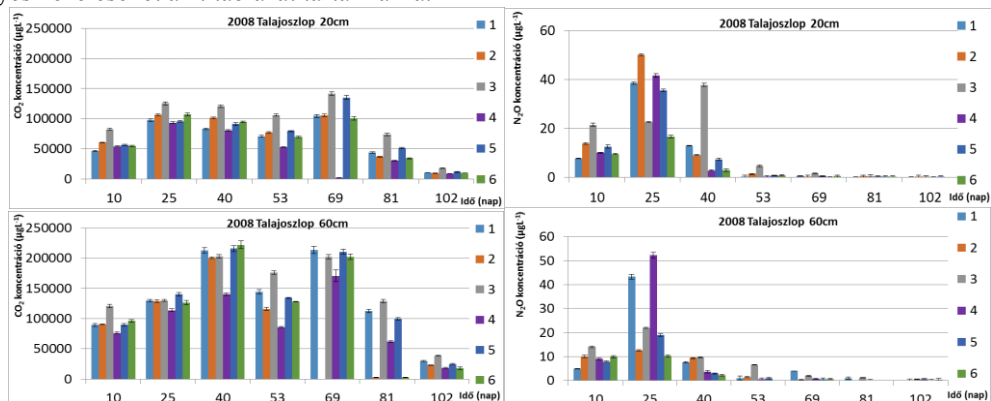
- A növény nélküli kezelésekben minden esetben szignifikánsan kisebb a CO₂ produkció, mint az azonos növényes kezelésekben. Az N₂O produkció a növényes kezelésekben is nagyobb, mint a megfelelő növény nélküli kezelésekben. Ezek a különbségek azonban nem szignifikánsak.
- A trágyázási kezelések az esetek többségében szignifikánsan növelték a CO₂ produkciót a szerves trágya < ásványi trágya < szerves+ ásványi trágya sorrendben. A 2008 és 2009 években csak az ásványi (NPK) kezelésekben figyeltünk meg egy-egy időpontban a kontrollnál szignifikánsan nagyobb N₂O produkciót. A 2010 évben, amikor a kísérlet kezdeti (2., 4., 6.) napján is vettünk gázmintákat, rövid időszakban szignifikánsan nagyobb volt az N₂O produkció a kontrollnál a szerves trágya < ásványi trágya < szervesanyag+ ásványi trágya sorrendben. Chantigny és munkatársai (2010), Lopez-Fernandez és munkatársai (2007), valamint Pareja és munkatársai (2019) is hasonló eredményre

jutottak, de más tanulmányok, pl. Velthof és munkatársai (2003) valamint Groenigen és munkatársai (2004) arra a következtetésre jutottak, hogy megfelelő körülmények között a szerves trágya nagyobb N₂O produkciót eredményez.

- A tenyésztés folyamán kezdeti stagnálás után a CO₂ produkció szignifikánsan növekedni kezdett, s egy, vagy két maximum elérése után a tenyésztés végére a CO₂ koncentráció a kezdeti szintre csökkent. A tenyésztés folyamán szignifikáns N₂O produkció növekedés csak a kezdeti a CO₂ tekintetében kezdeti stagnálás időszakban (az 1.-6. nap között) volt mérhető. Ezt követően már nem látható az idő szerinti változásban tendencia. Ezt az időbeni eltolódást Kampfl és munkatársai (2007) kimutatták mikrokozmosz kísérleti szinten is.
- Az üvegház léghőmérsékletek átlaga és a CO₂ produkció között Hoffman és munkatársai (2013) által elvégzett korrelációelemzés eredményeként a két változó közötti szoros szignifikáns kapcsolat igazolódott ($r = 0,91$ $p < 0,01$), tehát (optimális vízellátottság mellett) a hőmérséklet nagyban befolyásolta a keletkező CO₂ mennyiségét.
- A talajfelszínre elhelyezett gázcsapdáknál a CO₂ koncentráció az esetek többségében szignifikánsan kisebb volt, mint a 20 cm-es mélységből vett mintákban mért értékek. Ezzel ellentétben a talajfelszínre elhelyezett gázcsapdáknál az N₂O produkció az esetek többségében nagyobb, mint a 20 cm-es mélységből vett mintákban mért értékek. Ez a tendencia azonban statisztikailag nem volt egyértelműen igazolható.

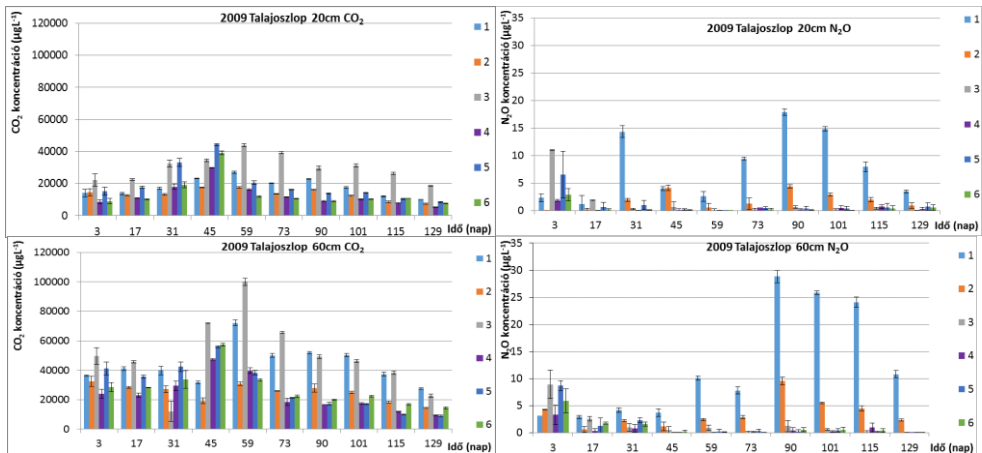
Talajoszlop kísérleti rendszer

A talajoszlop kísérleti rendszer eredményeit a 3. 4. 5. 6. és 7. ábra szemlélteti. 2009-től az egyes kezeléseket a 2. táblázat tartalmazza.

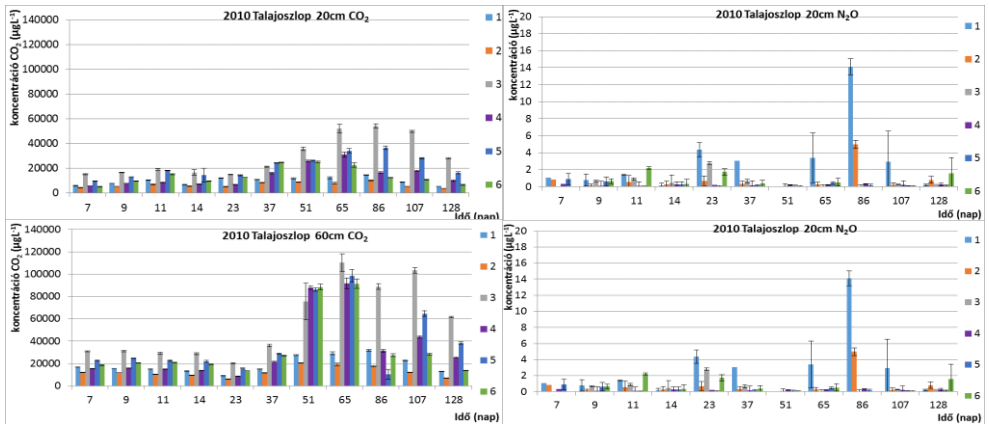


3 ábra: a CO₂ és N₂O koncentrációjának változása a tenyésztés folyamán 20 és 60cm-es mélységben 2008-ban.

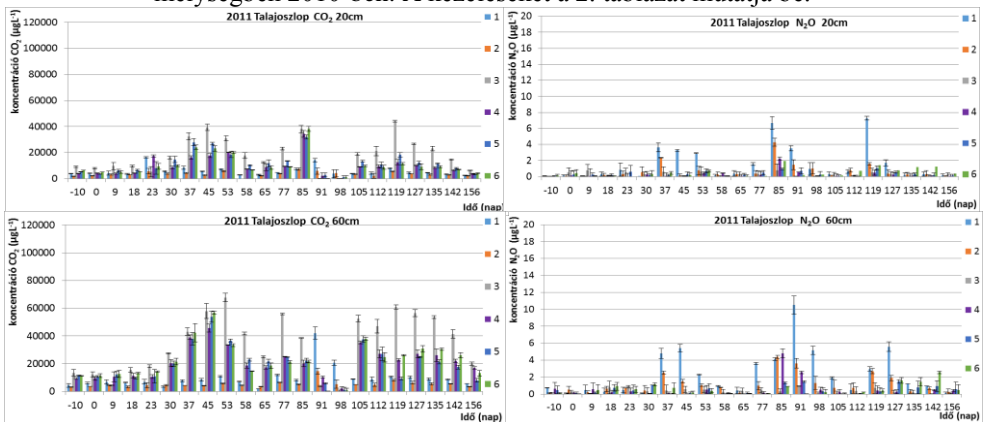
A talajoszlopok kísérleti szinten a kutatás első évében 2008-ban még nem alkalmaztunk eltérő trágyakezeléseket, így az oszlopok közötti különbségeket eltérő talajnedvességük, valamint az egyedi szerkezetük okozhatta (Szili-Kovács et al., 2009a). A CO₂ koncentráció a mélységgel növekedett az esetek több mint 85%-ban. A legtöbb mérés (több mint 91,6%-ban) szignifikánsan eltért egymástól. Az N₂O koncentráció viszont az esetek többségében a legfelsőbb rétegben volt a nagyobb, a középső és alsó rétegben az eredmények többségében (74,36%-ban) nem különböztek szignifikánsan egymástól. Az N₂O koncentrációban egy határozott csúcs jelent meg, amely időpontja – a meteorológiai adatokat is figyelembe véve – egybeesett a meleg és csapadékos gazdag időszakkal, ezért vélhetően az ezen tényezők miatt kialakult anaerob rétegek által indukált denitrifikáció volt a felelős a fokozottabb N₂O termelődésért (Szili-Kovács et al., 2009b).



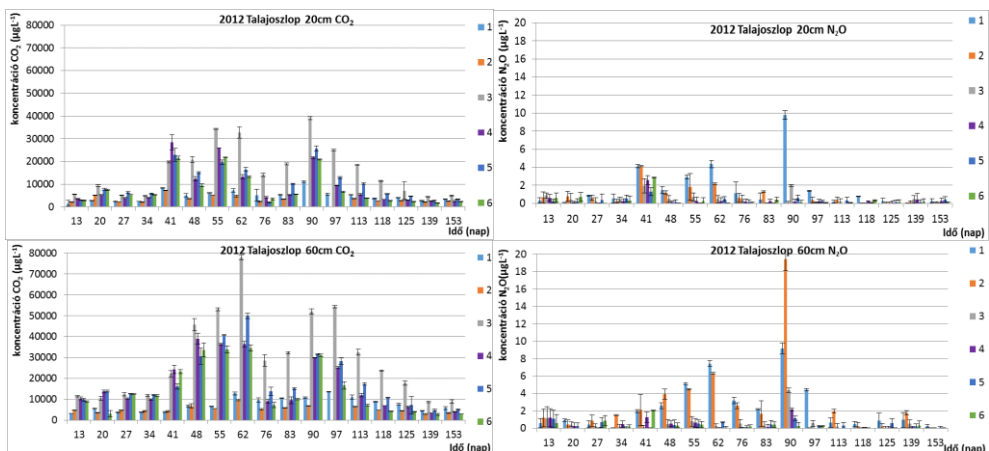
4. ábra: a CO₂ és N₂O koncentrációjának változása a tenyésztő folyamán 20 és 60cm-es mélységben 2009-ben. A kezeléseket a 2. táblázat mutatja be



5. ábra: a CO₂ és N₂O koncentrációjának változása a tenyésztő folyamán 20 és 60cm-es mélységben 2010-ben. A kezeléseket a 2. táblázat mutatja be.



6. ábra: a CO₂ és N₂O koncentrációjának változása a tenyésztő folyamán 20 és 60cm-es mélységben 2011-ben. A kezeléseket a 2. táblázat mutatja be.



7.ábra: a CO₂ és N₂O koncentrációjának változása a tenyésztő folyamán 20 és 60cm-es mélységben 2012-ben. A kezeléseket a 2. táblázat mutatja be.

A 2009., 2010., 2011. és 2012. évi kísérletekben a hat talajoszlop már eltérő kezelést kapott. Mind a négy kísérleti évben megfigyelhető, hogy a CO₂ és N₂O koncentráció szintje az első kondicionáló évhez képest valamennyi oszlopban általánosan csökkent (több mint 50%-kal). Ennek az lehetett az oka, hogy a 2008-ban frissen elkészített talajoszlopokban jelenlévő gyökérmaradványok az első évben jelentősen hozzájárulhattak mind a CO₂, mind pedig az N₂O képződéshez.

A talajoszlopokban a CO₂ és N₂O koncentráció változásával és képződésével kapcsolatban mind a négy évben általánosan megfigyelt hatások:

- Növény jelenlétének hatására a növény nélküli kontrollhoz képest a CO₂ produkció szignifikánsan növekedett csaknem a teljes tenyésztőidőszak alatt, az N₂O produkcióban a tenyésztőidőszak kezdetén szignifikáns növekedés, később viszont szignifikáns csökkenés volt megfigyelhető.
- A növény nélküli talajoszlopokban a kontrollhoz képest az NPK kezelés hatására szignifikánsan kisebb lett a talaj CO₂ és az N₂O produkció is.
- Az NPK kezelés a kukorica növény alkalmazása mellett is az esetek többségében csökkentette a CO₂ produkciót, ez a csökkenés azonban kevésbé kifejezett, mint a növény nélküli kezeléseknél. Hasonló volt az istállótrágya és az NPK+istállótrágya kezelés hatása is a CO₂ produkcióra, azonban a csökkenés a kontrollhoz képest kevésbé kifejezett.

Az NPK kezelés az esetek többségében csökkentette az N₂O produkciót is a növényes kontrollhoz képest. Az istállótrágya és az NPK+istállótrágya kezeléseknél az N₂O produkció többnyire szintén csökkenő tendenciát mutatott, azonban ennek megítélése a nagy mérési bizonytalanság miatt nem egyértelmű.

- A tenyésztő folyamán a CO₂ koncentráció kezdeti stagnálás után növekedni kezdett, s az esetek többségében egy- vagy két maximum elérése után a tenyésztő végéhez közeledve erősen lecsökkent. Az egymást követő mintavételi időpontok közötti változások az esetek többségében szignifikánsak voltak. Az N₂O koncentráció tenyésztőidőszak alatti időbeli változásának nem volt megfigyelhető iránya.
- Az oszlopokban a mélység szerint haladva egyértelműen megfigyelhető volt, hogy 20-tól 40 cm-ig szignifikánsan, utána 60 cm-ig kisebb mértékben és nem minden esetben szignifikánsan növekedett a CO₂ koncentráció. Ugyanez a tendencia mutatkozott meg az N₂O produkciójában, bár az alacsonyabb koncentráció miatti nagyobb mérési

bizonytalanság következtében ez kevésbé látszott egyértelműen. Hasonló tapasztalatról számolt be Wang és munkatársai (2013) valamint Nan és munkatársai (2016).

A bolygatatlan talajoszlopban és a tenyészedényekben észlelt CO₂ gázprodukciónál a tenyészidő folyamán egyaránt kezdeti stagnálás után egy, vagy több maximum elérése után a kezdeti szintre lecsökkent. Ezek a változások mindkét esetben korrelációt mutattak a napi középhőmérséklet változásával (Szili-Kovács et al., 2009b; Hoffmann et al., 2013). Az N₂O produkció időbeli változásának iránya a talajoszlopokban nem mutatott egyértelmű tendenciát, míg a tenyészedényekben jól mérhető növekedést csak a vetést követő 6. napig tapasztalhattunk a CO₂ koncentráció stagnálási periódusában. Kampfl és munkatársai (2007) ezt az időbeli eltolódást a két gáz képződésének dinamikájában korábbi mikrokozmosz kísérleteikkel is megerősítették.

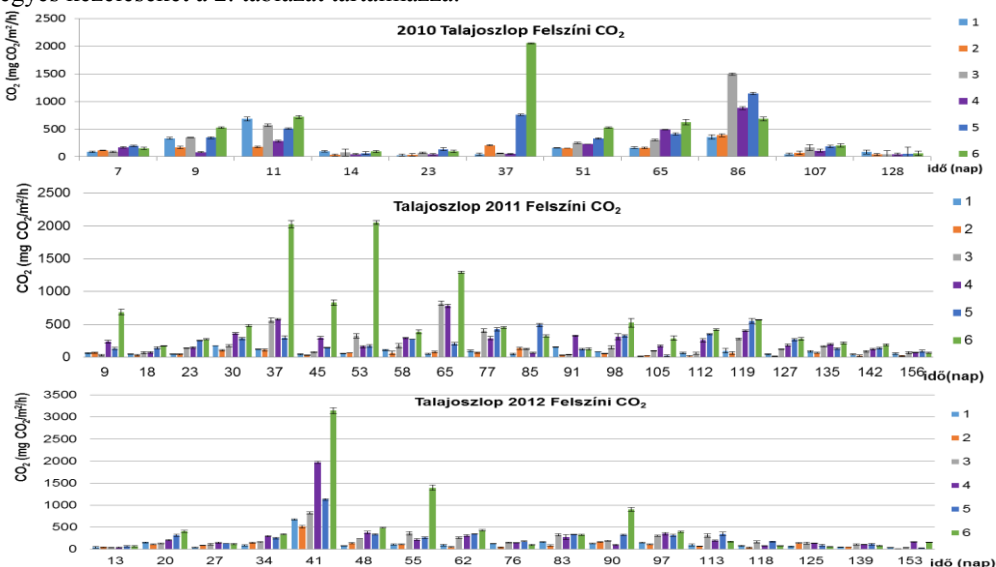
A bolygatatlan talajoszlopokban a felszíntől 40 cm mélységig a CO₂ koncentráció szignifikánsan nőtt, s 40-60 cm között már nem változott számottevően. Ugyanez a tendencia mutatkozott az N₂O koncentrációnál is, de a nagyobb mérési bizonytalanság miatt kevésbé látszott egyértelműen. A tenyészedényekben a felszínen és a 20 cm mélyen elhelyezett csapdák között ugyancsak növekedett a CO₂ koncentráció, s az itt mért értékek nagyságrendileg megegyeztek a talajoszlopban 20 cm mélyen mért értékekkel. Az N₂O mélységi változása a tenyészedényekben nem volt igazolható.

A trágyázatlan kezelésekben a növények jelenléte mind a talajoszlopban, mind a tenyészedényekben növelte a CO₂ és az N₂O produkciót. A tápanyag-utánpótlási kezelésekkel ellátott talajoszlopokban csökkent mind a két gáz produkciója. Szerves trágya alkalmazásánál és növény jelenlétében ez a csökkenés kisebb mértékű, mint ásványi trágya esetében. Ezzel ellentétben a trágyázási kezelések hatására a tenyészedényekben a növények jelenlétében egyértelműen növekedett a CO₂ produkció, és kevésbé egyértelműen az N₂O produkció is. A növekedés a trágyakezelések termésmenvelő hatása sorrendjében (istállótrágya < ásványi trágya < istállótrágya+ásványi trágya) fokozódott (Hoffmann et al., 2013).

Összegezve elmondható, hogy a talajeredetű CO₂ és N₂O gázprodukciónál és a talajból történő kilépés feltételei a bolygatatlan és a művelt talajban eltérnek, s e folyamatra jelentős hatással van a növények jelenléte és anyagcseréje.

Talajoszlop CO₂ kibocsátás

A talajoszlop kísérleti rendszerből származó kibocsátás adatokat a 8. ábra szemlélteti. Az egyes kezeléseket a 2. táblázat tartalmazza.



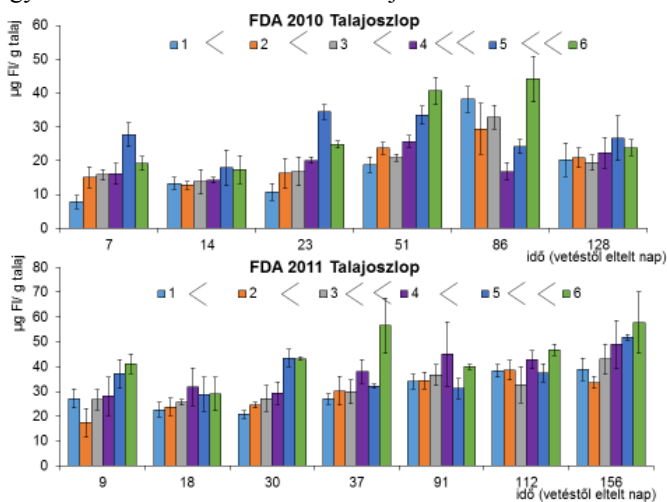
8 ábra: a talajoszlop felszíni CO₂ kibocsátása

A növényt nem tartalmazó talajoszlopok CO₂ kibocsátása szignifikánsan kisebb volt, mint a növényt tartalmazó oszlopoké. Az ásványi trágyakezelésben részesített talajoszlopok szignifikánsan kisebb CO₂ emissziós értéket produkáltak a növény nélküli bolygatatlan talajoszlophoz képest.

A növényt tartalmazó talajoszlopokban az ásványi trágya kezelés hatása a CO₂ emissziójára időben eltérő módon nyilvánult meg. Az istállótrágyakezelés szignifikánsan növelte a talajoszlopok CO₂ kibocsátását, az NPK műtrágyával kiegészített istállótrágyás kezelés szignifikánsan, sokszor kiugróan magas értéket eredményezett. A felszíni CO₂ kibocsátás a talajhőmérséklettel volt szignifikáns ($p < 0,05$) korrelációban (2010-ben $r = 0,624$; 2011-ben $r = 0,222$; 2012-ben $r = 0,414$) viszont a talajnedvességgel nem sikerült megbízható összefüggést kimutatni feltehetőleg azért, mert a csapadék, illetve az öntözés hatására viszonylag kiegyenlített volt a nedvesség állapot valamennyi kezelés esetében.

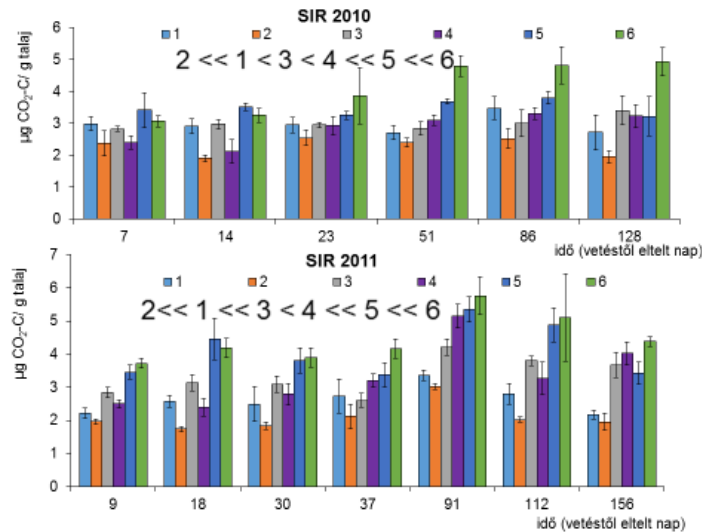
Az FDA és SIR vizsgálati eredményei a talajoszlop kísérleti rendszerénél

A talajoszlop mintáiból végzett FDA valamint SIR vizsgálat eredményeit a 9. és a 10. ábra szemlélteti, az egyes kezeléseket a 2. táblázat mutatja be.



9.ábra:a talajoszlopok FDA értékei, 2010 és 2011-ben.

Az FDA mérési eredmények a mintavételi időpontok és a kezelések szerint is mutattak szignifikáns különbségeket 2010-ben és 2011-ben is ($p < 0,001$). Kezelések szerint a FDA értékek a következő sorrend szerint növekedtek 2010-ben: $1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6$, míg 2011-ben: $1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6$ (a << jelölés szignifikáns különbséget jelöl)



10.ábra:a talajoszlopok SIR értékei, 2010 és 2011-ben.

A kezelés szerint a SIR 2010-ben és 2011-ben is ugyanolyan sorrendben növekedett, de a szignifikáns kapcsolatban voltak különbségek a két év között. 2010-ben az alábbi kezelések között alakultak szignifikánsan a különbségek (a szignifikáns különbséget ($p < 0,001$) a << jel jelöli): $2 \ll 1 < 3 < 4 \ll 5 \ll 6$, míg 2011-ben: $2 \ll 1 \ll 3 < 4 \ll 5 \ll 6$.

2010-ben szignifikáns korrelációt mutattak a talajfelszíni CO_2 kibocsátás és a talajmintákból mért szubsztrát-indukált respiráció eredmények ($r=0,397$ $p=0,033$). Szintén szignifikáns korrelációt mutatott a CO_2 emisszió, valamint a fluoreszcein-diacetát hidrolitikus aktivitás ($r=0,492$ $p=0,006$). 2011-ben a szubsztrát-indukált respiráció és a CO_2 emisszió között nem volt szignifikáns korreláció, de a fluoreszcein-diacetát hidrolitikus aktivitás és a CO_2 emisszió között szignifikáns volt a korreláció ($r=0,62$ $p < 0,001$).

Talajoszlop szénmérlegének számítása

A négy évből becsült egyszerűsített szénmérleget a 3. táblázat mutatja be. A szénmérleg számítások bővebben Molnár et al. (2016) munkájában tekinthetők meg részletesebben.

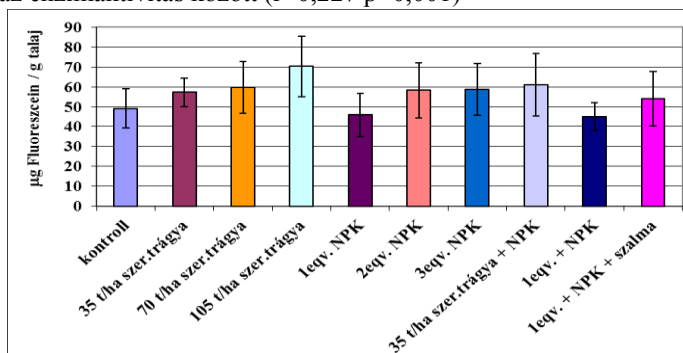
3. táblázat: a négy éves periódusból becsült szénmérleg (g C m^{-2}). A kezeléseket a 2. táblázat mutatja be.

Kezelés	C bevétel		C kiáramlás	C mérleg
	visszamaradt növényi részekből	szerves trágya		
1	0	0	229	negatív
2	0	0	251	negatív
3	337	0	625	negatív
4	910	0	699	enyhén pozitív
5	666	2020	756	pozitív
6	1073	2020	1291	pozitív

FDA Mezőkozmosz kísérleti rendszer eredmények

A mikrobiális aktivitást a kijutatott tápanyag mennyisége nagy mértékben befolyásolhatta, ahogy arra Iovieno és munkatársai (2009) is rámutattak. A 11. ábra alapján szemléltetem a tápanyagkezelés hatását a mikrobiális aktivitásra. A tápanyagbőség fokozhatta a denitrifikáció mértékét is. A varianciaanalízist elvégezve megállapítható, hogy a minták többsége (59 %-a) szignifikáns eltérést mutatott a kezeletlen kontrollhoz képest.

A korrelációelemzés elvégzése után, szignifikáns korrelációt kaptam a CO₂ produkció és az enzimaktivitás között ($r=0,227$ $p<0,001$)



11. ábra: A fluorescein koncentrációk átlagolt értékei mezőkozmosz kísérleti rendszerben

Új tudományos eredmények

Eredményeim szerint a CO₂ és N₂O produkció a kukorica növény tenyésztési folyamán hasonló módon változik, mind a tenyészvény, mind pedig talajoszlop kísérleti szinten. Az eltérő kezeléshatások és növényhatások kimutathatóak. A talajoszlop vizsgálati szinten a mélységhatás a CO₂-nél egyértelműen, az N₂O-nál pedig kevésbé egyértelműen érvényesült.

Az elvégzett munkámban az alábbi új tudományos eredmények fogalmazhatók meg.

1. Mezőkozmosz kísérleti szinten a kukorica növény tenyészidőszak folyamán hasonló módon és többnyire maximum görbe szerint változtak a különböző kezelésekben a CO₂ és N₂O koncentrációk a talajban. Amikor a mintavételezés elég sűrűn történik, kimutatható, hogy az N₂O koncentráció maximuma időben megelőzi a CO₂ maximumát. A tenyészidő végére lecsökkent és stabilizálódott mind a CO₂ mind az N₂O koncentráció. A gázprodukción különösen befolyásolták:
 - 1.1 Tápanyaghatás. A rendelkezésre álló tápanyag általában szignifikánsan növeli a CO₂ produkciót szerves <NPK< szerves+NPK trágya sorrendben. N₂O-nál is ez a tendencia figyelhető meg, de a kezelést követő néhány napon belül a gázkoncentráció lényegesen lecsökken és állandósul. A tápanyagbőség növelte a mikrobiális aktivitást, de az FDA és a CO₂ produkció, csak gyenge pozitív szignifikáns korrelációt mutatott.
 - 1.2 Hőmérséklet hatás. A CO₂ produkció és a hőmérséklet között szoros pozitív korreláció figyelhető meg.
 - 1.3 Növény hatás. A növényt tartalmazó kezeléseknél minden esetben szignifikánsan nagyobb CO₂ koncentráció figyelhető meg elsősorban a gyökérzet, a rhizoszféra, valamint a növény fenofázisainak hatására. N₂O tekintetében is hasonló tendenciát lehetett felfedezni, a különbségek azonban nem szignifikánsak.

2. Eredményeim szerint a CO₂ és N₂O produkció a tenyészedő folyamán hasonló módon változik a talajoszlopoknál, mint a tenyészedény kísérleti rendszerben. A mikrobiológiai összefüggések azonban jobban megmutatkoztak a növény, illetve a tápanyag-ellátottság függvényében. Ebben a kísérleti rendszerben is nagyban befolyásolták a CO₂ és N₂O produkciót, valamint a CO₂ emissziót:
 - 2.1 Tápanyaghatás. A tápanyagbőség a növény jelenlétében általában szignifikánsan növelte a felszíni CO₂ emissziót. Az NPK kezelés növény nélkül szignifikánsan kisebb CO₂ emissziót eredményezett a növény nélküli kontrollhoz képest. A felszíni CO₂ emissziót is figyelembe véve kimutattam, hogy a tápanyaghatás pozitív szénmérleget eredményezett NPK<istállótrágya<(NPK+istállótrágya) sorrendben
 - 2.2 Hőmérséklet hatás. A talajhőmérséklet és a CO₂ emisszió között általában közepes pozitív szignifikáns korreláció figyelhető meg.
 - 2.3 Növény hatás. A CO₂ produkció szignifikánsan növekedett, a növény nélküli kontrollhoz viszonyítva, mely szintén a növény fenofázisaival összefüggő különböző gyökérszervi aktivitással magyarázható. A növényt nem tartalmazó talajoszlopok CO₂ kibocsátása szignifikánsan kisebb, mint a növényt tartalmazó oszlopoké. Az N₂O produkcióban a kezdeti rövid időszakban szignifikáns növekedés, ezután viszont szignifikáns csökkenés figyelhető meg.

Következtetések javaslatok

A hazai és nemzetközi irodalmat áttekintve megállapítható, hogy a talaj üvegházgáz veszteségeire számos kutatási eredmény érhető el, melyek igen változatos képet mutatnak. Az ilyen jellegű kutatások rámutatnak, hogy a különböző növénytáplálási módok között jelentős különbség van az üvegházhatású gázok kibocsátása, a talaj szénmérlege és egyéb veszteségek szempontjából is. Az erőforrások ésszerű felhasználása miatt minden körülmények között törekedni kell az optimális növénytáplálás kiválasztására, a negatív hatások minimalizálásával. Emiatt fontosnak tartom a gázalakú veszteségek és a tápanyagellátás összefüggéseinek hazai termesztési viszonyok közötti összefüggéseinek további részletes kutatásait folytatni.

Mivel az egyes befolyásoló tényezők, csak adott körülmények között érvényesek, ezért ezen befolyásoló tényezők felderítésére hosszú távú kísérletekre van szükség. Saját és a nemzetközi irodalmi adatokból látható, hogy a mikrobiológiai hatás jelentős befolyásoló tényező a talaj gázalapú veszteségei tekintetében. Eredményeim alapján a tenyészedény és talajoszlop kísérleti rendszert összehasonlítva megállapítható, hogy a háttérben zajló mikrobiológiai hatások megfigyelésére a nagyméretű talajoszlop kísérleti rendszer eredményesebben volt alkalmazható, mint a tenyészedény rendszer. Mivel, ahogy erre Ruamps és munkatársai (2011) is rámutattak, az ilyen kísérleti rendszer esetében megőrződik a talaj eredeti szerkezete, így a szerkezetfüggő talajtulajdonságok is megőrzésre kerülnek, melyek hatással vannak a talaj biológiai folyamataira (Tóth et al. 2009).

Két vagy több kísérleti rendszer alkalmazása esetén szerencsés, ha a rendszerek esetében azonos típusú mérőeszközök kerülnek alkalmazásra, melyek azonos tényezőt mérnek, nem csak a fő vizsgálati paraméter, hanem az összes környezeti tényező vizsgálatakor.

A további ilyen jellegű vizsgálatok esetén ajánlatosnak tartom a különböző környezeti tényezők méréseinek automatizálását, így pontosabb képet lehetne kapni azok hatásairól. Ideális megoldás a zárt nagyméretű fitotron modellezés használata, ennek azonban a költségei nagyságrendekkel nagyobbak.

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1.1. Folyóiratcikkek

1.1.1. IF-es folyóiratcikkek

Erik Molnár, Tibor Szili-Kovács, Ilona Villányi, Mónika Knáb, Ágnes Bálint, Krisztina Kristóf, György Heltai: CO₂ efflux and microbial activities in undisturbed soil columns in different nitrogen management PLANT SOIL AND ENVIRONMENT 62:(9) pp. 402-407. (2016) IF 1.225

E. Nótás, **E. Molnár**, D. Ruzsa, Z. Csoma, K. Debreczeni, Gy. Heltai: Effect of N fertilizer forms and soil moisture levels on the N gaseous losses. APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 12:(2) pp. 589-599. (2014) IF: 0.456

1.1.2 Nem IF-es (lektorált) folyóiratcikkek

1.1.2.1 Nem IF-es (lektorált), idegen nyelvű folyóiratcikkek

T. Szili-Kovács.; **E Molnár**, I Villányi.; Á Bálint.; Gy. Heltai.; A. Anton: Soil respiration and microbial activity of undisturbed soil columns under different nitrogen management. Acta microbiologica et immunologica hungarica 58: pp. 224-225. (2011)

Hoffmann, S.; Berecz, K.; Kristóf, K.; Szili-Kovács, T.; Simon, Sz.; **Molnár E.** (2010): Studies on the agronomic and environmental aspects of low to high level organic and mineral fertilization in long-term field and model pot experiments. Növénytermelés: 59, pp. 157-160.

1.1.2.2. Nem IF-es (lektorált), magyar nyelvű folyóiratcikkek

Heltai Gy. Anton A. Hoffman S. Szili-Kovács T. Kampfl Gy. Kristóf K. **Molnár E.** Horváth M. Bálint Á.: Ásványi- és szervesstratégázás hatása a CO₂ és N₂O gázok képződésére a talajban AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 62:(1) pp. 143-162. (2013)

1.1.2.3. Egyéb értékelhető cikk, magyar nyelvű folyóiratcikkek

1.2 Konferencia-kiadványok

1.2.1 Idegen nyelvű konferencia-kiadványok

1.2.1.1 Idegen nyelvű, teljes terjedelmű konferencia-kiadványok

1.2.1.2 Idegen nyelvű absztraktok

T. Szili-kovács , **E. Molnár** I. Villányi, Á. Bálint, Gy. Heltai, A. Anton: Soil respiration and microbial activity of undisturbed soil columns under different nitrogen management. 16th international congress of the hungarian society for microbiology July 20-22, 2011, Budapest, ISSN 1217-8950 p. 225

E. Molnar, K. Kristof, M. Horvath, Gy. Heltai : Development of sampling and measurement techniques for detection of greenhouse gas emission of agricultural soils. XIV Hungarian - Italian Symposium on Spectrochemistry & 54 Annual Meeting of Hungarian Spectroscopists Sümeg, 2011.10.05-07. ISBN 9970-22-9 p. 50

Bálint Á., Hoffmann S., Berecz K., Kristóf K., Kampfl Gy., Nótás E., Horváth M., Gyarmati B., **Molnár E.**, Anton A., Szili-Kovács T., Heltai Gy.: Influence of N-fertilization methods on NO_x and CO₂ production on model experiments and on grain yield in field experiments., Proceedings of the 17th Nitrogen Workshop – Innovations for sustainable use of nitrogen resources. 26-29 June 2012, Wexford, Ireland. pp. 126-127. ISBN: 1-84170-588-8., 2012

Hoffmann S., Lepossa A., Bálint Á., **Molnár E.**, Heltai, G.: Comparative study of some agronomic and environmental effects of mineral and organic fertilization with maize (*Zea mays* L.) in field and model pot experiments., 19. ISTRO konferencia, (Montevideo) Abstract, 2012

1.2.2 Magyar nyelvű konferencia-kiadványok

1.2.2.1 Magyar nyelvű, teljes terjedelmű konferencia-kiadványok

1.2.2.2. Magyar nyelvű absztraktok

Kristóf, K.; **Molnár, E.**; Heltai, Gy.; Bálint, Á.: Mezőgazdasági talaj CO₂, NO, N₂O gázemissziójának mérése mikrokozmosz kísérleti rendszerben, IX Környezetanalitikai Konferencia, 2009. október 08. Sopron, Hungary, ISBN 9789639970007 p. 40

Molnár, E.: Ásványi és szerves trágyázás hatása a talaj CO₂ és N₂O gázemissziójára mezokozmosz kísérleti rendszerben, Tudományos Diákköri Konferencia, Szent István Egyetem, 2009. november 25., SZIE Gödöllő, Hungary, ISBN 9789632691428 p. 241

Molnár, E.: Ásványi és szerves trágyázás hatása a talaj CO₂ és N₂O gázemissziójára mezokozmosz kísérleti rendszerben, XII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia. 2010. április 6-7., Nyugat-magyarországi Egyetemi Kiadó Sopron, Hungary, ISBN 9789639883505 p. 83

Kristóf, K.; **Molnár, E.**; Heltai, Gy.: Mikrokozmosz technika alkalmazása a talaj üvegházhatású, nitrogéntartalmú gázemissziójának mérésében LIII. Magyar Spektrokémiai vándorgyűlés, 2010. 06.30-07.02., Hajdúszoboszló, ISBN 9789639970052 p 70

Szili-Kovács T. **Molnár E.** Villányi I. Knáb M. Bálint Á. Heltai Gy. Anton A.: CO₂ kibocsátás és mikrobiális aktivitás bolygatatlan talajoszlopban ásványi és istállótrágya kezelések hatására kukorica jelzőnövényen. Debrecen, 2012.11.23 Budapest: MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, 2012. pp. 61-64. (ISBN:978-963-89041-6-4)

Heltai György, Anton Attila, Hoffman Sándor, Szili-Kovács Tibor, Kristóf Krisztina, Kampfl Györgyi, Gyarmati Bernadett, **Molnár Erik** és Bálint Ágnes: Mezőgazdasági talajok hozzájárulása az üvegház hatású gázok emissziójához. Mátraháza, 2012 október 11-12 p35
http://mta.hu/data/cikk/11/39/11/cikk_113911/1KKSz2012Kiadvany_vegleges.pdf

Molnár E.; Kristóf K.; Heltai Gy.; Szili-Kovács T.: Különböző trágyázási hatások a N₂O, CO₂ produkcióra és a CO₂ emisszióra bolygatatlan talajoszlop kísérleti rendszerben. Második Környezetkémiai Szimpózium, Dobogókő, 2013. október 10-11 p39
http://mta.hu/data/cikk/11/39/11/cikk_113911/2KKSZKiadvany2vegso.pdf

Felhasznált irodalom

- Adam G. & Duncan H., (2001): Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 33. 943–951.
- Amos B. & Walters D.T. (2006): Maize root biomass and net rhizodeposited carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 1489–1503.
- Anderson JPE and Domsch KH (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil, *Soil Biol. Biochem.* 10, pp.215- 221
- Chantigny M.H. Rochette P., Angers D., Bittman S., Buckley K., Massé D., Belanger G., Eriksen-Hamel N., Gasser M.O. (2010): Soil nitrous oxide emissions following band-incorporation of fertilizer nitrogen and swine manure. *J. Environ. Qual.* 39:1545–1553.
- Fóti Sz., Balogh J., Papp M., Koncz P., Hidy D., Csintalan Zs., Kertész P., Bartha S., Zimmermann Z., Bíró M., Hováth L., **Molnár E.**, Szaniszló A., Kristóf K., Kampfl Gy., and Nagy Z. (2017): Temporal Variability of CO₂ and N₂O Flux Spatial Patterns at a Mowed and a Grazed Grassland, *Ecosystems*, Springer Science+Business Media New York, DOI: 10.1007/s10021-017-0138-8
- Green V. S., Stott D. E. & Diack M. (2005): Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. *Soil Biology & Biochemistry* 1-8 p.
- Gong W., Yan X.Y., Wang J.Y. (2012): The effect of chemical fertilizer on soil organic carbon renewal and CO₂ emission – A pot experiment with maize. *Plant and Soil*, 353: 85–94.
- Heltai Gy. Anton A. Hoffman S. Szili-Kovács T. Berecz K. Kampfl Gy. Kristóf K. **Molnár E.** Horváth M. Bálint Á. (2013): Ásványi- és szerves trágyázás hatása a CO₂ és N₂O gázok képződésére a talajban *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN* 62:(1) pp. 143-162.
- Hoffmann S., Berecz K., Bálint A., Kristóf K., Kampfl Gy. Heltai Gy., (2013): Ásványi és szerves trágyázás hatása a termésre és a CO₂ termelésre szántóföldi és tenyészedény-kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 62. 163–172.
- Iovieno P, Morra L, Leone A. Pagano L, Alfani A.. (2009): Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils. *Biology and Fertility of Soils*. 45. 555-561. 10.1007/s00374-009-0365-z.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1-151 pp
- Kampfl Gy, Kristóf K, Algaidi A. A, Bayoumi Hamuda H.E.A.F, Heltai Gy. (2007): Study of NO_x and CO₂ production of cultivated soil in closed microcosm experimental system. *Microchemical Journal*. 85. 31–38.
- 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 and Environment* 240 (2017) 121–134
- Lopez-Fernandez S., J.A. Diez, P. Hernaiz, A. Arce, L. Garcia-Torres, and A. Vallejo (2007): Effects of fertiliser type and the presence or absence of plants on nitrous oxide emissions from irrigated soils. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 78:279–289. doi:10.1007/s10705-007-9091-9
- Nan W., Yue S., Huang H., Li S., Shen Y. (2016): Effects of plastic film mulching on soil greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O) concentration within soil profiles in maize fields on the Loess Plateau, China. *Journal of Integrative Agriculture*. 15. 451-464. 10.1016/S2095-3119(15)61106-6.

- Pareja Sánchez E. , Cantero-Martínez C. Álvaro-Fuentes J. Plaza-Bonilla D. (2019):. Impact of tillage and N fertilization rate on soil N₂O emissions in irrigated maize in a Mediterranean agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 287. 10.1016/j.agee.2019.106687.
- Ruamps L. S., Nunan N., Chenu C. (2011): Microbial biogeography at the soil pore scale. *Soil Biol Biochem*, 43 280–286. p
- Stubberfield L. C. F. & Shaw P. J. A. (1990): A comparison of tetrazolium reduction and FDA hydrolysis with other measurements of microbial activity. *Journal of Microbiological Methods* 12, 151-161 p.
- Swisher R. & Carrol G. C. (1980): Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surfaces. *Microbial Ecology* 6, 217 – 226 p.
- Szili-Kovács T. (2004): Szubsztrát indukált respiráció a talajban. *Agrokémia és Talajtan*. 53. 10.1556/Agrokem.53.2004.1-2.14.
- Szili-Kovács T., Bálint Á., Kampfl Gy., Kristóf K., Heltai Gy., Hoffmann S., Lukács A. & Anton A. (2009b): Szilikoncső alkalmazása talajlevegő mintavételhez bolygatatlan talajoszlopokban a CO₂- és N₂O- koncentráció meghatározásához. *Agrokémia és Talajtan* 58:2. 359-368 p.
- Szili-Kovács T., Bálint Á., Kampfl Gy., Kristóf K., Nótás E.: (2009a): Development of silicone tube soil air sampler to study water stress in soil monoliths. *Cereal Research Communications* 37, 419-422.
- Tóth E., Farkas Cs., Koós S., Németh T. (2009): A művelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására I. Laboratóriumi módszertan tesztelése bolygatatlan talajoszlopokon
- van Groenigen J.W., Kasper G.J., Velthof G.L., van den Pol-van Dasselaar A., Kuikman P.J. (2004): Nitrous oxide emissions from silage maize fields under different mineral nitrogen fertilizer and slurry applications. *Plant and Soil* 263 (2004) 1. 263. 10.1023/B:PLSO.0000047729.43185.46.Velthof, G.L., P.J. Kuikman, and O. Oenema. (2003): Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biol. Fertil. Soils* 37:221–230. doi:10.1007/s00374-003-0589-2
- Wang Y, Hu C, Ming H, Zhang Y.M. Li X. Dong W. Oenema O. (2013): Concentration profiles of CH₄, CO₂ and N₂O in soils of a wheat–maize rotation ecosystem in North China Plain, measured weekly over a whole year. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 164. 260–272. 10.1016/j.agee.2012.10.004.