10.14751/SZIE.2020.066

Szent István Egyetem

Eltérő nitrogén-tápanyagellátási módok hatása a talaj N_2O és CO_2 produkciójára és kibocsátására bolygatatlan talajoszlop- és tenyészedény modellkísérletben.

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Molnár Erik

Gödöllő

2020

10.14751/SZIE.2020.066

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
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

Tartalomjegyzék

1. Jelölések, rövidítések 4
2. Bevezetés, célkitűzés 5
3. Irodalmi áttekintés 7
3. 1. Az üvegházhatásról 7
3. 2. A CO_2 és a N_2O mint üvegházgáz 8
3. 3. A nitrogén és a szén biogeokémiai körforgalma 9
3. 3. 1. A nitrogén élettani szerepe 9
3. 3. 2. A nitrogén körforgalma 10
3. 3. 3. A szén élettani szerepe 12
3. 3. 4. A szén körforgalma 13
3.4 A környezeti tényezők hatása a talaj CO_2 és N_2O emissziójára 14
3.4.1 A tápanyagellátás hatása a CO_2 és N_2O emisszióra 14
3.4.2 Hőmérséklet hatása a talaj CO_2 és N_2O termelésére 16
3.4.3. Talajnedvesség hatása a talajeredetű CO_2 és N_2O produkcióra 16
3.5 A talaj CO_2 és N_2O gázminta gyűjtésének módszerei 18
3.6. A begyűjtött talajgázminta elemzéseinek lehetőségei. 19
3.6.1 A gázkromatográfiás vizsgálatról 19
3.6.2 További gázvizsgálati módszerek 20
3.7. Talajminták mikrobiológiai aktivitásának és mikrobiális biomasszájának vizsgálata 21
3.7.1 Fluoreszcein-diacetát (FDA) hidrolízisének vizsgálata 21
3.7.2 Szubsztrát indukált respiráció (SIR) vizsgálta 23
4. Anyag és módszertan 24
4.1. Tenyészedény, talajoszlop kísérleti rendszerek bemutatása 25
4.1.1. Tenyészedény kísérlet bemutatása 25
4.1.2. Talajoszlop kísérleti rendszer bemutatása 27
4.2. Gázmintavétel bemutatása a különböző kísérleti rendszerekből 28
4.3. A gázanalitikai rendszerek bemutatása 29

4.3.1. A talajlevegő elemzése a Szent István Egyetemen 29
4.3.2. A felszíni CO_2, és szubsztrát indukált respiráció mérésére használt rendszer bemutatása 31
4.3.3. Szubsztrát indukált respiráció (SIR) mérése 32
4.4. A fluoreszcein-diacetát (FDA) hidrolízisének mérése 33
4.5. Statisztikai értékelés 34
5. Eredmények bemutatása 35
5.1. A CO_2 és N_2O produkció a tenyészedény kísérleti rendszerben 35
5.2. A CO_2 és N_2O produkció a talajoszlop kísérleti rendszerben 2008-2009 46
5.3. A CO_2 és N_2O produkció és felszíni CO_2 emisszió talajoszlop kísérleti rendszerben 2010-2012 61
5.4. A talajoszlopok szénmérlegének számítása 90
5.5. Fluoreszcein-diacetát (FDA) vizsgálat eredményei tenyészedény kísérleti rendszerben 90
5.6. A fluoreszcein-diacetát (FDA) vizsgálat eredményei talajoszlop kísérleti rendszerben 94
5.7. A talajoszlopokban végzet szubsztrát indukált respirációs (SIR) vizsgálat eredményei 96
6. Eredmények értékelése 99
6.1. Talajoszlop/tenyészedény összehasonlítás 99
6.2. Talajoszlop CO_2 kibocsátás 102
6.3. A fluoreszcein-diacetát (FDA) és a szubsztrát indukált respiráció (SIR) vizsgálat eredményei a talajoszlop kísérleti rendszernél 102
6.4. A fluoreszcein-diacetát (FDA) vizsgálat eredményei a mezokozmosz kísérleti rendszernél 103
6.5. Új tudományos eredmények 103
7. Következtetések javaslatok 105
8. Összefoglalás 106
9. Summary 108
10. Mellékletek 110
11. Köszönetnyilvánítás 135

1. Jelölések, rövidítések

A/D: analóg-digitál jelátalakító

CFI: kloroform fumigációs inkubáció

DOC: oldott szerves széntartalom

ECD: elektronbefogásos detektor

FDA: Fluoreszcein-diacetát

FID: lángionizációs detektor

GC: Gázkromatográf

IPCC: Az éghajlatváltozás kormányközi testülete (International Panel on Climate Change)

IR: infravörös

K_A: Arany-féle kötöttségi szám

NA: nincs adat

NDIR: nem diszperzív infravörös szenzor

NEE: nettó ökoszisztéma gázcsere

NPK: nitrogén, foszfor, kálium tartalmú ásványi trágya

PAS: fotoakusztikus spektroszkópia

PC: személyi számítógép

RPM: fordulatszám

SIR: szubsztrát indukált respiráció

SOC: talaj szerves széntartalma

TCD: hővezetőképesség-mérő detektor

UV-VIS: az elektromágneses sugárzás ultraibolya- és látható fény spektruma

WFPS: vízzel telt pórustér

2. Bevezetés, célkitűzés

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 képesek a talajba juttatott tápanyag-utánpótlást teljes egészében felvenni, a nem megfelelő növénytáplálás miatt a nitrogénveszteség 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) négyszintű kísérleti rendszeréhez kapcsolódott, melyben szántóföldi, bolygatatlan talajoszlop, mezokozmosz (nagyméretű tenyészedény), és mikrokozmosz kísérleti rendszerekben tanulmányoztuk a talajlevegő CO_2, N_2O és NO_x koncentráció változását különböző tápanyag- és vízellátási körülmények között. Ezeken 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 tenyészedényeket 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 talajmintából bolygatatlan talajoszlopokat készítettünk, melyeket az MTA-TAKI őrbottyáni 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.

3. Irodalmi áttekintés

3. 1. Az üvegházhatásról

A Nap által kibocsátott elektromágneses sugárzás UV-VIS és közeli IR-t tartalmaz. E miatt a földfelszín felmelegszik és a felmelegedés hatására a szárazföldek, óceánok és a növényzet infravörös sugárzást bocsát ki a világűr felé. Az alsóbb légrétegben lévő üvegházhatású gázok ezt a felszínről emittált távoli IR-t elnyelik és minden irányba, így a földfelszín felé is kisugározzák. Ennek következtében a molekulák saját hőmérséklete is megemelkedik, ami miatt a földfelszín közeli levegő hőmérséklete is nagyobb lesz (http1). Ha a légkörünkben nem lennének olyan anyagok, amelyek ezt a terresztriális sugárzást képesek elnyelni és visszaverni, Földünk a nappal felhalmozódott energiát éjjel viszonylag gyorsan kisugározná, és ezzel erőteljesen lehűlne. Azokat a légkörben lévő gázokat, amelyek ezért a folyamatért felelősek, üvegházgázoknak nevezzük. Nem minden üvegházhatású gáz járul hozzá egyformán az üvegházhatáshoz. A légkörben megtalálható fontosabb üvegházhatású gázok parciális hozzájárulását az üvegházhatáshoz az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: az egyes gázok parciális hozzájárulása az üvegházhatáshoz (Patkó 2005)

Gáz neve	**Képlete**	**Parciális hozzájárulás [ºC]**
Vízgőz	H_2O	20,6
Széndioxid	CO_2	7,2
Ózon	O_3	2,4
Nitrogénoxidok	NO_x	1,4
Metán	CH_4	0,8
Többi gáz		0,6
Összesen		33

A táblázatból kitűnik, hogy az antropogén hatásra emittálódó CO_2 és NO_x-ok jelentősen hozzájárulnak az üvegházhatáshoz.

Az üvegházhatás önmagában nem hátrányos folyamat, hiszen ez biztosítja földünkön az élethez szükséges átlaghőmérsékletet. A problémát az jelenti, ha az üvegházhatású gázok koncentrációja megnő a légkörünkben, mert ekkor az erősödő üvegházhatás miatt nő a földfelszín hőmérséklete, amely képes felborítani a föld energiaháztartásának mérlegét (Patkó 2005).

A talaj termőképességére is kihatással leletnek az üvegházhatás okozta klimatikus változások. A megnövekedett levegőhőmérséklet következtében a talaj termőrétegének hőmérséklete is megemelkedik, ami képes meggyorsítani a szervesanyag-lebomlást és egyéb

folyamatokat, amelyek mind kihatással vannak a termőképességre. Ezen folyamatok ellensúlyozására nagyobb mennyiségű szerves- illetve műtrágya felhasználására lesz szükség, és ez nem csupán költségnövelő hatást jelent, hanem a környezetet is negatívan érintheti. Az egyre intenzívebben fokozódó műtrágya-felhasználásnak köszönhetően a talaj-növény-atmoszféra rendszerben növekedhet a CO_2 és N_2O üvegházhatású gázok kibocsátása is (Harnos 2005).

Az 1997 decemberében aláírt kiotói jegyzőkönyvben a fejlett ipari országok elkötelezték magukat amellett, hogy 2008 és 2012 között a főbb üvegházhatású gázok kibocsátását – különös tekintettel a CO_2-ra – az 1990-es szinthez képest átlagosan 5,2%-kal mérsékelni fogják. A kiotói egyezmény nem léphetett addig életbe, amíg az üvegházhatású gázok kibocsátásának minimum 55 %-áért felelős országok nem ratifikálták a szerződést. Az 55%-os küszöböt 2004 őszén sikerült átlépni (Oroszország csatlakozásával). Az egyezmény 2005. február 16-án lépett ténylegesen hatályba (http2 2009). Majdnem két évtizedig az Amerika Egyesült Államok és a Kínai Népköztársaság elzárkózott az egyezmény ratifikálásától.

2016-ban ez a két ország, amely a globális kibocsátás közel 40%-áért felelős, komoly politikai lépéseket tett a Párizsi éghajlatvédelmi egyezmény elfogadásával (http3 2017), azonban a 2017-ben megalakult új amerikai kormány első lépései közé tartozott az egyezményből való kilépés (http4 2018).

3. 2. A CO_2 és a N_2O mint üvegházgáz

Mind a CO_2, mind a N_2O molekulában a centrális szén-, illetve nitrogénatom egyaránt sp-hibridizációjú. Ebből következik, hogy mindkét molekula lineáris felépítésű. A CO_2-ban a kötésrend kettőnél valamivel nagyobb, melyet az oxigénligandumok nemkötő elektronpárjainak részleges delokalizációja okozhat. Az N_2O-ban a molekula közepén elhelyezkedő nitrogén az oxigénhez 1,5-es, a másik nitrogén atomhoz mintegy 2,5-es kötésrenddel kapcsolódik. A CO_2 és a N_2O egyaránt apoláris molekulák, ennek köszönhetően vízben nem jól oldódnak (Bodor 1983). Mindkét molekula üvegház hatása abban nyilvánul meg, hogy képesek a földfelszínről kibocsátott hosszú hullámú (infravörös) sugárzást elnyelni és rezgési energiává alakítani, ezután ismét leadni, vélhetően más üvegházgázoknak. Ez az immisszió-emisszió-immissziós ciklus tehet arról, hogy a hőenergia a Föld közelében marad és nem jut vissza a világűrbe. Egyéb, kettőnél több lazán kötött atomot tartalmazó, üvegházhatású gázmolekulák szintén hasonló módon viselkednek, vagyis ideiglenesen képesek az emittált hőenergiát rezgési energia formájában tárolni.

A talaj-növény-légkör rendszerben összekapcsolt szén-nitrogén ciklus következtében a talajból N_2O és CO_2 juthat a légkörbe.

Jungle (1974) szerint a Föld globális (szárazföldi és tengeri) évenkénti N_2O emissziója 260·Tg. A gáz légköri tartózkodási ideje nyolc év, troposzférikus koncentrációja 0,260 ppm (Schütz et. al. 1970). Élettartama megközelítőleg 200 év (Patkó 2005). 1995-ben az európai mezőgazdaság 0,84 ± 0,19 Tg N_2O-t, 8,1 ± 2,0 Tg CH_4-t és 39,0 ± 25,0 Tg CO_2-ot bocsátott ki, ami megfelel 470,0 ± 80,0 Tg CO_2-nak, vagy a teljes üvegházhatású gázemisszió 11%-os többletének (Freibauer 2003). 1 kg kibocsátott N_2O az üvegházhatás potenciál tekintetében megfelel 296 kg CO_2-nek (IPCC 2001). Tehát a viszonylagosan csekély koncentráció ellenére környezeti szempontból jelentős hatással bír. A talaj jelentős mennyiségű N_2O emisszió forrása. A talajokban lévő jelentős mennyiségű nitrogénvegyületet a mikrobák csupán részben képesek nitrogén gázzá alakítani; az NH_4^+, NO_2^- és NO_3^- ionok egy részéből (többnyire víz jelenlétében) N_2O-t termelnek (Mészáros 1977). A talaj azonban nem csak kibocsátója, hanem nyelője is lehet az üvegházgázoknak (Galbally et at. 2008)

3. 3. A nitrogén és a szén biogeokémiai körforgalma

3. 3. 1. A nitrogén élettani szerepe

A nitrogén, a szén, a hidrogén és az oxigén földünk legfontosabb biológiai elemei. A nitrogén a természetben elemi formában, valamint szerves és szervetlen vegyületekben egyaránt előfordul. Legnagyobb mennyiségben, 78 térfogatszázalékban a légkörünkben található. A nitrogén az aminosavak, fehérjék, nukleinsavak, nukleotidok, valamint a klorofill fontos alkotórésze. A termés mennyiségét legnagyobb mértékben a nitrogénellátás határozza meg. A talaj összes nitrogén tartalma 0,02 és 0,4% között ingadozhat. A földművelés alatt álló rétegekben az összes nitrogén több mint 95%-a szerves kötésben létezik. Mennyisége a humusztartalommal arányos. A növények azonban a talaj összes nitrogén tartalmának csupán a töredék részét képező szervetlen formákat tudják hasznosítani (Loch & Nosticzius 1983). A növények nitrogén tartalma 0,5 és 5% között változik. Nitrogénbőség esetén a növények vegetatív részei fejlettek, a színük pedig jellegzetesen sötétzöld. Nitrogénhiánynál csökken a növény növekedése, a levelek sárgászöldre színeződhetnek, erezetük néha vöröslő, idő előtt elhulló. A gabonafélék szemtermésében kevesebb fehérje, több keményítő és egyéb szénhidrát termelődik (Birkás 2006).

A kötött nitrogén a talajban a következő formákban fordul elő:

- Ammónium sók
- Nitritek
- Nitrátok
- Szerves vegyületek

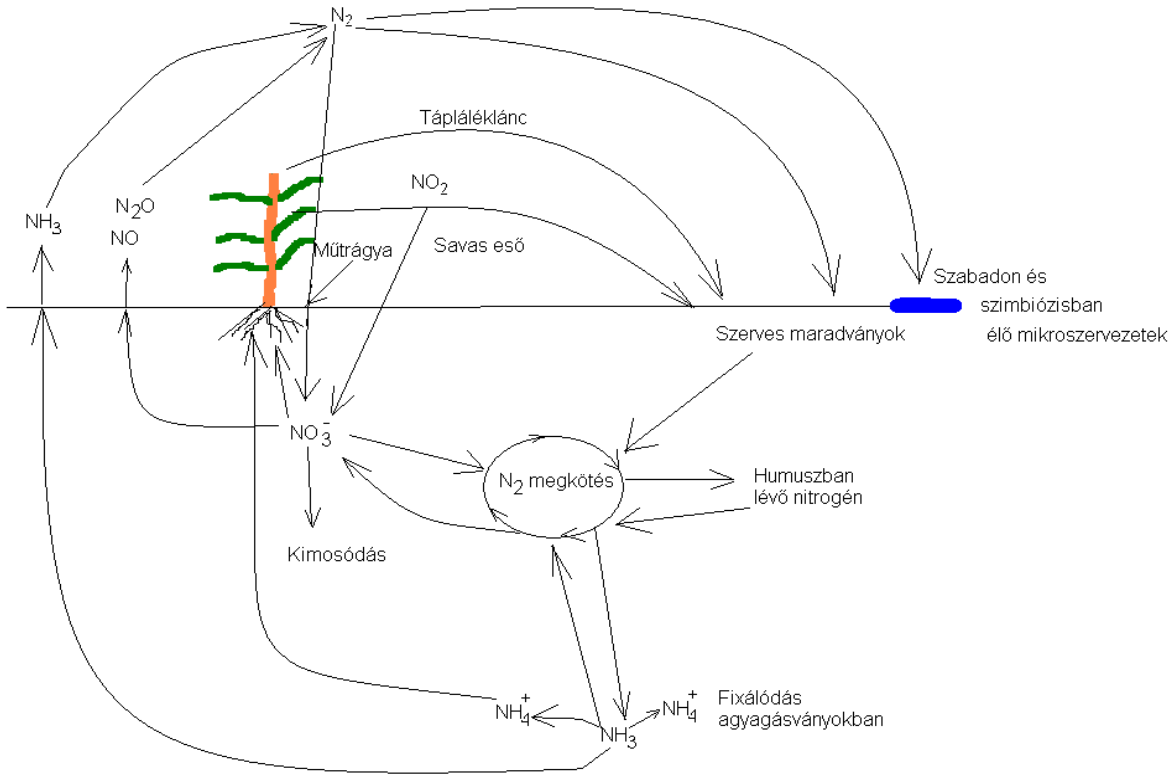
Ezen anyagok állandó átalakulása játszódik le a nitrogén körforgalma során (Simon & Juhász 1993).

3. 3. 2. A nitrogén körforgalma

A nitrogén körforgalom egyes részfolyamatai a talajt nitrogénben gazdagítják, míg más részfolyamatai nitrogén veszteséget okoznak a talajnak. A talajt gazdagító folyamatok az ásványi, illetve szerves trágyázás, valamint a mikroszervezetek nitrogén megkötése. A veszteségforrások pedig a növények nitrogén felvétele, a denitrifikáció és a nitrát kimosódás (Nyíri 1993).

Egyes prokarióta szervezetek képesek a légköri nitrogén fixációjára. Mezőgazdasági szempontból legjelentősebbek a kékbaktériumok, melyek évente hektáronként mintegy 30-50 kg légköri nitrogént képesek megkötni (Láng 1998). A levegő szabad nitrogénjét azonban leginkább a pillangósokkal szimbiózisban élő Rhizobium fajok alakítják nitráttá. Ezt a mikrobiológiai oxidációs folyamatot nitrifikációnak nevezzük (Simon & Juhász 1993). Az egyes pillangósok a maguk specifikus Rhizobium fajával képesek szimbiózisban élni. Ezek Kemenesy (1972) alapján a következők:

- Rhizobium leguminosarum – lednek, bükköny, borsó, lencse
- Rhizobium phaseoli – bab
- Rhizobium trifolii – trifollium fajok
- Rhizobium lupini – szeradella és csillagfürt
- Rhizobium japonica – szója
- Rhizobium meliloti – somkóró és lucerna



1. ábra: az egyszerűsített nitrogén körforgalom (Füleky 2009 nyomán)

Ahogy azt a fenti, 1. ábra is szemlélteti, a nitrogén körforgalmának következő részeként a nitrátokból a növények fehérjét állítanak elő, melyet az állatok a táplálkozás során felhasználnak, majd anyagcsere-melléktermékként karbamid formájában kiürítik. (Szalai 1974). Ezt a vegyületet azután a mikroorganizmusok képesek ammóniává alakítani. A magasabb rendű állati tetemek és szerves maradványok nitrogén vegyületeiből levegőn a bakteriális működés következtében ismét ammónia, majd nitrit és nitrát keletkezik. A nitrit és a nitrát oldott állapotban a növények felvétele nélkül a folyóvizekbe kerülhet, vagy a denitrifikáló baktériumok hatására szabad nitrogénné alakul és visszakerül az atmoszférába. A levegőben csak mintegy 100 km magasságig, a termoszféráig (ionoszféráig) található nitrogén (Füleky 2009). A nitrogén asszimiláció végbemehet elektromos kisülések, villámlások hatására is. A mezőgazdaság számára ez mára elvesztette jelentőségét, mivel a légköri nitrogénből a vegyipar tetszés szerinti mennyiségű nitrátot képes előállítani. A villámlás során létrejövő nitrát pusztán a műveletlen és így trágyázatlan erdőtalajok esetében bír némi jelentőséggel (Szalai 1974).

3. 3. 3. A szén élettani szerepe

A szén a bioszféránk csaknem valamennyi dinamikus folyamatának fontos résztvevője. Gyakorlatilag az élet színterén mindenütt jelen van. Többek között a növényekben, állatokban, főként szerves vegyületek formájában, a tavakban, folyókban és tengerekben elsősorban oldott karbonátok és hidrogén-karbonátok formájában; a talajban és az állatok csontvázaiban főként, mint szilárd karbonát (mészkő) fordul elő. Ezen kívül a légkörben is jelen van, hiszen a szén hatalmas mennyiségét égetjük el energiaellátásunk céljából, elsősorban ásványi szenek, kőolaj és földgáz formájában (Papp 1983). A széntartalom geoszférák szerinti eloszlását a 2. számú táblázat mutatja be.

2. táblázat: a szén eloszlása az egyes területeken (Füleky 2009)

Terület	**Szén mennyiség 10^{12} Kg**
Atmoszféra	700
Talaj szerves anyaga	3000
Folyók és édesvízi tavak széntartalma	2500
Élőlények a szántóföldön	480
Óceáni élőlények	50
Óceánokban oldott karbonát, bikarbonát	3840
Szén és kőolaj	10000
Üledékek	60000000

A talajok és üledékek szervesanyag-tartalmának jelentős részét a humuszanyagok teszik ki. Griffith & Schnitzer (1975) szerint a talajok szervesanyag-tartalmának 60-70%-a humuszanyagokhoz kötött formában fordul elő. A szerves anyag mennyiségileg és minőségileg jellemzi az adott talajt; megkülönböztetett szerepe van a talajok termőképességében. A talajok szerves anyag tartalmát két nagy csoportba sorolhatjuk:

1. *Élő szerves anyag:* mennyisége a talajok szántott rétegeiben az összes szerves anyag 10-15%-át is elérheti. A talajban élő mikro- és makroszervezetek sorolhatók ide.
2. *Holt szerves anyag*: mennyisége 85-90%. Az elhalt növények és egyéb szervezetek elbomlott, valamint a mikrobiális tevékenységek következtében újraképződött szerves anyagai tartoznak ide.

A fentiekből következik, hogy a talaj szervesanyag-tartalmát nem lehet egységesnek tekinteni, még egy adott talajminta esetében sem. Különböző élő és élettelen, eltérő tulajdonságú és reakciójú, kémiai összetételű, fizikai, fizikai-kémiai viselkedésű anyagok keveréke. A szerves

anyag képződése az adott talajra jellemző, mennyisége és minősége eltérő, és ezek együttese határozza meg a talajok termékenységét (Németh 1996).

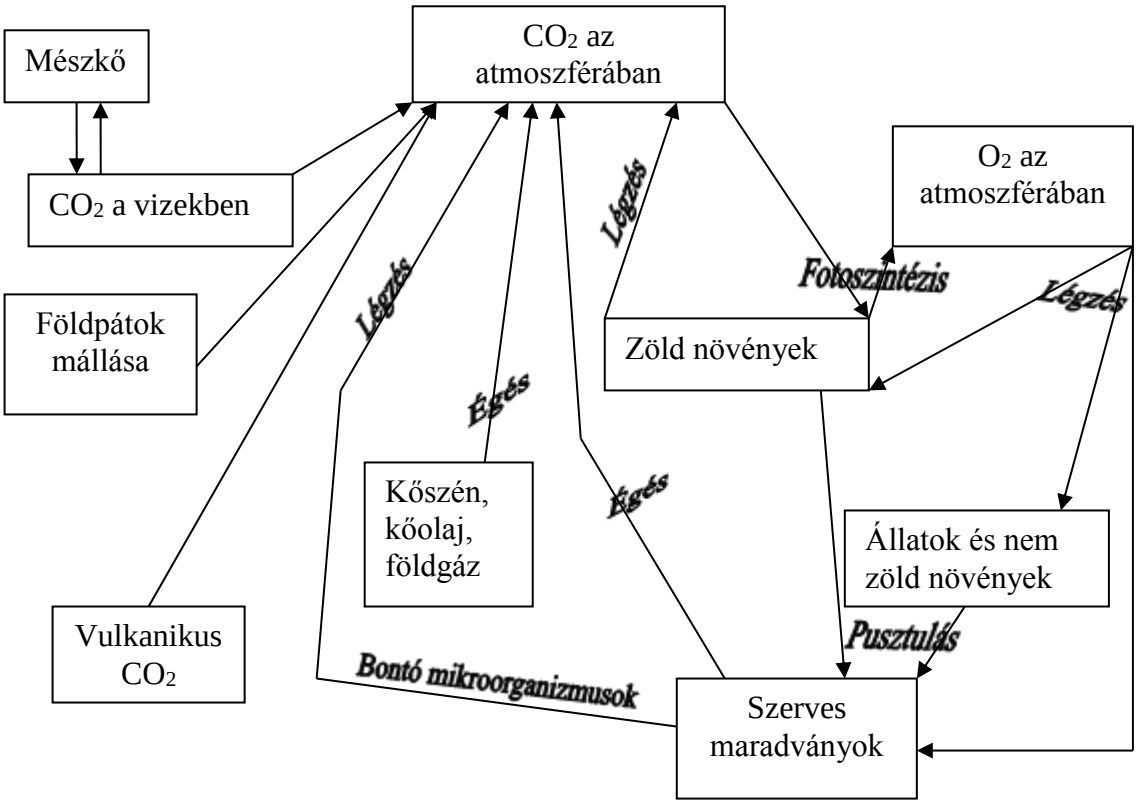
3. 3. 4. A szén körforgalma

A szén biogeokémiai ciklusának szempontjából két biológiai folyamatnak van nagy jelentősége, a fotoszintézisnek és a légzésnek. A fotoszintézis során az atmoszféra szén-dioxidjából és (elsősorban) a talaj vízéből napenergia hatására a kloroplasztiszokkal rendelkező növényekben szénhidrát keletkezik, és ezzel egyidejűleg oxigén szabadul fel. Az így keletkezett növényi szerves anyagok a táplálékláncon keresztül bekerülnek az állatok – és végső soron az ember – szervezetébe, és átalakulnak azok építőköveivé (Kiss 2002).

Az emberi, állati szervezetekben, főként a szénhidrátok elégésének következtében hő szabadul fel, és az atmoszférában található oxigén felhasználásával szén-dioxid és víz keletkezik.

Az elhalt növényi és állati biomasszát mikroorganizmusok bontják le. A bomlás során szintén szén-dioxid keletkezik. A levegő szén-dioxid tartalmának éves globális átlaga 2018-ban 407,1 ±1 ppm (Dlugokencky et al. 2019) . Az ipari forradalom előtt ez a mennyiség kb. 280 ppm-et tett ki. (Demény 2005) Az óceánok biomasszájának nagy többsége rövid életű mikroorganizmusokból (fitoplanktonokból és zooplaktonokból) tevődik össze. Pusztulásuk után szövetanyagaiknak széntartalma a vízben oldható vegyületekké átalakul, vázanyaguk kalcium-karbonátja pedig a tengerek, óceánok, tavak fenekére ülepedik.

A szén egyszerűsített biogeokémiai ciklusát a 2. ábra szemlélteti. Az ábrából kitűnik, hogy a körforgás során valamennyi átalakulás szén-dioxid, illetve vizes közeg esetén karbonát- vagy hidrogénkarbonát-ion formájában játszódik le. (Papp 1983)



2. ábra: a szén egyszerűsített körforgása (Láng 2002 nyomán)

3.4 A környezeti tényezők hatása a talaj CO_2 és N_2O emissziójára

A talajok az elsődleges forrásai a N_2O emissziónak és megközelítőleg a légkörbe történő kibocsátás 65%-át teszi ki (Seitzinger et al. 2000). A talajból történő emissziós folyamatokat leginkább a talajhőmérséklet, talajnedvesség, a nitrogén tartalom, valamint az oldott organikus szén (DOC) és a talaj pH-ja befolyásolja (Geng et al. 2017).

Valós körülmények között a nedvesség és a hőmérséklet hatásai átfedik egymást, ami nehezítheti a pontos korrelációk megfigyelését (Fang & Moncrieff, 2001).

3.4.1 A tápanyagellátás hatása a CO_2 és N_2O emisszióra

Az emberiség gyakorlatilag az írott történelem óta alkalmazza különböző módokon termőtalajai tápanyag ellátásának javítását a magasabb terméshozam érdekében. A XIX század közepén J. B Lawes Angliában megalapította az első műtrágyagyárat (Lanslor et al. 2019). Ekkortól nyílt lehetőség a korábbiaknál jóval hatékonyabban és jelentősebb módon ellátni a talajokat a nélkülözhetetlen tápanyagokkal. Ezután a kutatók az optimális haszonnövény táplálási mód kialakítás érdekében végeztek kutatásokat a talaj-növény rendszer tekintetében. Annak

felismerése, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátásához a mezőgazdaság is komoly mértékben képes hozzájárulni, a hetvenes években történt meg, így a kutatások kibővültek a talaj-növény-légkör rendszerre. Először Galbally és Roy 1978-ban jelentetett meg tanulmányt, mely a talajok nitrogén-oxid emisszióját elemezte. Innentől kezdve az ilyen témájú publikációk száma jelentősen nőtt. Ezen tanulmányok rámutattak arra, hogy a talajok C és N tartalma jelentősen befolyásolja a talajok CO_2 és N_2O emisszióját.

Pilegaard és munkatársai (2006) arról számoltak be, hogy az N_2O kibocsájtás negatív korrelációt mutat a szén/nitrogén arányhoz. Az N_2O kibocsájtás akkor a legalacsonyabb, ha a szén/nitrogén arány nagyobb, mint 30:1. Ebben az esetben a szerves anyag korlátozottan bomlik le. A legmagasabb a kibocsátás 11:1-es szén/nitrogén aránynál, ilyenkor optimális a szerves anyag lebomlása és a humusz képződés (Gundersen et al. 2012a,b). Mivel a növények nem képesek a nitrogén összes fajtáját felvenni, ezért a mezőgazdasági területeken az N_2O emisszió csökkentése érdekében a műtrágya alkalmazások mennyiségét a növények szükségleteihez kell igazítani. A növények által fel nem vett N mennyiségek növekvő N_2O emisszióhoz vezetnek (McSwiney & Robertson 2005) A talaj növekvő nitrogéntartalma általában magasabb talajrespirációt, és magasabb nettó ökoszisztéma gázcserét (NEE) eredményez, ha a szénmennyiség nem limitáló tényező (Niu et al. 2010, Peng et al. 2011). A talajeredetű CO_2 kibocsátás pozitív korrelációt mutat a C/N aránnyal (Shi et al. 2014; Weslien et al. 2009).

A földművelés CO_2 és N_2O kibocsátásra gyakorolt hatása a növények életciklusához kapcsolódóan is megjelenik. Az elvetett magok növelik a CO_2 és N_2O fluxusokat, mivel a csírázás után pozitív hatással vannak a talajrespirációra (Sanz-Cobena et al. 2014a). Vannak azonban más ellentmondásos észlelések is a talajművelés hatásairól. Az N_2O emisszió csökkent a műveletlen talajoknál (Omonode et al. 2011), ami az alacsonyabb talajhőmérséklettel magyarázható (Six et al. 2002), míg mások azt közölték, hogy a földművelés hiánya pozitív hatással van az N_2O emisszióra és ezt Baggs és munkatársai (2003) a magasabb mikrobiális aktivitással magyarázták. A magasabb talajnedvesség a műveletlen területeken magasabb N_2O kibocsájtáshoz vezet (Li et al. 2005). Tenuta és Beauchamp (2003) arra a következtetésre jutott, hogy a folyékony karbamid trágya alkalmazása magasabb N_2O kibocsájtáshoz vezet aerob talajkörülmények esetén, míg a NH_4^+ műtrágyák víztelített körülmények eseten növelik az N_2O emissziót. Six és munkatársai (2004) áttekintették a hosszabb távú tanulmányokat az N_2O emisszióra gyakorolt hatását a földművelés hiányáról. Azt állapították meg, hogy az emisszió csak az első 10 évben emelkedett. Mordhorst és munkatársai (2014) Azt állapították meg, hogy a mezőgazdasági gépek által okozott talajtömörülés alacsonyabb talajemisszióhoz vezet.

3.4.2 Hőmérséklet hatása a talaj CO_2 és N_2O termelésére

A talajhőmérséklet növekedése általában nagyobb emisszióhoz és nagyobb arányú talajrespirációhoz, vezet. Az N_2O kibocsátást is erősíti a növekvő hőmérséklettel növekvő talajrespiráció, aminek következtében az O_2 csökkenő koncentrációt mutat a talajban (Butterbach-Bahl et al. 2013). Bouwman és munkatársai (2002) 846 N_2O emissziós kísérlet adatának elsődleges elemzésével azt állapították meg, hogy bár az éghajlati tényező nem befolyásolja szignifikánsan a nitrogénoxidok emisszióját, az óceáni éghajlati kibocsátások alacsonyabbak, mint a kontinentális éghajlaton mértek, ahol a téli N_2O-kibocsátás erőteljesen hozzájárul az éves kibocsátáshoz, valamint, hogy a szubtrópusi és trópusi éghajlatú kibocsátások meghaladják a mérsékelt övi kibocsátásokat.

Az adott éghajlatra jellemző hőmérséklet szabályozza például a fagyási és olvadási eseményeket, amelyek szintén befolyásolják a talajeredetű CO_2 és N_2O emissziót (Holst et al. 2008). Groffman és munkatársai (2006, 2009) szerint ezek akár az éves N_2O emisszió 50%-ért is felelősek lehetnek. Ezzel szemben a téli CO_2 emissziót kevésbé tekintik fontosnak az éves emisszió mennyiség szempontjából, mivel a gyökérlégzés alacsonyabb a mérsékelt vagy sarkibb körülmények között. Ekkor ugyanis a talaj víztartalma általában közel van a telítettséghez ami csökkentett O_2 koncentrációt eredményez a talajban. A fagyás és olvadási folyamatok azzal járulhatnak hozzá a talajeredetű CO_2 és N_2O emisszióhoz, hogy további tápanyagokat juttatnak a talajba (pl. az elhalt növényi részek által) így ezek tovább tudják erősíteni a mikrobiális talajrespirációt és a denitrifikációt (Mørkved et al. 2006).

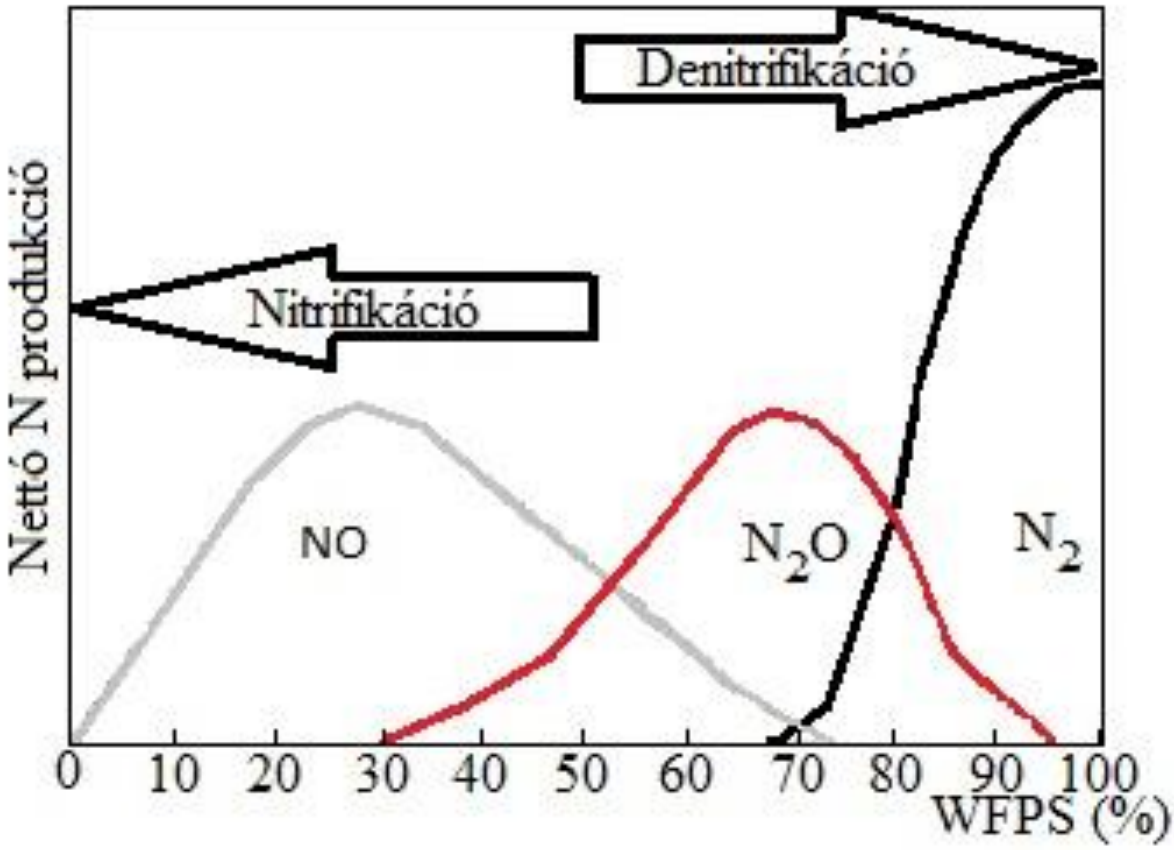
Azonban fontos tény, hogy a hőmérséklet pozitív hatását a talaj víztartalma képes limitálni, mivel a víz szükséges a mikrobák tápanyagainak szállításához (Fowler et al. 2009). A fagyási és hóolvadási nagy N_2O emissziós értékektől eltekintve a nitrogénoxidok és a CO_2 emissziója a hőmérséklet emelkedésével exponenciálisan nő (Fang & Moncrieff 2001; Ludwig et al. 2001; Tang et al. 2003; Bao et al. 2016). Az N_2O emisszió tehát 4-37°C hőmérsékletig növekszik. A denitrifikáció hőmérsékleti optimuma 37°C (Braker et al. 2010) ezután a denitrifikáció és a N_2O kibocsátás csökken (Abdalla et al. 2009).

3.4.3. Talajnedvesség hatása a talajeredetű CO_2 és N_2O produkcióra

A talajnedvesség a talaj gázkibocsátásának egyik nagyon fontos paramétere, mivel szabályozza a mikrobiális aktivitást és az összes hozzá kapcsolódó folyamatot. Amikor a talajnedvesség elegendő tápanyaggal társul, a talaj N_2O emissziója robbanásszerűen megnő (Geng et al. 2017), ezért a talaj víztartalma nagyon fontos szempont a megfelelő műtrágya típus kiválasztásában és a megnövekvő N_2O emisszió elkerülésében (Sanz-Cobena et al. 2014b). Kiese és Butterbach-Bahl

(2002) vizsgálataik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a talajeredetű CO_2 és N_2O kibocsátás szorosan függ a talajnedvességtől, míg a talajhőmérséklet változása nem befolyásolta szignifikánsan a CO_2 és N_2O emissziót. Azt is megfigyelték, hogy a talajnedvesség az N_2O emisszióra komolyabb hatást gyakorol, mint a CO_2-re. Ha a talaj száraz, akkor a biológiai aktivitás is korlátozódik, és ezzel együtt a talajeredetű CO_2 emisszió is lecsökken. Bao és munkatársainak (2016) eredményei is erre utalnak. A talaj vízzel telt pórusterének (WFPS) 47-60%-os értéke az optimális a talajeredetű CO_2 kibocsátás tekintetében (Xi et al. 2015).

A talajnedvesség N produkcióra gyakorolt hatását a 3. ábra foglalja össze, Davidson (1991) és Kirkman (2001) alapján. A vízszintes tengelyen a talaj WFPS értéke látható, a függőleges tengelyen pedig a nettó nitrogén produkció. Mint látható 50% WFPS alatt inkább a nitrifikáló baktériumok, ezen érték felett pedig inkább a denitrifikáló baktériumok aktívabbak. Ludwig és munkatársai (2001) 20% körüli WFPS esetén határozták meg a nitrifikációs talajgáz-emissziós maximumot, azonban 10% körüli WFPS esetén az NO kibocsátás jelentősen csökken, mivel a tápanyagfelvételt erősen korlátozza a vízhiány (Brümmer et al. 2008). 70% körüli WFPS esetén tapasztalható a legmagasabb N_2O produkció (Huang et al. 2014). Nagyobb víztelítettség esetén a denitrifikációs N-veszteség fő oka a termelődő N_2 gáz.



3. ábra: a talajnedvesség N produkcióra gyakorolt hatásáról Davidson (1991) és Kirkman (2001) alapján

3.5 A talaj CO_2 és N_2O gázminta gyűjtésének módszerei

A talajlevegő CO_2 és N_2O tartalmának, valamint a talaj gázkibocsátásának mérésére alkalmazhatunk helyszíni és laboratóriumi mérési módszereket. A helyszíni mérésnél a mintavétel és a mérés egy rendszerben történik, míg a laboratóriumi technikák esetében a mintavétel és a gázok detektálása elkülönül egymástól.

A talaj CO_2 és N_2O vizsgálatára rendelkezésre állnak helyszíni és laboratóriumi mérési módszerek. Mindkét mérési módszernek megvannak a sajátosságai. A helyszíni terepi vizsgálatok esetén a mérést, az időjárási paraméterek és a talajjellemzők erőteljesen befolyásolják. (Schindlbacher et al. 2004). A laboratóriumi vizsgálatoknál ezen körülmények kontrollálása jobban megoldható, de a talajmintavételből eredő bolygatás miatt megváltozhat annak talajgáz tartalma a terepi állapotokhoz viszonyítva. Bolygatatlan talajminta alkalmazása esetén a mérés nagyobb hasonlóságot mutat a terepi vizsgálatokhoz (azok hátrányával együtt) (Smith et al. 2008).

Napjainkban a kutatók szántóföldi, bolygatatlan talajoszlop, üvegházi tenyészedény és mikrokozmosz kísérleti szinteken vizsgálják a mezőgazdasági talajok üvegházgáz-emisszióját.

A szántóföldi szinten igen elterjedt vizsgálati módszernek tekinthető kamra módszer lényege, hogy a talaj felszínére egy kamrát helyeznek és ezáltal a talajt elzárják a légkörtől (Kutzbach 2007). A gázmintavétel ezekből a kamrákból történik, és a minták összetételét gázkromatográfiás (vagy egyéb gázanalitikai) módszerrel határozzák meg.

A gázmintavétel alapján megkülönböztetünk zárt statikus és átáramlásos kamrákat (Pavelka et al. 2018). A zárt statikus módszer esetében a megtörténik a kamra tetejének időleges lezárása, amit meghatározott időközönként mintavétel követ. A módszer nagy előnye, hogy csekély fluxus is mérhető vele, valamint a rendszer egyszerűsége és költséghatékonysága is ide sorolható. A módszer komoly hátránya, hogy a kamrában felhalmozódó gáz meggátolhatja a további gázemissziót, és egy idő után a gázkoncentráció állandósul, így ez a módszer csak bizonyos ideig alkalmazható.

Folyamatos áramoltatásos rendszer alkalmazása esetén, a kamra folyamatosan átöblítődik, így a gázdúsulásból adódó problémák nem jelentkeznek. Az ilyen rendszert sok esetben rögtön egy gázanalizátorhoz kapcsolják, mely így akár folyamatos monitorozásra is képes lehet. A módszer legnagyobb hátránya, hogy csekély fluxus nem mérhető vele, illetve további komoly hátrányként sorolható fel a módszer nagy erőforrásigénye.

Heinemeyer és Mcnamara (2011) a két módszert összehasonlítva, arra a következtetésre jutott, hogy habár a folyamatos gázáramlásos mintavétel sok esetben előnyösebb, azonban annak jelentősebb erőforrásigénye miatt nem számítanak a zárt statikus kamra módszer

visszaszorulására, mivel ezen módszer jóval költséghatékonyabb, és elektromos áramra sincs szükség hozzá.

Tenyészedény kísérleti rendszer esetében, általában üvegházakban telepítenek tenyészedényeket, melyekben gázcsapdákat alakítanak ki, majd azokból történhet meg a vizsgálandó gázminta begyűjtése. A módszer előnye a szántóföldi vizsgálathoz képes, hogy ezen vizsgálati szinten képesek vagyunk számos környezeti tényezőt beállítani, valamint a módszer jóval költséghatékonyabb. A módszer hátrányának tekinthető annak komoly erőforrásigénye, valamint, hogy általában a mérés nem, vagy csak nehezen oldható meg in situ.

Mikrokozmosz kísérleti rendszer alkalmazása esetén a talajmintát egy erre a célra kialakított edénybe helyezik, melynek teteje általában szeptummal van ellátva, majd a gázmintavétel innen történik meg. Ezzel a módszerrel lehetőség nyílik rá, hogy a vizsgálni kívánt tényezőn kívül, a többi, bizonytalanságot okozó tényezőt nagyobb pontossággal tartsuk állandó értéken, mint azt a tenyészedényes kísérleti rendszer esetében tudjuk. További előnyt jelent, hogy a gázminta mérése általában megoldható in situ. A módszer hátránya viszont, hogy a szántóföldi kísérleti szinttől távol áll illetve, hogy a talajminta bolygatásával megváltozik annak természetes gáztartalma (Ruamps et al. 2011).

3.6. A begyűjtött talajgázminta elemzéseinek lehetőségei.

Jelenleg a talajeredetű CO_2 és N_2O gázprodukciós és emissziós vizsgálatainál a kutatók jellemzően gázkromatográfos vizsgálatokat alkalmaznak a legelterjedtebben. (Jassal et al. 2011, Ahmad et al. 2009, Kampfl et al. 2007, Fóti et al. 2017, Koncz et al. 2017). További gyakorlati lehetőséget a gázminták CO_2 tartalmának vizsgálatára az elektrokémiai cellák, valamint a nem diszperzív infravörös abszorpció-s (NDIR) mérőcellák nyújtanak. A N_2O és CO_2 mérésére továbbá alkalmazható még a fotoakusztikus spektroszkópia (PAS) (Rai & Nkongolo 2018).

3.6.1 A gázkromatográfiás vizsgálatról

A gázkromatográf (GC) működése a mozgó elegyben lévő komponensek szétválasztásán alapul, amely egy álló fázis határfelületén játszódik le. A mozgó fázis mindig gáz, az álló fázis pedig szilárd, vagy szilárd hordozóra felvitt folyadék lehet. Így megkülönböztethetünk gáz-szilárd, illetve gáz-folyadék kromatográfiát (Burger 1992). A két esetben a készülék azonos, de az oszlop töltete eltérő: gáz-szilárd kromatográfia esetén nagy felületű adszorbenst használnak, míg gáz-folyadék kromatográfia esetén kisebb felületű hordozóra, ill. a kapilláris cső falára vékony rétegben felvitt folyadékfázis használatos.

A gázkromatográf működésekor az állandó térfogati sebességgel áramló vivőgáz (eluens) az injektorba pillanatszerűen bejuttatott mintát a kolonnába juttatja, ahol az egyes komponensek a vivőgázból az adszorbenssel kölcsönhatásba lépnek, mégpedig eltérő fizikai-kémiai tulajdonságaikból adódóan különböző mértékben. Így a kolonna elhagyásakor a minta különböző összetevői időben késleltetve jelennek meg a detektoron. Ebből adódóan a mintakomponens azonosítására szolgáló legfontosabb adat a kémiai anyagminőségre jellemző úgynevezett retenciós (visszatartási) idő, mely a minta injektálásától a mintakomponensek detektor által mért jelnagyságának maximális értékéig eltelt időt fejezi ki. A retenciós időt befolyásolja az oszlop hőmérséklete, töltetaktivitása, a készülék méretei és a vivőgáz sebessége. A detektor a vivőgázban megjelenő anyagot valamilyen fizikai vagy kémiai tulajdonság alapján észleli és mennyiségével arányos elektromos jelet ad az integráló szerkezetnek. A detektorjel idő függvényében való ábrázolásakor a mintakomponenseket reprezentáló csúcssorozatot, úgynevezett kromatogramot kapunk. A kromatogramon látható csúcsok helyéből a komponens minőségi azonosításához kapunk információt, míg a csúcsmagasság és a haranggörbe alatti terület (lineáris tartományban) arányos a koncentrációval. (Erdey & Mázor 1974).

3.6.2 További gázvizsgálati módszerek

Az *elektrokémiai cellák* úgy épülnek fel, hogy az adott mérendő komponensre érzékeny szilárd elektrolitot tartalmaznak. Amikor a mérőcella a vizsgált gázkomponenssel találkozik annak anód, illetve katód oldalán, kémiai reakció által elektromos feszültség jön létre, amely könnyedén mérhető, így az felhasználható az adott komponens kvalitatív, valamint kvantitatív elemzésére. A módszer előnye, a mérőcellák viszonylagosan alacsony ára, az egyszerű felépítése és a csekély tömege. Utóbbinak köszönhetően alkalmazható pilóta nélküli repülőgépeken (Roldán et al. 2015). Hátrányai közé tartoznak (a CO_2 tekintetében) a pontatlanságból adódó reprodukálhatósági nehézségek.

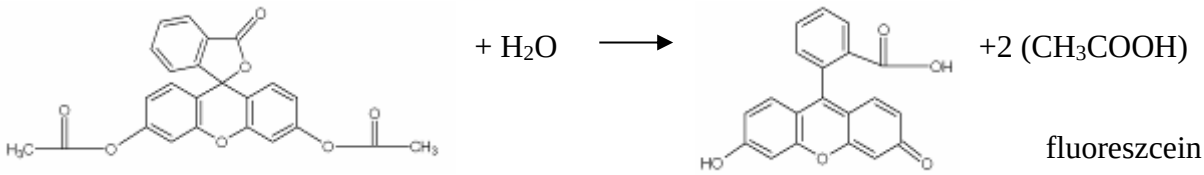
A nem diszperzív infravörös abszorpciós (*NDIR*) mérőcellák az előbbi mérőcelláknál jóval pontosabbak. Elvüket tekintve az infravörös sugárzás elnyelésén alapulnak. A cella egyik végén infravörös sugárforrást helyeznek el, a másik végén, pedig mérik az intenzitást. A mérőcella áll egy mérő illetve, egy referencia csatornából. A referencia csatorna biztosítja a sugárforrás változásából adódó pontatlanságok elkerülését. Az elektrokémiai cellákhoz viszonyítva a módszer előnye a nagyobb pontosság, hátránya viszont az, hogy több komponens mérése nehézségekbe ütközik. (Zainab et al. 2014).

A *Fotoakusztikus spektroszkópia* alapja, hogy gáz, vagy folyékony, de akár szilárd anyag (Kovács et al. 2017) periodikusan szaggatott fényelnyeléséből hanghullámok keletkeznek, mivel a fényelnyelés hatására a gázmolekulák alapállapotukból gerjesztett állapotba kerülnek. A gerjesztett állapotból való visszatérés felmelegedéssel és így nyomáskülönbség kialakulásával jár. Szaggatott megvilágítást alkalmazva periodikus nyomáskülönbség, vagyis hanghullámok alakulnak ki, melyek mikrofonnal detektálhatóak.

3.7. Talajminták mikrobiológiai aktivitásának és mikrobiális biomasszájának vizsgálata

3.7.1 Fluoreszcein-diacetát (FDA) hidrolízisének vizsgálata

A fluoreszcein észterek alkalmazását enzimaktivitás mérésére legelőször Kramer & Guilbault (1963) jegyezte fel, akik egy egyszerű eljárást írtak le a lipáz aktivitás vizsgálatához egyéb észterázok jelenlétében. Környezetvédelmi mérésekhez a fluoreszcein észtereket először 1980-ban alkalmazták. Swisher & Carrol (1980) bemutatták, hogy a fluoreszcein-diacetát (FDA) hidrolíziséből keletkezett fluoreszcein mennyisége egyenesen arányos a Douglas-fenyő levélzetén növő mikrobiológiai populációval, és egy sztenderdizált módszert fejlesztettek ki. Ezen módszert két évvel később Schnürer & Rosswall (1982) értékelték, és talaj, valamint szalmahulladékok teljes mikrobiológiai aktivitásának meghatározására használták. A fluoreszcein-diacetát színtelen molekula, melyet a szabad és a membránhoz kötött enzimek egyaránt képesek hidrolizálni. A hidrolízis eredményeként színes végtermék keletkezik, a fluoreszcein (Stubberfield & Shaw 1990). Az egyszerűsített reakciót a 4. ábra mutatja be.



4. ábra: a fluoreszcein-diacetát egyszerűsített enzimatikus átalakulásáról

A fluoreszcein, koncentrációját élénksárga színe miatt spektrofotometrikusan mérhető (Swisher & Carrol 1980, Adam & Duncam 2001, Green et. al. 2005), mivel képes abszorbeálni a látható fény hullámhosszait (legfőképpen a 490 nm-es hullámhosszon). A fluoreszcein-diacetát hidrolíziséért felelős enzimek bőségesen rendelkezésre állnak a talajban. A nem specifikus proteázok, észterázok és lipázok, amelyek képesek hidrolizálni a fluoreszcein-diacetátot, részt vesznek sokféle szövettípus lebontásában. Ebből következően a fluoreszcein-diacetát hidrolizációs vizsgálata megfelelőnek tűnik, főleg a fő lebontó baktériumokra és gombákra vonatkozóan

(Schnürer & Rosswall 1982), mivel egy talajrendszer energiaforgalmának általában több mint 90%-a mikrobiológiai lebontókon megy keresztül. Ilyen módon ezen vizsgálat, mely képes mérni a mikrobiológiai lebontók aktivitását, jó becslést képes adni a teljes mikrobiológiai aktivitásra is. A fluoreszcein-diacetát hidrolizációs vizsgálat eredménye megközelítőleg azonosnak tekinthető néhány nagyon pontos mikrobiális biomassza méréssel is, mint például az adenozin trifoszfát (ATP), valamint a sejtsűrűség mérésekkel (Stubberfield & Shaw 1990). Míg ezen módszerek nehezen kivitelezhetőek, bonyolultak és időigényesek, a fluoreszcein-diacetát hidrolizációs vizsgálata gyors és egyszerű (Gillian & Harry 2001). 1982 óta széles körben használatos a teljes mikrobiológiai aktivitás mérésére egy sor mintában. A fán és egyéb anyagokon nőtt penészgombáktól kezdve (Bjurman 1993), növényi hulladékokon (Zablotowicz et al. 1998), folyadék üledék biofilmjein (Battin 1997), iszapmintákon (Fontvielle et al. 1992) és mélytengeri anyagokon, valamint homoküledékeken is (Gumprecht et al. 1995).

Ezen módszer azon előnyei, hogy egyszerű, gyors, érzékeny és széles körben alkalmazható, alkalmassá tennék arra, hogy sokféle talajtípust mérjünk vele. Az eredeti 1982-es recept – amit sok kutató ma is alkalmaz – azonban korlátozott használatú. Schnürer & Rosswall (1982) szerint az FDA aktivitás nagyon alacsony a homok- és agyagmintákban. Ezen talajtípusokban az enzimaktivitást még nehezebb volt mérni, amikor a szerzők által választott oldószert alkalmazták a reakció leállításához. A fluoreszcein-diacetát hidrolízis nagy sebessége miatt sok mintával való munka esetén ugyanis megfelelő módszert szükséges találni a reakció leállítására egy adott pillanatban. Schnürer & Rosswall (1982) szerint az aceton ((50% (V/V)) képes a leghatékonyabban leállítani két órára a folyamatot. Ez azonban jelentős színvesztést okoz, és így a fluoreszcein-diacetát hidrolízis aktivitás mérését erőteljesen megnehezíti alacsony mikrobiológiai aktivitás mellett, mint például homokos vagy agyagos talaj esetén. Gyakorlatilag ez tekinthető a módszer hátrányának.

3.7.2 Szubsztrát indukált respiráció (SIR) vizsgálta

A talaj mikrobiális biomassza vizsgálatára számos módszert dolgoztak ki, de igazán egzakt módszer jelenleg még nem létezik. A mikrobiális biomasszára vonatkozóan a kutatók alkalmazzák a direkt mikroszkópos biomassza becslést a biotérfogat alapján, a kloroform fumigációs eljárásokat (fumigációs inkubációs (CFI) és fumigációs extrakciós módszerek), továbbá az összes foszfolipid zsírsav-tartalom meghatározását.

Anderson és Domsch (1978) fiziológiai alapon dolgozott ki egy módszert. Ennek lényege, hogy a mikroorganizmusok széles körében hasznosítható szubsztrátot adnak a talajhoz, amire a talaj mikroszervezetei a respiráció növekedésével válaszolnak. A módszer alkalmazása során viszonylag rövid (< 6 óra) inkubáció szükséges azért, hogy a meglévő mikrobiális biomassza ne szaporodjon. Megfigyelték, hogy a respirációs válasz nagysága arányos a mikrobiális biomasszával (Szili-Kovács 2004)

4. Anyag és módszertan

Munkám a Szent István Egyetem Kémia Tanszéke, az MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete és a Pannon Egyetem Georgikon Karának Földműveléstani Tanszéke által közösen megvalósított konzorciális OTKA pályázathoz szorosan kapcsolódott, amelynek címe: „Az eltérő nedvességviszonyok és nitrogén-tápanyagellátási módok hatása a talaj NO_x és CO_2 produkciójára, termékenységére és mikrobiológiai aktivitására szántóföldi és modellkísérletben". A pályázaton belül szántóföldi, talajoszlop, tenyészedényes mezokozmosz és laboratóriumi mikrokozmosz méretben tanulmányoztuk a különböző szervetlen és szerves nitrogénforrások hatását a talajlevegő összetételére.

Kutatásom során 2009-től az alábbi feladatokban vettem rész nagyrészt önállóan:

1. az MTA ATK Talajtani Kutató Intézet őrbottyáni telephelyén felállított bolygatatlan talajoszlop kísérletből származó talajlevegő N_2O és CO_2 tartalmának vizsgálata,
2. Keszthelyen a Pannon Egyetem Georgikon Karának üvegházában felállított tenyészedényekből származó gázminták N_2O és CO_2 tartalmának vizsgálata,
3. a keszthelyi talajminták enzimaktivitásának vizsgálata.

A kísérletek alapjául az 1963-ban Keszthelyen (46°47'N, 17°15'E) beállított Szerves és ásványi trágyázási tartamkísérletből kiválasztott kezelések talajai szolgáltak. A kísérletben Ramann típusú barna erdőtalajon (Eutric Cambisol), „A" és „B" vetésforgóval, istállótrágya vagy ekvivalens hatóanyag-tartalmú NPK műtrágya adagok, továbbá nagyadagú NPK műtrágyázás szerves anyag utánpótlással kombinált vagy anélkül alkalmazott kezeléseit alkalmaztuk. A kísérlet részletesebb leírása Hoffmann és munkatársai (2008) munkájában olvasható.

A kezelések összeállításához közel semleges kémhatású, közepes humusztartalmú, foszforban közepesen, káliumban gyengén ellátott szántóföldi területről származó Ramann-féle barna erdőtalaj típusú talajmintákat használtunk. Fizikai félesége az Arany-féle kötöttség szerint homok, homokos vályog. A talaj részletes kémiai és fizikai jellemzőit az 3. táblázat tartalmazza, mely paraméterek nagy részét a Szent István Egyetem Talajtani és Agrokémiai Tanszékén határozták meg.

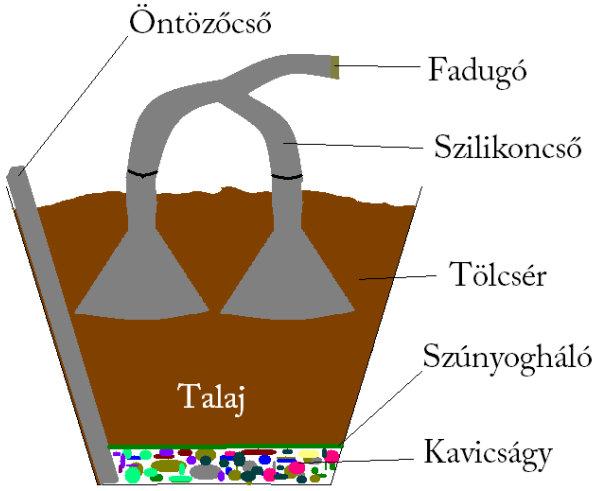
3. táblázat: A talajminták főbb jellemzői

Jellemző	**Kontroll talaj**
pH (KCl)	6,81
Humusz	1,48 %
$CaCO_3$	-
Összes só	0,054 %
AL-P_2O_5	130 mg/kg
AL- K_2O	136 mg/kg
NH_4^+-N	0,53 mg/100g
NO_3^-N	0,18 mg/100g
K_A	28
C:N arány	4,15
Térfogattömeg	1,54 g/cm^3
Fajsúly	2,45 g/cm^3
Minimális vízkapacitás	15,08

4.1. Tenyészedény, talajoszlop kísérleti rendszerek bemutatása

4.1.1. Tenyészedény kísérlet bemutatása

A kutatás mezokozmosz kísérleti részéhez a Pannon Egyetem Georgikon Karának tartamkísérletéből származtak a talajminták. Az egyes nagyméretű tenyészedényekbe 45 kg (abszolút száraz állapotra számolva) talajmintákat helyeztünk. A kísérleti rendszerről készült fényképeket az M2 melléklet tartalmazza. Mindegyik tenyészedény-mezokozmosz esetén a gázcsapdák az 5. ábra szerint lettek kialakítva. A felszíntől mért 20 cm-es talajmélységben két 0,9 dm^3 térfogatú gázzáró tölcsért helyeztünk el. A tölcsérek végei, a CO_2 és N_2O gáz tekintetében át nem eresztő szilikoncsövekkel voltak összekötve. A szilikoncső szabad vége fadugóval volt lezárva, a mintavétel a szabadon lógó szilikoncsövön keresztül történt.



5. ábra: a keszthelyi gázcsapdák kialakításáról

Valamennyi tenyészedény esetén a vízellátottság azonos volt (Vk=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 a 4. számú táblázat foglalja össze. A szerves trágyázást még a kisparcellás tartamkísérlet részeként kapták meg a talajminták, az istállótrágya táblázatban feltüntetett mennyiségének első részletét 2008 őszén. 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.

4. táblázat: A mezokozmosz kísérleti rendszerben alkalmazott kezelések

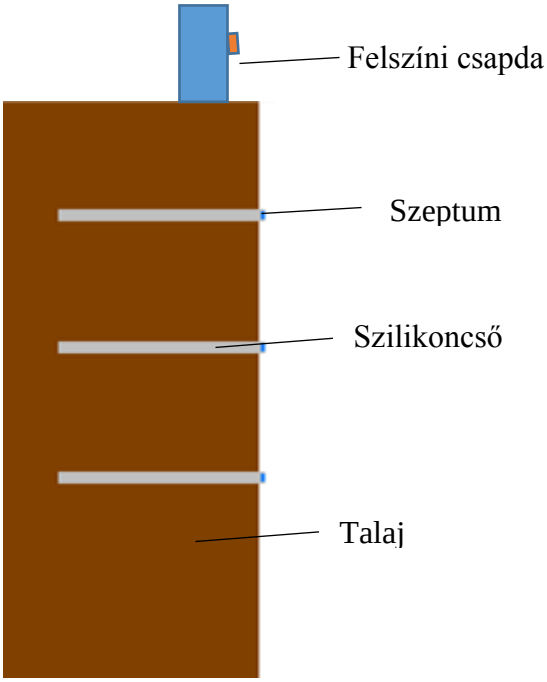
Kezelés száma	**Alkalmazott kezelés leírása**
1	Kezelés nélküli kontroll
2	35 t ha^{-1} istállótrágya (öt év alatt 2 részletben kijuttatva)
3	70 t ha^{-1} istállótrágya (öt év alatt 2 részletben kijuttatva)
4	105 t ha^{-1} istállótrágya (öt év alatt 2 részletben kijuttatva)
5	1 egység (35 t ha^{-1} istállótrágyával 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_2O_5 és 660 kg ha^{-1} K_2O tartalomnak megfelelő műtrágya
9	1 egység műtrágya és 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P_2O_5 és 660 kg ha^{-1} K_2O tartalomnak megfelelő műtrágya
10	1 egység műtrágya és 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P_2O_5 és 660 kg ha^{-1} K_2O tartalomnak megfelelő műtrágya, valamint őszi búza szalmájának alászántása

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.

4.1.2. Talajoszlop kísérleti rendszer bemutatása

A vizsgálat során hat bolygatatlan talajoszlopot alkalmaztunk különböző kezelésekkel. A talajoszlopokat az MTA ATK Talajtani Kutató Intézet őrbottyáni telephelyén a szabadban egy süllyesztett aknában állítottuk fel. A talajoszlop kísérleti rendszerről készült fényképeket az M2 melléklet tartalmazza. 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 CO_2 és az N_2O tekintetében gázáteresztő szilikoncsövek. A csövek végeit butilgumi szeptummal zártuk le, amelyeket átszúrva vettük a mintákat. Választásunk azért esett a gázáteresztő szilikoncsövekre, mert ilyenkor a talajlevegő még akkor is átjut diffúzióval a cső falán, ha a talaj pórustere vízzel telített (Szili-Kovács et al. 2009b). A szilikoncsövek összeesésének elkerülése érdekében a szilikoncsövekbe 12mm-es spirálrugót helyeztünk el távtartóként. A talajoszlopok sematikus rajzát a 6. ábra mutatja be. A talajlevegő mérése (3 ismétlésben) a Szent István Egyetem Kémia tanszékén történt, ezért gondoskodni kellett a minta megfelelő szállításáról. Ehhez előre vákuumozott, szeptummal lezárt mintavevő csöveket alkalmaztunk.



6. ábra: a gázcsapdák kialakítása a talajoszlopokban

A hat talajoszlop 2009-től eltérő kezeléseket kapott. Az egyes kezeléseket a hatodik talajoszlop kivételével a keszthelyi mezokozmosz 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 (semmilyen kezelést nem kapott) oszlop és az egyik kombinált kezelésben részesített talajoszlop kivételével az oszlopokba egyenként 4 db kukorica jelzőnövényt (Zea mays L.) ültettünk.

Az egyes kezelések összeállítását az 5. számú táblázat foglalja össze.

5. táblázat: A talajoszlopok egyes kezeléseiről

oszlop száma	**Alkalmazott kezelések**	**mezokozmosz kezelés száma**
1	Kontroll, *növény nélkül*	1
3	Kontroll, kukorica *növénnyel*	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** *(növénnyel)*	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	-

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).

4.2. Gázmintavétel bemutatása a különböző kísérleti rendszerekből

A tenyészedény kísérleti rendszerből a gázmintavétel 2008, 2009 és 2010-ben történt. Átlagosan minden egyes kísérleti évben 10 mintavétel történt (2008-ban 9, 2009-ben 10, 2011-ben 11). 2008-ban és 2009-ben törekedtünk arra, hogy a mintavétel gyakorisága a lehetőségek szerint kéthetes rendszerességgel történjenek meg. 2009-ben a gázmintavétellel párhuzamosan talajmintavétel is történt az FDA vizsgálat céljából. 2010-ben a mintavételt a vetést követő 18. napig a korábbiakhoz képest jóval sűrűbbé tettük, törekedtünk a 2 napos mintavételi és mérési gyakoriságra. A 18. naptól pedig 2-3 hetente történt meg a minta vétele és a mérése.

A talajoszlop kísérleti rendszerben a mintavételek számát az évek előrehaladtával növeltük. 2008-ban összesen 7, 2009-ben pedig 10 mintavétel történt meg. 2010-ben a gázprodukciós vizsgálatokhoz 11 mintavétel történt. Ebben az évben a tenyészedény kísérleti rendszerhez hasonlóan történtek a mintavételek, azaz az első 4 mintavétel nagyjából 2 naponta történt, utána pedig 2-3 hetesre nyújtottuk a mintavételek között eltelt időt. Ettől az évtől nem csak gázprodukciót mértünk, hanem statikus kamra módszerrel gázemissziót is mértünk a vetés, valamint az azt megelőző 13. napon is, így összesen 13 alkalommal vettem talajgáz-emissziós mintát. 2011-ben szinte a duplájára emeltük a mintavételek számát, összesen tehát 22 alkalommal vettem mind produkciós, mind pedig emissziós gázmintát, de az emissziós mérés az első két alkalommal meghiúsult. A mintavételek, és így a mérések gyakorisága nagyjából heti rendszerességű volt. A kísérleti rendszer utolsó évében (2012) 17-17 alkalommal történt a mintavétel és mérés, a talajgáz-produkció, valamint a gázemisszió esetében. A mintavételek gyakorisága a mérés utolsó három alkalma kivételével heti, az utolsó három alkalommal pedig kétheti rendszerességet követett.

A mintavételekhez előre vákuumozott 12 cm^3 térfogatú mintavevő csöveket alkalmaztunk, melyek gáztömör szeptumal voltak lezárva. Törekedtem arra, hogy a mintavételek időpontjához minél közelebb legyen a mintavevő csövek vákuumozása. Az esetek többségében a vákuumcső elkészítése a mintavételt megelőző napon történt meg. A művelethez vacuubrand MZ 2B típusú 370W teljesítményű vákuumszivattyút alkalmaztam.

A mintavétel a helyszínen 10 ml-es gázcsapos Hamilton fecskendővel történt. A mintavétel alkalmával először az üres fecskendőt a környezet levegőjével kiöblítettem. A kifújás alkalmával meggyőződtem arról, hogy a fecskendő tűje nem tömődött-e el. Minden mintavétel között el kellett végezni az öblítést, és így az átjárhatóság ellenőrzését is. Ha tömődést tapasztaltam, a tűt Hamilton tűtisztító segítségével tettem ismét átjárhatóvá.

A talajoszlopok felszínéről származó gázmintákat az MTA-ATK-TAKI laboratóriumába a talajoszlopok belsejéből származó mintákat pedig a Szent István Egyetem Kémia Tanszékének laboratóriumába szállítottuk, ahol a mérés minél gyorsabban megtörtént.

4.3. A gázanalitikai rendszerek bemutatása

4.3.1. A talajlevegő elemzése a Szent István Egyetemen

A talajlevegő CO_2 és N_2O tartalmának elemzésére egy Hewlett Packard 5890 series II. típusú gázkromatográfot használtunk. A gázanalitikai rendszer Kristóf (2009) és Kampfl (2010) szerint került kialakításra. Az egyes részegységei az alábbiak:

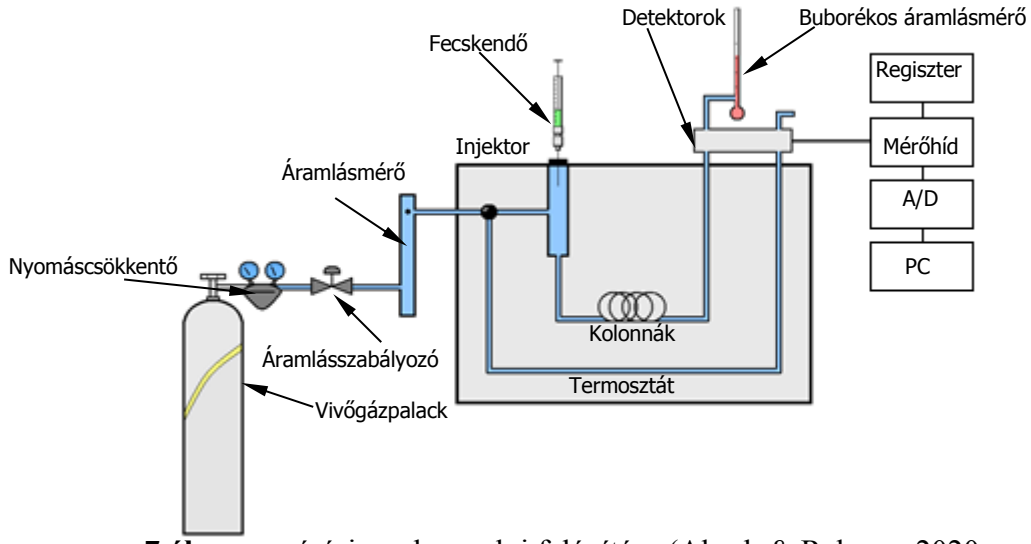
- *Injektor*: öblítéses, töltött kolonnás rendszerű (Packed Septum Purged kat. Nr.: HP 19243P), szeptummal ellátott mintabeviteli egység. Hőmérséklete izoterm 105°C. A mintákat 250 µl-es, teflondugattyús, nyomásálló szeleppel ellátott Hamilton gázfecskendővel juttattuk a vivőgázba.
- *Kolonna típusa*: Porapak Q (80/100 mesh, 6 ft, kat. Nr.: 19001A-Q00). A töltet aktív felülete porózus polimerből készült. A szemcse közepesen finom méretű (80/100 mesh), átmérője 0,15 - 0,18 mm. A rozsdamentes acélból készült oszlop belső átmérője 2,1 mm, hossza 6 láb (1,82 m). A meghatározást zavaró víz megkötése érdekében a műszerben először egy Nafion (MD-050-12S-2 típusú) vízmentesítő előtétoszlop, majd analitikai oszlopként 2 db Porapak Q oszlop van egymás után sorba kötve. Az így elért közel 4 méteres oszlophosszúság segítette elő a gázkomponensek szétválasztását. A kolonnatér hőmérséklete izoterm 30°C.

- *Detektor*: a szén-dioxid mérésére hővezető képesség mérő (TCD) univerzális detektort használtunk izoterm 150°C-on. Ez a detektor a Wheastone-híd elve alapján működik. A híd egyik ágában a tiszta vivőgáz, az ezzel párhuzamos másik csatornában pedig a mintát tartalmazó gáz áramlik (Buffington &Wilson 1991). Az áramló vivőgáz állandó hővezető képességgel rendelkezik, mely hűti az elektromos árammal hevített wolframszálat. Ha mintakomponens kerül a detektorba, annak kisebb hővezető képessége miatt a wolframszál hőmérséklete megemelkedik. Az ebből eredő ellenállás növekedéssel arányosan változik a detektált jel nagysága. Mivel a TCD nem destruktív detektor (nem roncsolja az elemzendő vegyületeket), rögtön utána van kötve a nagyságrendekkel érzékenyebb detektálási szintű elektronbefogási detektor (ECD), mellyel a dinitrogén-oxid mérését végeztük izoterm 300°C-on. Működése a kb. 500 MBq aktivitású ^{63}Ni radioaktív izotóp lágy β-sugárzásán alapul (ezt a sugárzást a detektor falát alkotó néhány mm-es acéllemez teljes mértékben elnyeli). A katódot képező ^{63}Ni fóliából emittálódó, 67 keV energiájú β-részecskék ionizálják az áramló vivőgáz atomjait. A keletkező szabad elektronok az anódon gyűlnek össze és állandó ionáramot hoznak létre. Ha a detektorba került molekulák szabad elektront fognak be, az alapáram a bevitt anyag mennyiségével és specifikus elektronaffinitásával arányosan csökken. A mért pillanatnyi áramerősség a koncentráció negatív kitevőjű exponenciális függvénye, mely összefüggés egy szűk koncentrációtartományban (10^{-2}-10^{2} µg L^{-1}) lineárisnak tekinthető.

- *Integrátor*: HP 3396 Series II. típusú, melyet HP Peak-96 szoftver vezérel. Ez az egység az elsődleges mérési adatok gyűjtésére és rögzítésére szolgál.

A mérést megelőző nap (a talajoszlopok esetében a mérés napján) beérkező gázminták lemérése úgy történt, hogy a mérés előtt már legalább 12 órával be volt kapcsolva a műszer. Ez elengedhetetlen volt az ECD detektor stabilizálódásához. Mérés előtt a két detektorhoz tartozó egy- egy számítógépen létre kellett hozni egy - egy könyvtárat az aznapi mérés dátumával. Ide történt a mérés végeztével az eredmények exportálása. A mérés kezdetén kalibrálni kellett a műszert ismert koncentrációjú (nitrogénben 2,01 V/V % CO_2-t és 5,00 ppm N_2O-t tartalmazó) kalibráló gázzal. A kalibrálás után történhetett meg a minták injektálása. Egy minta lemérése 3 perc 48 másodpercig tartott, ennyi idő kellett az N_2O oszlopról történő eluálódásához. A minták csúcsait HP 3396 Series II. integrátor nyomtatta ki. A minták lemérése után még egy kalibráció következett. A műszer érzékenysége időbeni változásának nyomon követése érdekében a minták lemérése után záró kalibrálást végeztünk. A gázkoncentrációk meghatározását a nyers mérési adatok és a kalibráció felhasználásával MS Excel táblázatokban végeztük.

Az alkalmazott mérési rendszer egyszerűsített felépítését a 7. ábra foglalja össze.



7.ábra: a mérési rendszer elvi felépítése (Akash & Rehman 2020 nyomán)

4.3.2. A felszíni CO_2, és szubsztrát indukált respiráció mérésére használt rendszer bemutatása

A talajoszlopok CO_2 emissziós, valamint szubsztrát indukált respirációs mérései a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetében történtek Szili-Kovács (2013) alapján. A minták CO_2 mérését FISONS GC8000 gázkromatográffal végeztük. Ennek során az intézetbe szállított fiolákból a gázmintát 250µl térfogatú gázmintákat gáztömör Hamilton fecskendővel (1725N) vettünk ki, és ezt követően rögtön a készülékbe injektáltuk.

A gázkromatográfiás mérés részletei:

Alkalmazott gáznyomások: hidrogén, 90kPa, levegő 80kPa, nitrogén makeup gáz: 110kPa, termosztát hőmérséklete 80°C, izoterm, injektor:120°C, detektor:150°C;

A CO_2 mérése metánná redukálva történt, lángionizációs detektor (FID) használatával. A gázminta komponenseit az injektálást követően egy Porapak Q oszlopon különítette el egymástól, így tehát az esetlegesen eredetileg is a mintában lévő CO, CH_4 elkülönült a CO_2-tól. A Porapak Q oszlop után a minta egy 330 °C-ra felfűtött külső metanizátor kamrába került, ahol fémnikkellel töltött oszlopon hidrogén gázáramban redukálódott a CO_2 metánná. Erre azért volt szükség, mert a lángionizációs detektor a CO_2-re nem érzékeny (Budiman & Zuas 2017), viszont a szerves vegyületeket általában nagy érzékenységgel képes detektálni (Kristóf 2000).

4.3.3. Szubsztrát indukált respiráció (SIR) mérése

A talajmintákban jelenlévő mikroorganizmusok biomasszájának meghatározására szubsztrát indukált respirációs (SIR) méréseket végeztünk. Az egyes mintákat egy hétig vákuumekszikkátorban, műanyag bemérőtálcán parafilmmel letakarva, szobahőmérsékleten tároltuk. Az ekszikkátor aljába 100 cm^3-es főzőpoharakban vizet és egy másik főzőpohárba kis mennyiségű (átlyuggatott parafilmmel lefedve) szódameszet helyeztünk indikátorral a nedvesség megőrzéséhez, illetve a keletkezett CO_2 elnyeletéséhez. Erre az előinkubációra azért volt szükség, hogy a talaj jó közelítéssel stacioner állapotba kerüljön. Egy hét elteltével az egyes mintákból 4 párhuzamos mérést végezve 2,00 g-ot 27 cm^3-es üvegcsövekbe (Headspace vial Shimadzu, 30x60mm, kat. no.: 27298, Sigma-Aldrich) mértünk ki, majd Parafilmmel letakartuk azokat. Az egyes talajmintákra 200 µl 80 g L^{-1} D-glükózoldatot adagoltunk (Eppendorf Research pipettor) 3-percenként, majd 20 perc elteltével ventilátor segítségével az üvegedényeket átlevegőztettük és butilgumiszeptummal lezártuk. 3 óra inkubáció után vettünk gázmintákat a méréshez. Mivel a gázkromatográfiás mérési idő is 3 perc volt, így tudtuk biztosítani az azonos inkubációs időket. A mintákat a szeptummal történő lezárás után rázóvízfürdőben 25°C-on 60 RPM sebességgel inkubáltuk.

Ezt követően gázkromatográf segítségével mértük meg az egyes üvegedényekben keletkezett CO_2 mennyiségét. A CO_2 mennyiségi meghatározásához 1000 ppm koncentrációjú standard CO_2 gázt használtunk. A mérés során kapott CO_2 csúcsok görbe alatti területének az integrációjával történt a mennyiségi meghatározás, Clarity szoftver segítségével. A szubsztrát indukált respiráció mérési eredményét µg CO_2-C g^{-1} talaj $óra^{-1}$ egységben adtunk meg. Ez később átszámítható mikrobiális biomassza értékre.

4.4. A fluoreszcein-diacetát (FDA) hidrolízisének mérése

A keszthelyi talajminták mikrobiális aktivitásának vizsgálatát Villányi (2009) alapján végeztem. A vizsgálat során először talajszuszpenziót készítettem úgy, hogy 1,00 g légszáraz talajhoz 15 ml 7,6-os pH-jú puffer oldatot adtam. (A puffer oldatot aznap frissen készítettem el oly módon, hogy 8,70 g dikálium–hidrogén–foszfátot (K_2HPO_4) és 1,30 g kálium–dihidrogén–foszfátból oldás, és homogenizálás után 1 liternyi oldatot készítettem. A talajmintákat ezután 240 fordulat/perc sebességgel 2 órán keresztül rázattam. Mivel több száz mintát kellett lemérni, ezért a vizsgálat menetének megtervezésekor komoly problémába ütköztem. A rendelkezésemre álló Yellowe line OS 5 Basic típusú rázógép gyári rázótálcája nagyon kicsi volt: mindössze 9-10 lombik fért el rajta, nekem azonban elengedhetetlen volt, hogy legalább 33 lombik párhuzamos rázatását meg tudjam valósítani. Ezért kisipari módszerekkel legyártottam a rázógéppel kompatibilis alumínium-magnézium rázótálcát, amelyre már felfért több mint 33 lombik. A választásom azért esett erre a fémre, mert fontos szempont volt, hogy az új rázótálca tömege ne haladja meg az eredeti rázótálca tömegét, mivel máskülönben csökkent volna a gép hasznos terhelhetősége. További fontos szempont volt, hogy az új tálca alaktartó legyen, ennek a magnéziummal ötvözött alumínium lemez kiválóan megfelelt. A rázótálca műszaki rajzát és fényképeit az M3 melléklet tartalmazza.

A két óra rázatás után acetonban oldott FDA reagenst adtam a szuszpenziókhoz, amit megint két óra rázatás követett. Ezután a mintákat MN 619 G ¼ típusú redős szűrőpapíron leszűrtem. Az egyes szűrletek a különböző mértékű mikrobiális tevékenységek miatt egymástól eltérő intenzitású élénksárga (zöldes) színt mutattak. A színintenzitás egyenesen arányos a fluoreszcein koncentrációjával (Schnürer & Rosswall 1982). Az oldatokat abszorbanciáját a vakkal szemben 490 nm hullámhosszon mértem Jenway 6105 UV/VIS típusú spektrofotométer segítségével. A vizsgálat végén 2 mg mL^{-1} FDA törzsoldatból 0,5; 1; 2; 3; 4; 5 μg mL^{-1} koncentrációjú tagokból álló kalibráló sorozatot készítettem. A 2 órás rázatás eredményeként kapott fluoreszcein mennyiségét (μg-ban) 1 g talajmintára vonatkoztatva adtam meg, melynek nedvességtartalmát figyelembe vettem a meghatározásnál.

A talajoszlop kísérleti rendszerből származó talajminták esetében is ilyen módon történt a meghatározás.

4.5. Statisztikai értékelés

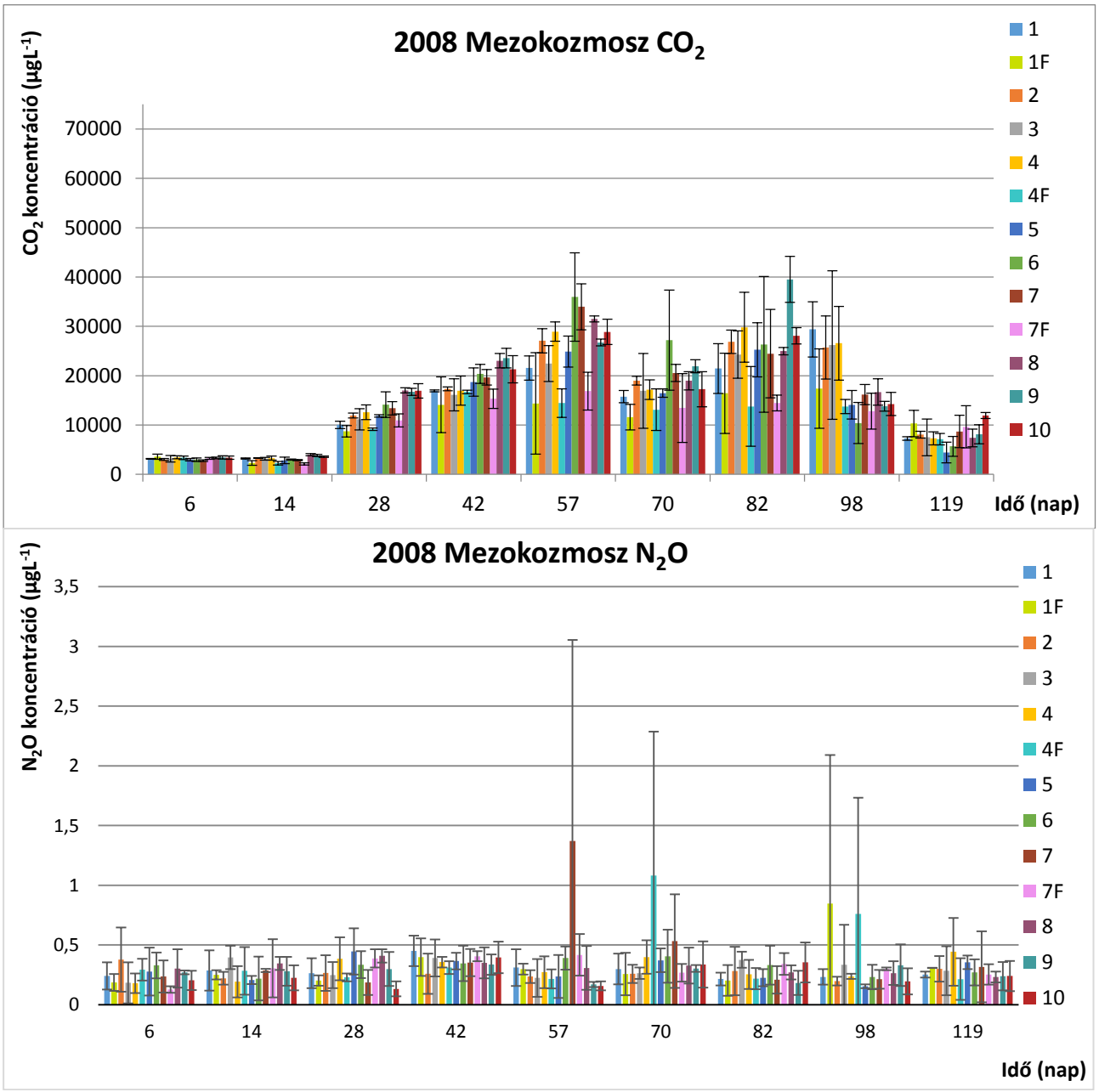
A statisztikai értékelést a Statistical Product and Service Solutiond (SPSS) 9 és ugyanezen program 16-os verziójával végeztük. A különböző tényezők hatásait Tukey-féle posthoc teszttel kiegészített varianciaanalízissel, a változók közötti összefüggések szorosságát Spearman-féle rank-korrelációval határoztuk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

5. Eredmények bemutatása

Az alábbi fejezetben bemutatom a szén-dioxid és dinitrogén-oxid koncentrációjának időbeni változását a talajban elhelyezett gázcsapdákban, előbb tenyészedény, majd talajoszlop kísérleti rendszerben, valamint a fejezet végén a felszíni szén-dioxid emissziót a talajoszlop kísérleti rendszerben.

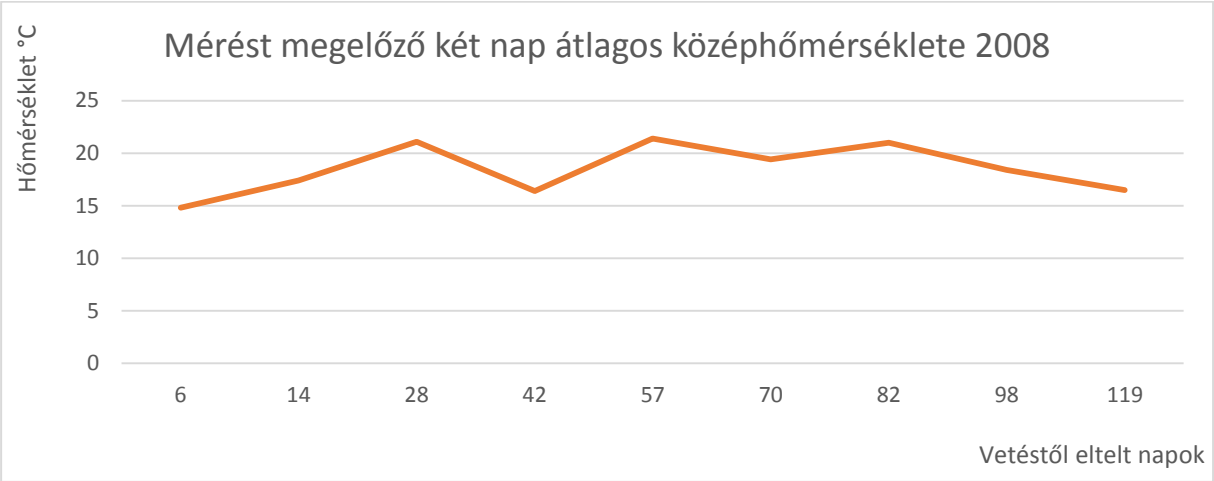
5.1. A CO_2 és N_2O produkció a tenyészedény kísérleti rendszerben

2008-ban a kísérlet első évében összesen 10 kezelést alkalmaztunk, az „F" jelű kezelések felszíni gázcsapdából történő gázmintavételt jelölnek. Az eredmények a 8. ábrán láthatóak.



8 ábra: a mezokozmosz kísérleti rendszerben mért CO_2 és N_2O koncentrációkról 2008-ban. A kezelések jelölése a 4. táblázatban látható

Az üvegházban rögzítettük az üvegház léghőmérsékletét, melynek átlagolt eredményei a 9. ábrán láthatóak.



9 ábra: az üvegházban mért átlaghőmérsékletek, 2008

A **2008**-as tenyészidőszak folyamán a tenyészedényekben és azok felszínén elhelyezett (F-el jelölt) gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével. A kezelések közötti különbségek összehasonlító táblázatát a 6. számú táblázat mutatja. A növekvő sorrendbe rendezett kezelések szerinti koncentrációk között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel, illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl. A kezelések jelölését a 4. táblázat mutatja.

6. táblázat: a 2008. évi tenyészedény kísérletben a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei.

2008	CO_2	N_2O
6. nap	7<6<5<2<3<1<7F<4F<9<10<8<4<1F	7F<4F<1<9<10<3<7<1F<4<2<8<5<6
14.nap	7F<4F<1F<5<7<6<3<1<4<2<10<9<8	6<10<9<8<4<7<1F<2<1<3<4F<5<7F
28. nap	1F<4F<1<7F<3<2<5<4<7<6<9<10<8	1F<7<1<10<4<4F<3<7F<2<9<6<5<8
42. nap	1F<7F<3<4F<4<1<2<5<7<6<10<8<9	2<7F<10<4F<1<5<6<3<1F<9<8<4<7
57. nap	4F<1F<7F<<3<1<9<5<2<4<10<8<7<6	3<9<1<10<5<2<1F<4F<4<8<7F<6<<7
70. nap	1F<4F<7F<1<5<4<3<10<2<8<7<9<<6	2<1F<9<7F<8<7<1<3<6<10<4<5<<4F

82. nap	4F<7F<1F<<1<3<8<7<5<6<2<10<4<<9	1<5<4<4F<2<1F<7<9<3<8<6<10<7F
98. nap	6<9<5<10<4F<7F<7<8<1F<<4<2<3<1	8<5<6<7<9<2<3<10<7F<1<4F<1F<<4
119. nap	5<6<4F<8<1<4<3<2<9<7<7F<1F<10	8<9<6<4F<7F<2<4<5<10<1F<7<3<1

A tenyészedényes vizsgálatnál az eredmények áttekinthetősége érdekében a kezelések gázprodukcióra gyakorolt hatását szerves trágyás, műtrágyás, valamint kombinált kezelési csoportba soroltam 2008-2010-ig. Az így csoportosított eredmények az M4 mellékletben találhatóak meg.

A **2008-as** eredményeket tekintve ezen a vizsgálati szinten valamennyi kezelési típus esetében elmondható, hogy a CO_2 tekintetében néhány kivételtől eltekintve, az N_2O tekintetében pedig az eredmények közel kétharmadában a felszíni gázcsapdákban mért gázkoncentráció csekélyebb volt a talajban elhelyezett csapdákban mértekhez képest.

A **szerves trágyával** kezelt tenyészedények a CO_2 koncentrációk tekintetében hasonló görbekarakterisztikával rendelkeznek. Az eredmények kettős csúcsot mutatnak az 57. illetve a 82-98. nap esetében. A legnagyobb gázkoncentráció a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyás kezelésben részesített) mezokozmosz esetén volt mérhető a 82. napon (29823 μg L^{-1}).

Az N_2O tekintetében az eredmények nem mutatnak kiugró értékeket. Valamennyi istállótrágyás kezelés értéke 0,18 és 0,44 μg L^{-1} közötti értéket mutat. A legmagasabb gázkoncentráció az utolsó mérés alkalmával (119. napon) volt tapasztalható, szintén a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyás) mezokozmosz esetében.

A tisztán **műtrágyával** kezelt minták esetében a CO_2 gázkoncentrációk tekintetében az értékek helyi maximumot mutatnak; valamennyi kezelés esetében a vetéstől számított 57. napon. A legnagyobb gázkoncentráció a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyának megfelelő NPK műtrágyás) kezelés esetében volt tapasztalható (35961 μg L^{-1})

Az N_2O tekintetében egy mérési eredmény mutat csúcsot a további mérési eredményekhez képest, az 57. napon a 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyának megfelelő NPK műtrágya) kezelés esetében (1,37 μg L^{-1}).

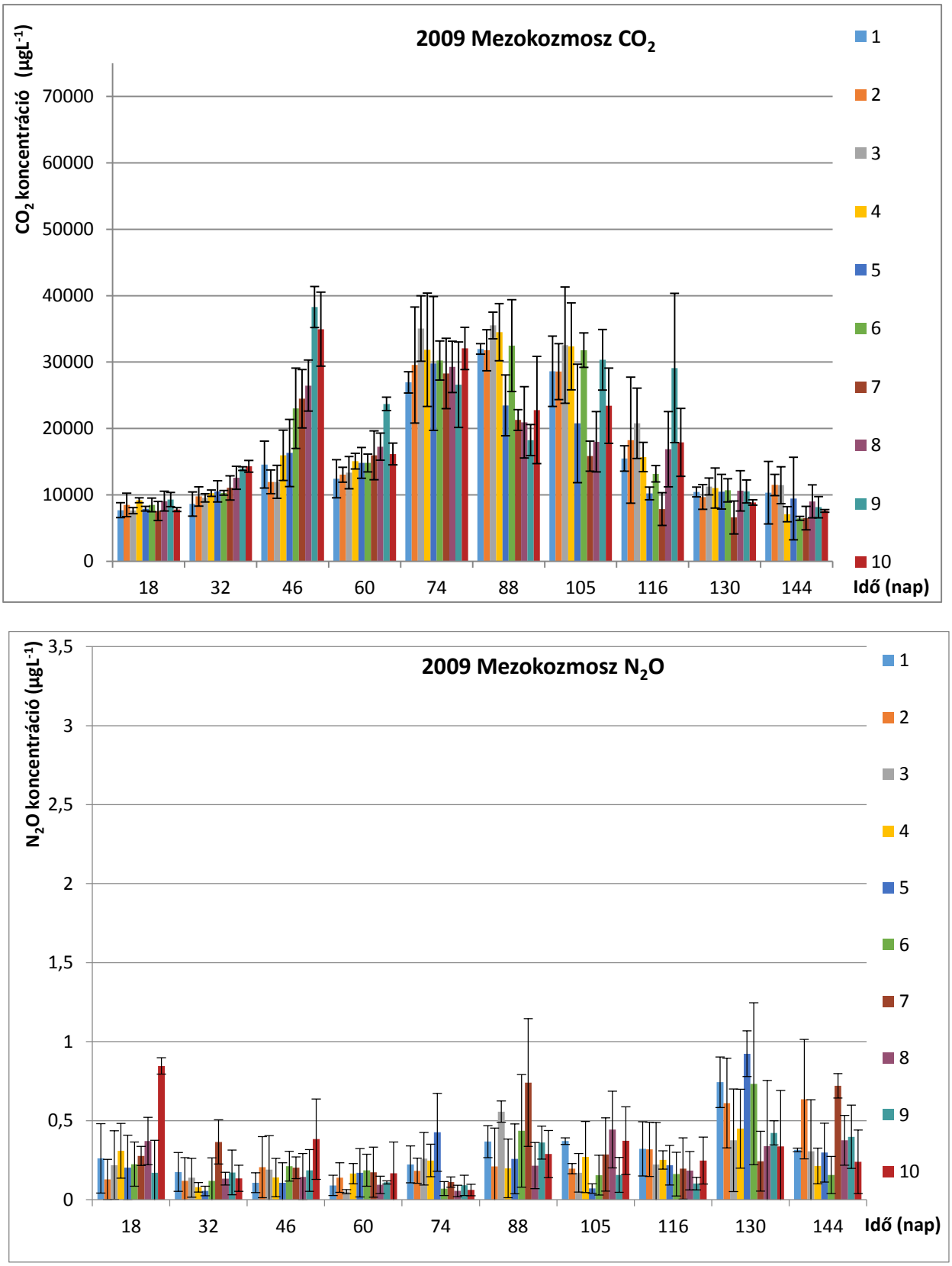
A **kombinált** kezelések közül a legmagasabb CO_2 koncentrációs érték a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK és további NPK műtrágyás) kezelésnél volt észlelhető a vetéstől számított 82. napon (39517 μg L^{-1}).

N_2O esetében az eredmények nem mutatnak szignifikáns eltérést egymáshoz képest, az értékek 0,16 és 0,41 μgL^{-1} között változnak.

Az összes kezelést figyelembe véve a legmagasabb CO_2 koncentrációt a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK és további NPK műtrágyás) kezelés produkálta a vetéstől számított 82. napon (39517 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb CO_2 produktumot a vetéstől számított 14. napon a 7F. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágya felszíni gázcsapdás) kezelés esetében tapasztaltam (2129 µg L^{-1} értékben). N_2O tekintetében a legmagasabb koncentrációt az 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelésben részesített mintáknál tapasztaltam a vetéstől számított 57. napon (1,37 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb N_2O produktum a vetéstől számított 6. napon ugyanezen kezelés felszíni gázcsapdával felszerelt tenyészedényében volt mérhető (0,13 µg L^{-1} értékben).

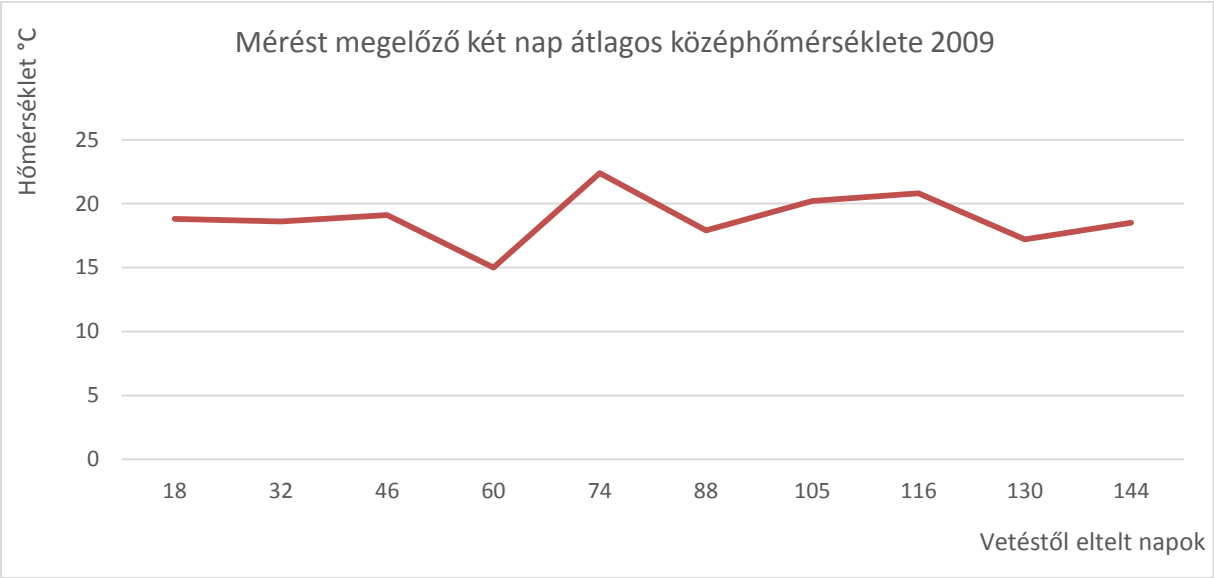
A felszíni gázcsapdákban mért gázkoncentrációk, mind a CO_2 és a N_2O tekintetében a legtöbb esetben alacsonyabbak voltak, a talajban elhelyezettekhez képest.

2009-ben folyatattuk a gázmintavételt, felszíni gázcsapdák alkalmazása nélkül, hosszabb tenyészidőt követve. Az eredményeket a 10. ábrán mutatom be.



10 ábra: a mezokozmosz kísérleti rendszerben mért CO_2 és N_2O koncentrációk 2009-ben. A kezelések jelölése a 4. táblázatban látható.

Az üvegházban 2009-ben is rögzítettük az üvegház léghőmérsékletét, melynek átlagolt eredménye a 11. ábrán látható.



11. ábra: az üvegházban mért átlaghőmérséklet, 2009

A **2009**-es tenyészidőszak folyamán a tenyészedényekben elhelyezett gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével. A kezelések közötti különbségek összehasonlító táblázatát a 7. táblázat mutatja. A növekvő sorrendbe rendezett kezelések szerinti koncentrációk között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel, illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl. A kezelések jelölését a 4. táblázat mutatja.

7. táblázat: a 2009. évi tenyészedény kísérletben a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei.

2009	CO_2	N_2O
18. nap	7<3<1<10<5<6<2<8<4<9	2<9<5<3<6<1<4<7<8<10
32. nap	1<3<2<4<6<5<7<8<9<10	5<2<6<8<3<10<4<9<1<7
46. nap	2<3<1<4<5<<6<7<8<<10<9	5<4<1<9<3<2<6<8<10<7
60. nap	1<2<3<6<5<4<7<10<8<<9	3<1<8<9<2<4<10<6<7<5
74. nap	9<1<7<8<2<5<6<4<10<3	10<6<8<7<9<1<2<3<4<5
88. nap	9<8<7<10<5<<2<1<6<4<3	8<2<1<5<10<9<6<3<7<4

105. nap	7<8<5<10<<2<1<9<6<4<3	5<9<3<6<2<4<7<1<10<8
116. nap	7<5<6<1<4<8<10<2<3<<9	9<6<5<7<8<10<4<1<2<3
130. nap	7<10<2<1<5<9<8<6<4<3	7<3<8<10<9<4<2<6<1<5
144. nap	6<7<4<10<9<8<5<1<3<2	6<4<10<5<8<9<2<3<7<<1

A 2009-ben végzett **tenyészedény** vizsgálati szinten megállapítható, hogy CO_2 tekintetében a csupán **szerves trágyával** kezelt mezokozmoszok mindhárom istállótrágya mennyiség esetében hasonló görbekarakterisztikát mutatnak. A vetéstől számított 60. napig valamennyi kezelt minta CO_2 koncentrációja alacsony értéken maradt. A 60. naptól az összes kezelés esetében intenzív gázfejlődési szakasz figyelhető meg. A legmagasabb koncentrációt a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) kezelés esetében a vetéstől számított 74. napon figyeltem meg (35048 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb koncentrációt (7098 µg L^{-1}) a vetéstől számított 144. napon mértem a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyát kapott) kezelésnél. Jellemzően a legalacsonyabb koncentrációkat –bár nem jelentős mértékben– az 1. számú (kontroll) mintánál észleltem, a legmagasabbakat pedig a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) kezelésnél figyeltem meg. N_2O esetében a legnagyobb koncentrációt (0,64 µg L^{-1}) a vetéstől számított 144. napon, a 2. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával kezelt) talajmintánál tapasztaltam, bár ez az eredmény csupán 0,1 µg L^{-1}-rel marad el a 130. napon mért 1. számú (kontroll) minták eredményétől. A legalacsonyabb értéket a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) kezelésnél mértem a vetést követő 60. napon 0,05 µg L^{-1} értékben. A vetéstől számított 74. napig az egyes kezelések görbéi egy szűk (0,05-0,35 µg L^{-1}) koncentráció sávban együtt maradnak, majd szétválnak. Érdekes, hogy a 88. napon a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágya) kezelésben részesített mezokozmosz gázkoncentrációja (0,56 µg L^{-1}) eléggé magas, de a következő mérés alkalmával (105. nap) már ugyanezen minta gázkoncentrációja a legcsekélyebb (0,17 µg L^{-1}).

A tisztán **műtrágya** kezelésben részesült minták közül a legnagyobb CO_2 koncentrációt a 105. napon, a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyát kapott) kezelésnél mértem (31795 µg L^{-1} értékben). A legkisebbet a 144. napon, a 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyát kapott) kezelésnél mértem (6506 µg L^{-1} értékben). Általában a legnagyobb CO_2 koncentrációkat a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelés mutatta. A vetéstől számított 74. napig az 1. számú (kontroll) kezelés talajmintái mutatták a legalacsonyabb gázkoncentrációt, a 74. naptól viszont a 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágya) kezelésben részesített talajminták. Ezen minták N_2O koncentrációi 0,07 és 0,92 µg L^{-1} közötti értékeket mutatnak. A legmagasabb eredményt (0,92 µg L^{-1}) a vetéstől számított 130. napon az 5. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK

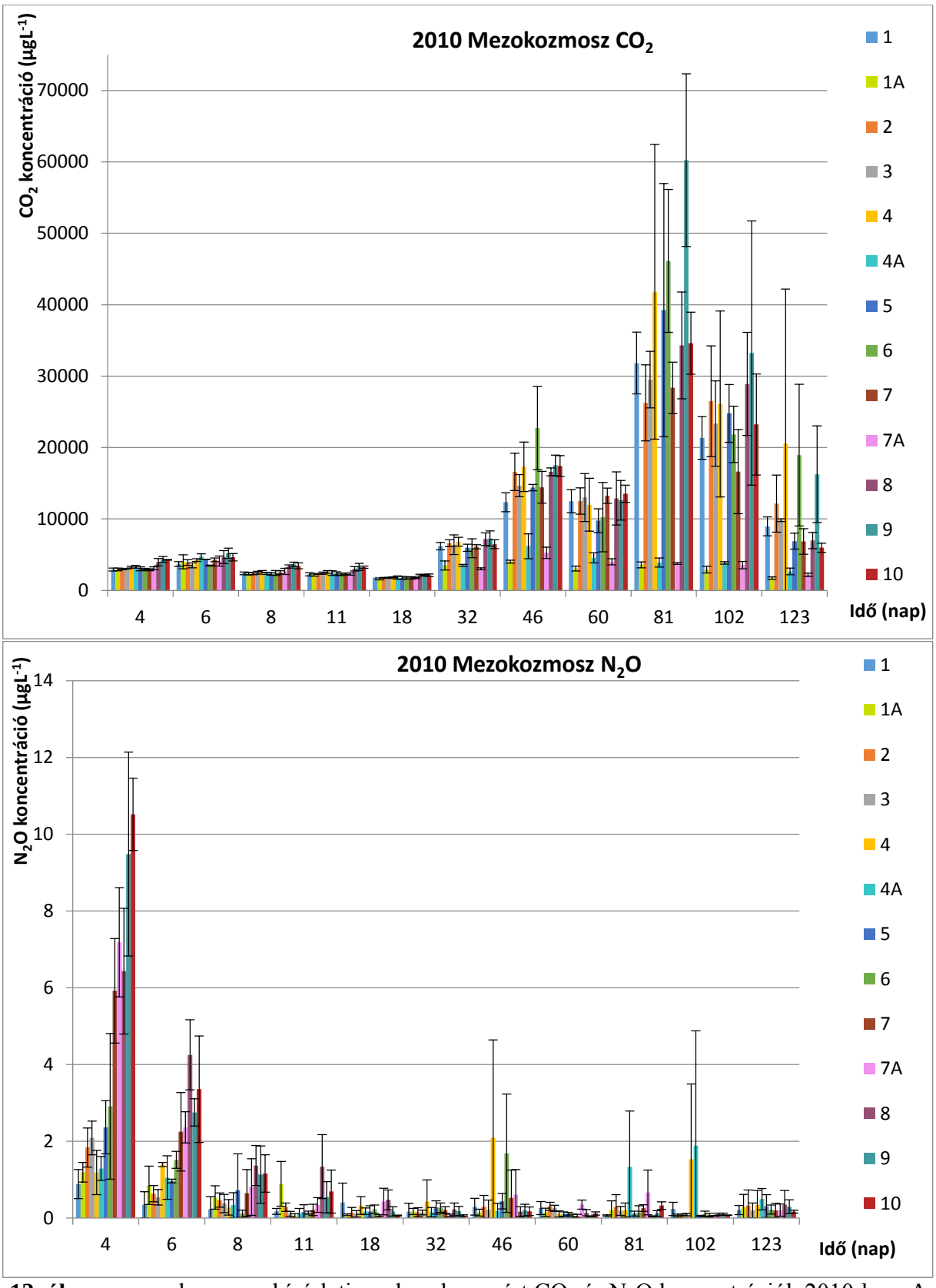
műtrágyás) kezelésben részesített mintáknál mértem. A legalacsonyabbat (0,07 μg L^{-1}) az ugyanebben a kezelésben részesített mezokozmoszok produkálták a vetéstől számított 105. napon, de szintén ilyen alacsony eredményt mértem a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyát kapott) mezokozmoszok esetében is a 74. napon. Általánosságban elmondható, hogy a legmagasabb koncentrációkat a 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyával kezelt) kezelés érte el, a legalacsonyabbakat pedig az 5. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelés.

A **kombinált** kezelések közül a legmagasabb CO_2 koncentrációs értéket (38302 μg L^{-1}) a vetéstől számított 46. napon a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK és további NPK műtrágyát is kapott) kezelésnél észleltem. A legalacsonyabbat a 144. napon, a 10. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK és további NPK műtrágyát, valamint szalmaszár alászántást is kapott) kezelésnél mértem (7608 μg L^{-1} értékben).

N_2O esetén a legmagasabb gázkoncentrációt (0,58 μg L^{-1}) a vetéstől számított 18. napon mértem a 10. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK és további NPK műtrágyát, valamint szalmaszár alászántást is kapott) kezelésnél. A legalacsonyabb értéket (0,06 μg L^{-1}) szintén ennél a kezelésnél, a 74. napon mértem, de produkált még ilyen alacsony eredményt a 8. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával és NPK műtrágya hozzáadásával is kezelt) talajminta, szintén a vetéstől számított 74. napon.

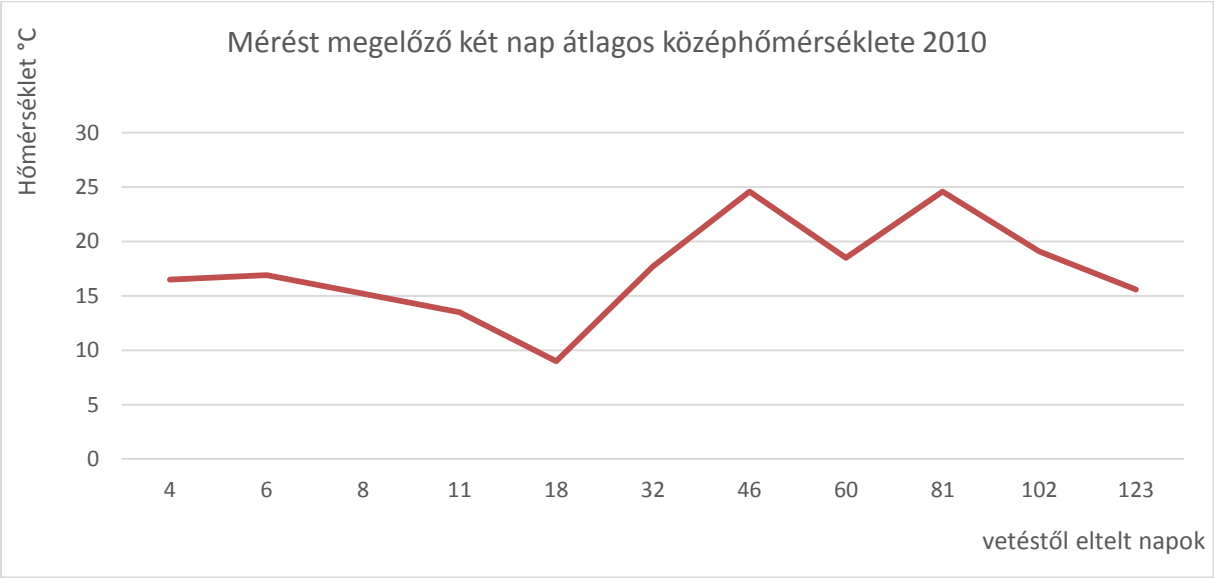
Az összes kezelést figyelembe véve a legmagasabb CO_2 koncentrációt a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK és további NPK műtrágyát is kapott) kezelés produkálta a vetéstől számított 46. napon (38302 μg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb CO_2 produktumot a vetéstől számított 144. napon a 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágya) kezelés esetében tapasztaltam (6506 μg L^{-1} értékben). N_2O tekintetében a legmagasabb koncentrációt az 5. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyával kezelt) kezelésben részesített mintáknál mértem a vetéstől számított 130. napon (0,92 μg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb N_2O produktumot a vetéstől számított 60. napon a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) kezelésnél tapasztaltam (0,05 μg L^{-1} értékben).

2010-ben, a tenyészedény kísérleti rendszer utolsó évében, összesen 13 edénytípust alakítottunk ki. Az „A” jelű kezelések növény nélküli tenyészedényt jelölnek. Az eredményeket a 12. ábra mutatja be.



12. ábra: a mezokozmosz kísérleti rendszerben mért CO_2 és N_2O koncentrációk 2010-ben. A kezelések jelölését a 4. táblázat mutatja be

Az üvegházban ebben az évben is rögzítettük az üvegház léghőmérsékletét melynek átlagolt eredménye a 13. ábrán látható.



13. ábra: az üvegházban mért átlaghőmérsékletek, 2010

A **2010**-es tenyészidőszak folyamán a tenyészedényekben elhelyezett gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével. A kezelések közötti különbségek összehasonlító táblázatát a 8. táblázat mutatja be. A növekvő sorrendbe rendezett kezelések szerinti koncentrációk között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel, illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl. A kezelések jelölését a 4. táblázat mutatja.

8. táblázat: a 2009. évi tenyészedény kísérletben a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei.

2010	CO_2	N_2O
4. nap	7<1<1A<2<6<5<3<7A<4<4A<8<10<9	1<1A<4<4A<2<3<5<<6<<7<8<<7A<<9<<10
6. nap	6<3<1<2<1A<7A<4<7<5<10<8<4A<9	1<3<2<1A<5<4A<4<6<<7<7A<9<10<<8
8. nap	1A<5<2<4A<1<6<3<7<4<7A<8<10<9	6<1<4<4A<3<2<1A<7<5<7A<10<9<8
11. nap	1A<6<1<7A<7<2<5<3<4A<4<8<10<9	4<3<4A<6<5<1<7<2<7A<9<10<1A<8
18. nap	1A<7A<1<6<3<5<7<2<4A<4<10<8<9	7<10<1A<3<5<9<2<4A<6<4<7A<1<8
32. nap	7A<1A<4A<6<5<7<1<3<10<2<4<8<9	10<7A<2<1<1A<3<4A<9<7<8<6<5<4

46. nap	1A<7A<4A<<1<5<7<3<2<8<4<10<9<<6	1A<10<4A<9<8<3<1<2<5<7<7A<<6<4
60. nap	1A<7A<4A<<5<6<4<1<2<9<8<3<7<10	9<7<6<4A<5<10<8<4<1A<3<1<2<7A
81. nap	1A<7A<4A<<2<7<3<1<8<10<5<4<<6<9	8<1<5<9<6<3<1A<4<7<2<10<7A<<4A
102. nap	1A<7A<4A<<7<<1<6<10<3<5<4<2<8<<9	5<7A<1A<10<7<2<3<9<8<6<1<<4<4A
123. nap	1A<7A<4A<10<7<5<8<1<3<2<<9<6<4	10<7<3<7A<1<6<1A<9<5<8<2<4<4A

A 2010-es a tenyészedény kísérleti rendszer eredményeiről N_2O tekintetében elmondható, hogy összehasonlítva a növényt tartalmazó, illetve a növény nélküli mezokozmoszok, a növényt nem tartalmazó mezokozmosz néhány kivételtől eltekintve nagyobb gázkoncentrációt produkáltak, mint a növényt tartalmazóak. CO_2 tekintetében ennek fordítottja valósult meg, bár ez igazán a mérési időszak közepétől, a vetést követő 32. naptól figyelhető meg, innentől a különbség általában egy nagyságrendű.

A szerves trágyával kezelt mezokozmoszok CO_2 tekintetében a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával kezelt) kísérleti összeállításban mutatták a legnagyobb gázkoncentrációt (41822 µg L^{-1} értékben,) a vetéstől számított 81. napon. A legcsekélyebb koncentrációt a vetéstől számított 18. napon a 3. számú (70 tha^{-1} istállótrágyával kezelt) mezokozmosz esetében (1751 µg L^{-1} értékben) tapasztaltam, bár ezen a mérési napon az istállótrágyával kezelt mezokozmoszok gázkoncentrációi nem tértek el 60 µg L^{-1}-nél jobban egymástól.

N_2O esetén a legnagyobb gázkoncentrációt a vetéstől számított 4. napon mértem a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyás) kezelés esetén (2,09 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb értéket a vetéstől számított 11. napon tapasztaltam a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyás) kezelés esetében (0,06 µg L^{-1}).

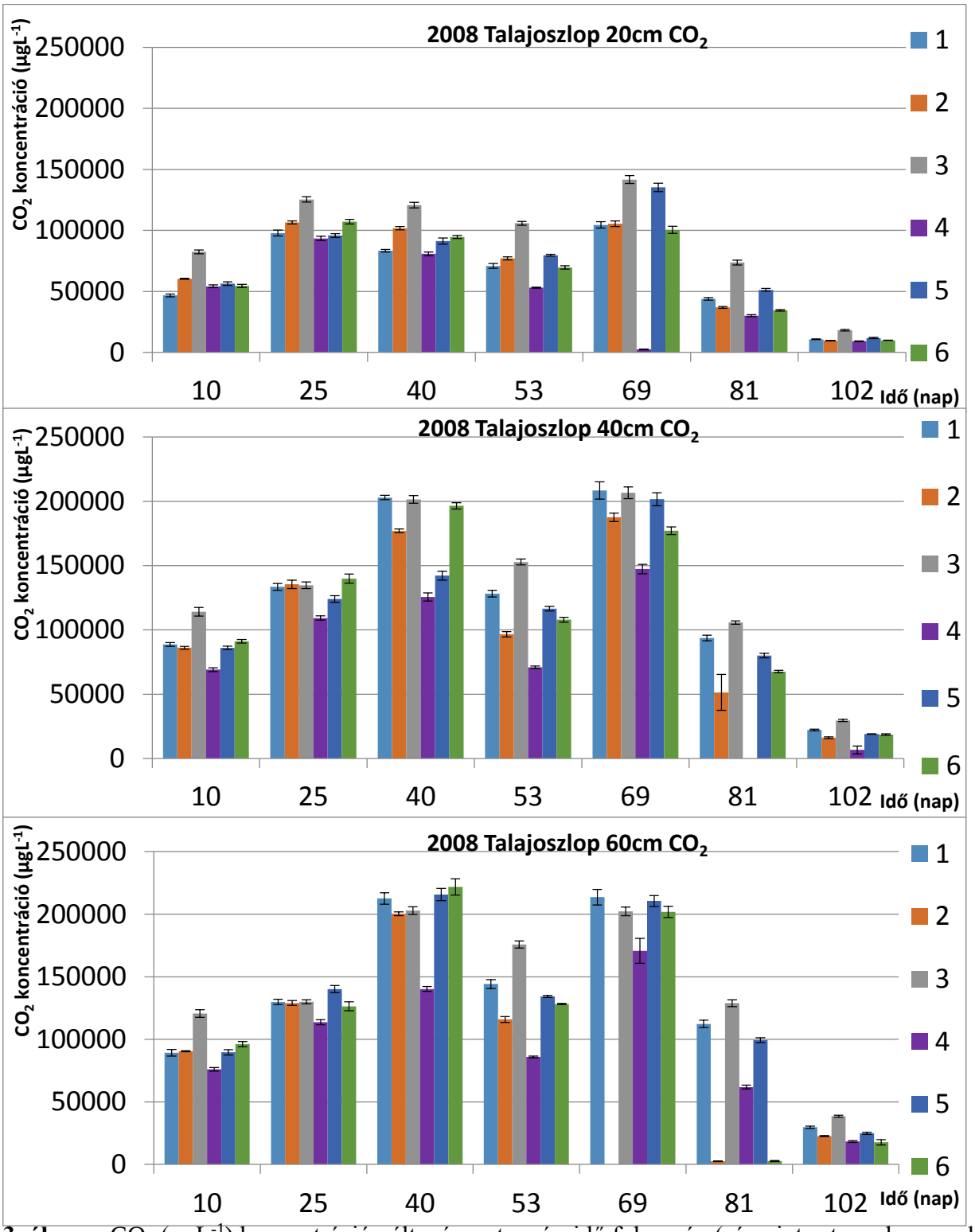
A **tisztán NPK** kezelések esetén a legmagasabb CO_2 koncentrációt a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelésben részesített mezokozmosz mutatta a vetéstől számított 81. napon (46130 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb koncentrációt (csakúgy mint az istállótrágyás kezelés esetében) a vetéstől számított 18. napon mértem a szintén a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK) kezelés esetében (1724 µg L^{-1}), de itt is elmondható, hogy a különbség az egyes kezelések között igen csekély, mindössze 60 µg L^{-1}. N_2O esetében a legmagasabb és legalacsonyabb gázkoncentrációt a 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelésben részesített mezokozmosznál tapasztaltam a vetéstől számított 4. (5,92 µg L^{-1}), illetve a 60. (0,05 µg L^{-1}) napon.

A **kombinált** kezelések esetén a legnagyobb CO_2 koncentrációt a vetéstől számított 81. napon a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK, valamint további NPK műtrágyát kapott) kezelés esetében tapasztaltam (60241 µg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb CO_2 koncentrációt pedig a vetéstől számított 18. napon mértem, ekkor valamennyi kezelés 2113 µg L^{-1} és 2162 µg L^{-1} közötti értéket mutatott. N_2O tekintetében ennél a kezelési csoportnál mértem a legnagyobb gázkoncentrációt: a vetéstől számított 4. napon a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK, valamint további NPK műtrágyát kapott) kezelés esetében 10,52 µg L^{-1} mértem. A legcsekélyebb N_2O koncentrációt szintén ennél a kezelés esetén tapasztaltam (0,04 µg L^{-1} értékben) a vetéstől számított 60. napon.

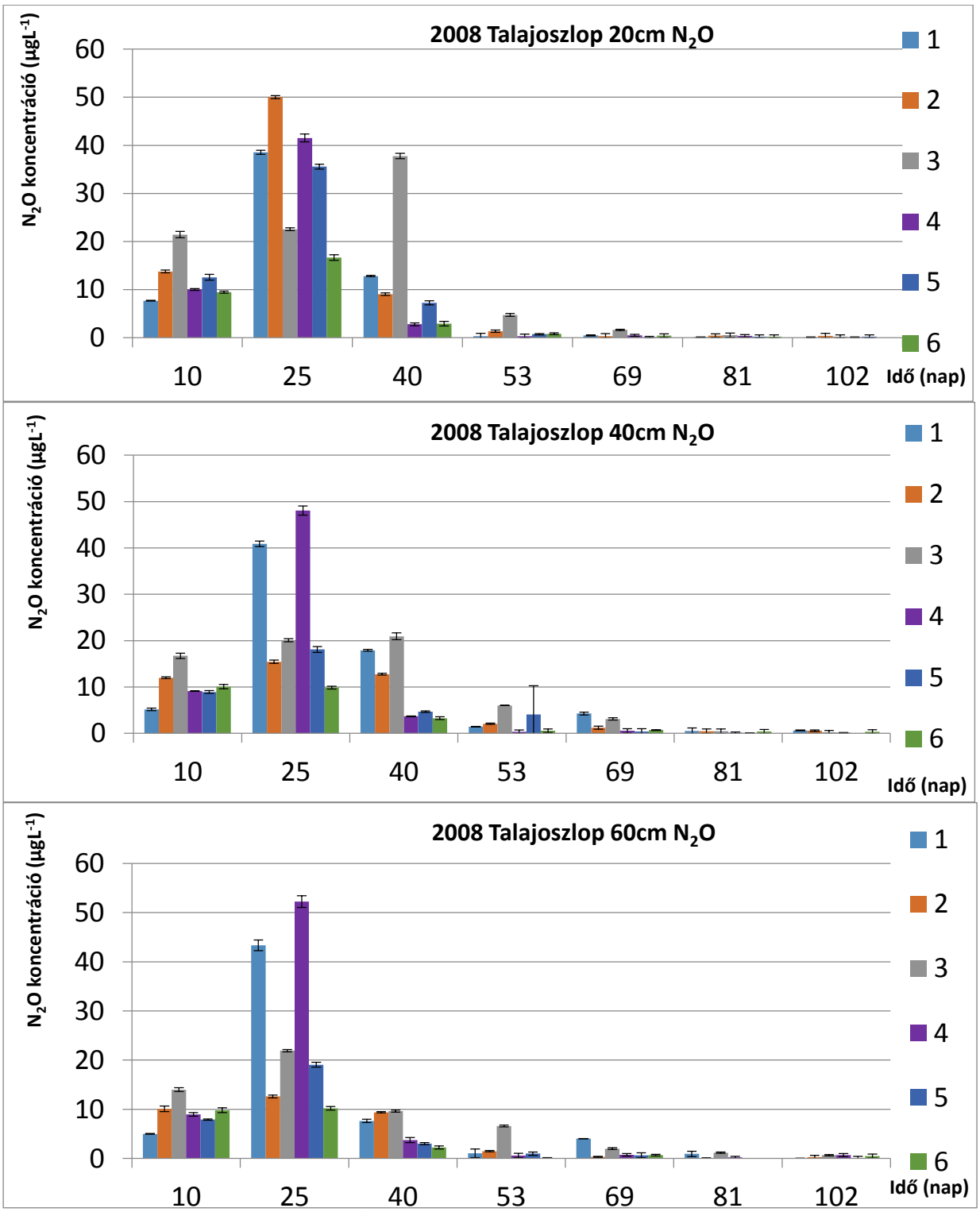
Valamennyi kezelést figyelembe véve megfigyelhető, hogy az N_2O tekintetében a koncentráció a vetést követő napokban rohamosan csökken, míg a CO_2 esetén a mérési ciklus második felében tapasztalni magasabb koncentrációkat.

5.2. A CO_2 és N_2O produkció a talajoszlop kísérleti rendszerben 2008-2009

2008-ban nem alkalmaztunk eltérő kezeléseket a talajoszlopokon, így vetésre sem került sor. Ezt az évet a talajoszlopok kondícionálására használtuk. A talajoszlopok három különböző talajmélységben (20, 40, illetve 60 centiméter) mért CO_2 és N_2O gázkoncentrációit az alábbi 13. és a 14. ábrán ábrázoltam. A függőleges tengelyen a mért koncentrációt µg L^{-1}-ben, a vízszintes tengelyen a kísérlet inditásától eltelt napok számát ábrázoltam.

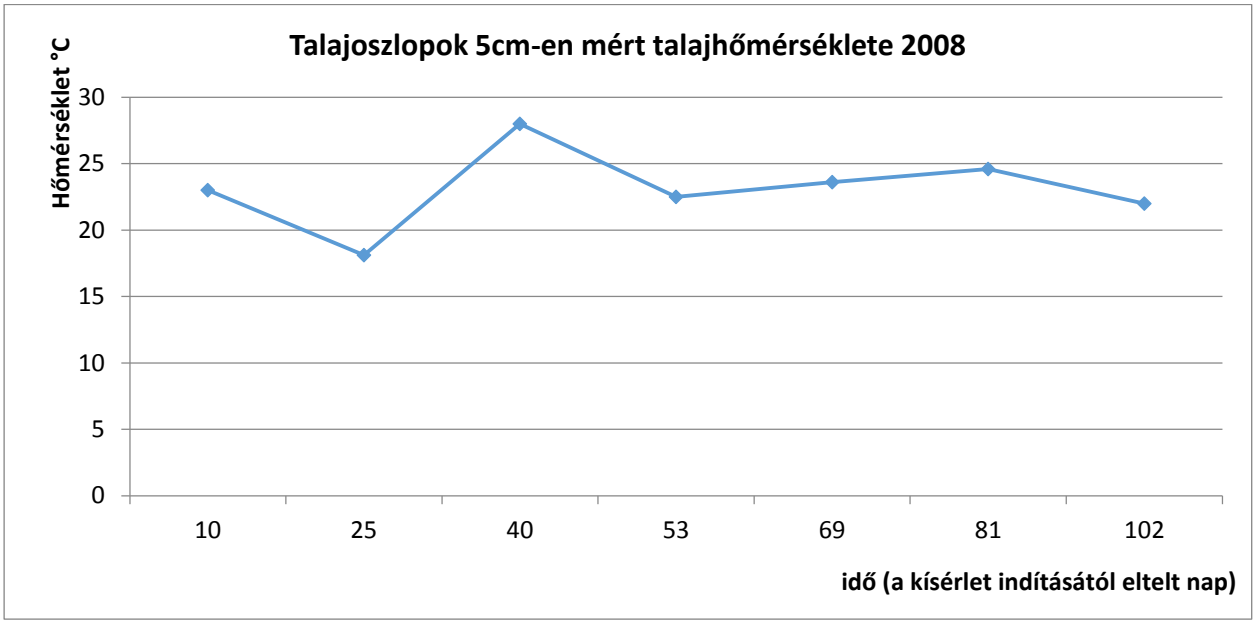


13. ábra: a CO_2 (μgL^{-1}) koncentráció változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a kísérlet indításától) 20 cm, 40 cm és 60 cm mélységben bolygatatlan talajoszlopban 2008. évben.



14. ábra: N_2O koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a kísérlet indításától) 20 cm, 40 cm és 60 cm mélységben a bolygatatlan talajoszlopban 2008. évben

A talajoszlopok 5 cm-es mélységében mért talajhőmérsékleteket a 15. ábra mutatja be.



15. ábra: A talajoszlopok 5 cm-es mélységében mért hőmérsékletek, 2008

A **2008**-as tenyészidőszak folyamán a bolygatatlan talajoszlopokban elhelyezett gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével. A varianciaanalízis eredményét a 9 táblázat foglalja össze. A táblázat bal oldalán az egyes oszlopok közötti különbségek láthatóak adott mélységben és időben. A táblázat jobb oldalán a mélység szerinti változások tekinthetőek meg talajoszloponként adott időben. A növekvő sorrendbe rendezett eredmények között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel , illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl.

9. táblázat: a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei a 2008. évi talajoszlop kísérletben

idő	CO_2	Mélység	oszlopszám x mélység
10. nap	1<<4<6<5<2<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60
	4<<5<2<1<6<<3	40	3;20<<40<<60 4;20<<40<<60
	4<<1<5<2<<6<<3	60	5;20<<40<60 6;20<<40<<60

25. nap	4<5<1<<2<6<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<<60 3;20<60<<40 4;20<<40<60 5;20<<40<<60 6;20<<60<<40	
	4<<5<<1<3<2<6	40		
	4<<6<2<1<3<<5	60		
40. nap	4<1<<5<6<<2<<3	20	1;20<<40<<60 2;20<<40<<60 3;20<<40<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60	
	4<<5<<2<<6<<3<1	40		
	4<<2<<3<<1<<5<<6	60		
53. nap	4<<6<1<<2<5<<3	20	1;20<<40<<60 2;20<<40<<60 3;20<<40<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60	
	4<<2<<6<<5<<1<<3	40		
	4<<2<<6<<5<<1<<3	60		
69. nap	4<<6<1<2<<5<<3	20	1;20<<40<<60 2;20<<40 3;20<<60<40 4;20<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60	megjegyzés: 2. oszlop 60cm NA.
	4<<6<<2<<5<<3<1	40		
	4<<6<<3<<5<1	60		
81. nap	3<<5<<1<<2<6<4	20	1;20<<40<<60 2;60<<20<<40 3;20<<40<60 4;20<<60 5;20<<40<<60 6;60<<20<<40	megjegyzés: 4. oszlop 40cm NA.
	2<<6<<5<<1<<3	40		
	2<6<<4<<5<<1<<3	60		
102. nap	4<2<6<1<5<<3	20	1;20<<40<<60 2;20<<40<<60 3;20<<40<60 4;40<20<<60 5;20<<40<<60 6;20<<60<40	
	4<<2<6<5<1<<3	40		
	6<4<2<5<<1<<3	60		

idő	N_2O	Mélység	oszlopszám x mélység
10. nap	1<<6<4<<5<<2<<3	20	1;60<40<<20 2;60<<40<<20 3;60<<40<20 4;60<40<20 5;60<40<<20 6;20<60<40
	1<<5<4<6<<2<<3	40	
	1<<5<4<6<2<<3	60	
25. nap	6<<3<<5<<1<<4<<2	20	1;20<<40<<60 2;60<<40<<20 3;40<<60<20 4;20<<40<<60 5;40<60<<20 6;40<60<<20
	6<<2<<5<<3<<1<<4	40		
	6<<2<<5<<3<<1<<4	60		

40. nap	4<6<<5<<2<<1<<3	20	1;60<<20<<40 2;20<<60<40 3;60<<40<<20 4;20<40<60 5;60<<40<<20 6;60<20<40	
	6<4<5<<2<<1<<3	40		
	6<5<4<<1<<2<3	60		
53. nap	1<4<6<5<2<<3	20	1;20<60<40 2;20<60<40 3;20<40<60 4;40<20<60 5;20<60<<40 6;60<40<20	
	4<6<1<2<<5<<3	40		
	6<4<5<1<2<<3	60		
69. nap	5<2<6<1<4<3	20	1;20<<60<40 2;60<20<40 3;20<60<40 4;20<40<60 5;20<40<60 6;20<40<60	
	5<6<4<2<<3<1	40		
	2<5<6<4<3<<1	60		
81. nap	1<6<5<4<2<3	20	1;20<40<60 2;60<40<20 3;40<20<60 4;40<60<20 5;40<20 6;20<40	megjegyzés: 5.6. oszlop 60cm NA.
	5<4<2<6<3<1	40		
	2<4<1<3	60		
102. nap	4<1<3<5<2	20	1;60<20<40 2;60<40<20 3;40<20<60 4;40<20<60 5;60<20 6;40<60	megjegyzés: 6. oszlop 20cm és 5. oszlop 40cm NA.
	4<3<6<2<1	40		
	5<1<2<6<3<4	60		

2008-ban a talajoszlop eredményekről az alábbiak mondhatóak el:

CO_2 tekintetében az 1. oszlop esetében a legmagasabb koncentrációt a kísérlet indításától számított 69. napon 60 cm-es talajmélységnél figyeltem meg (213607 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb értéket a mérés utolsó napján tapasztaltam 20 cm-es talajmélységnél (10824 µg L^{-1}). N_2O esetén a mérés 25. napján tapasztaltam a legmagasabb koncentrációt 60 cm-es mélységben (43,32 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb koncentrációt a mérés utolsó napján (102. nap) volt megfigyelhető, 60 cm-es talajmélységben (80ng L^{-1} értékben).

A 2. talajoszlop legnagyobb CO_2 koncentrációját a kísérlet indításától számított 40. napon tapasztaltam 60 cm-es talajmélységben (200304 µg L^{-1} értékben). A legtöbb esetben a talajoszlopok legmagasabb CO_2 koncentrációját a kísérlet indításától számított 69. napon tapasztaltam a vizsgált legnagyobb talajmélységben, de ennél az oszlopnál, vélhetőleg a hibás mintavételből adódóan 60 cm-es talajmélységből nem lehetett értékelhető eredményt kimutatni. A

legcsekélyebb CO_2 koncentrációt ennél az oszlopnál a 81. napon 60 cm-es mélységben figyeltem meg (2577 µg L^{-1} értékben), bár a magasabban lévő mintavételi eredmények megkérdőjelezik ennek valódiságát. N_2O tekintetében a talajoszlop – akárcsak az első számú –, a 25. napon 20 cm-es mélységben produkálta a legmagasabb N_2O koncentrációt (50,01 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb koncentrációt a 81. napon 60 cm-es mélységben tapasztaltam (80 ng L^{-1} értékben).

A 3. talajoszlop CO_2 koncentrációja a 69. napon a középső talajrétegben volt a legnagyobb (206657 µg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb koncentrációja az utolsó napon 20 cm-es talajmélységben volt tapasztalható (18196 µg L^{-1} értékben). N_2O esetén a 40. napon tapasztaltam a legmagasabb N_2O koncentrációt a legfelső talajrétegben (37,78 µg L^{-1} értékben), a legalacsonyabb koncentrációt pedig a mérés utolsó napján a középső talajrétegben (0,22 µg L^{-1} értékben) észleltem.

A 4. talajoszlop a CO_2 tekintetében – akárcsak az előző talajoszlopok – szintén a 69. napon produkálta a legmagasabb gázkoncentrációt (170687 µg L^{-1} értékben). Érdekessége ennek az oszlopnak, hogy az általános tendenciától eltérően a legcsekélyebb CO_2 koncentrációt is ezen a napon figyeltem meg 20 cm-es talajmélység esetén (2526 µg L^{-1} értékben). N_2O tekintetében ennél az oszlopnál tapasztaltam a legmagasabb N_2O produkciót a kísérlet indításától számított 25. napon 60 cm-es talajmélységben (52,23 µg L^{-1} értékben). A legkisebb N_2O koncentrációt az oszlop a 102. napon 20 cm-es talajmélységben produkálta (0,9 µg L^{-1} értékben).

CO_2 tekintetében a legnagyobb koncentrációt az 5. talajoszlop esetében a 40. napon 60cm-es talajmélységben figyeltem meg (215683 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb koncentráció a mérés utolsó napján 20 cm-es talajmélységben volt megfigyelhető (11851 µg L^{-1} értékben). N_2O esetén az oszlop szintén a 25. napon 20 cm-es mélységben produkálta a legtöbb N_2O-t (35,58 µg L^{-1} értékben). A legkisebb koncentrációt a mérés utolsó napján tapasztaltam 60 cm-es mélységben (20 ng L^{-1} értékben).

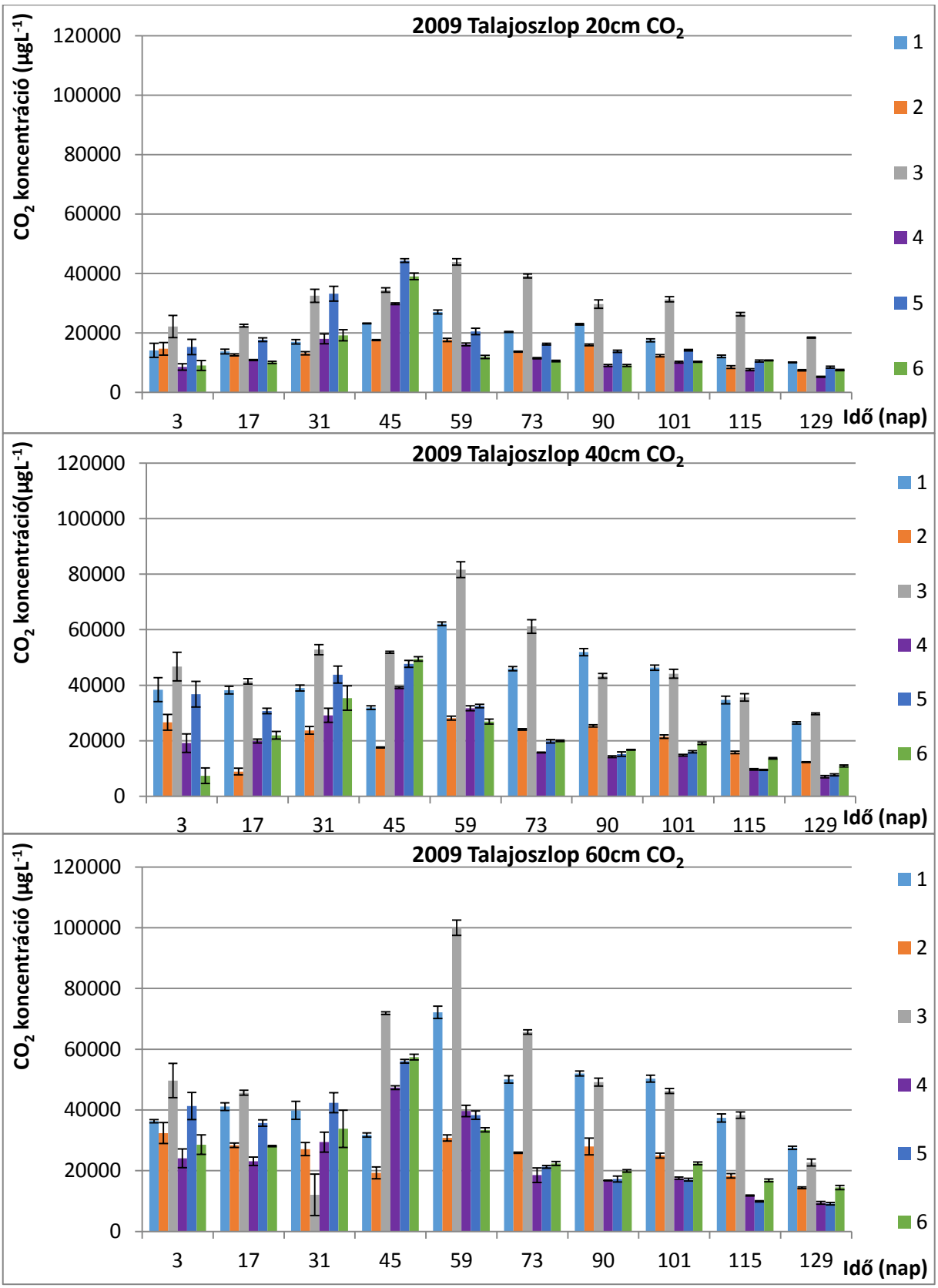
A 6. talajoszlop a legmagasabb CO_2 koncentrációt a mérés 40. napján 60 cm-es talajmélységben produkálta (221784 µg L^{-1} értékben). A legkisebb CO_2 koncentrációt a 81. napon 60 cm-es talajmélységben tapasztaltam (2683 µg L^{-1} értékben). N_2O-nál a legmagasabb koncentrációt a 25. napon 20 cm-es talajmélységben figyeltem meg (16,67 µg L^{-1} értékben). A legkisebb koncentrációt a 81. napon szintén 20 cm-en tapasztaltam (0,26 µg L^{-1} értékben).

Összességében megfigyelhető, hogy a CO_2 koncentrációja a 40. és a 69. napon kettős csúcsot követ, mely a hőmérséklettel együtt mozog. A mélyebb talajrétegekben általában magasabb CO_2 koncentráció figyelhető meg

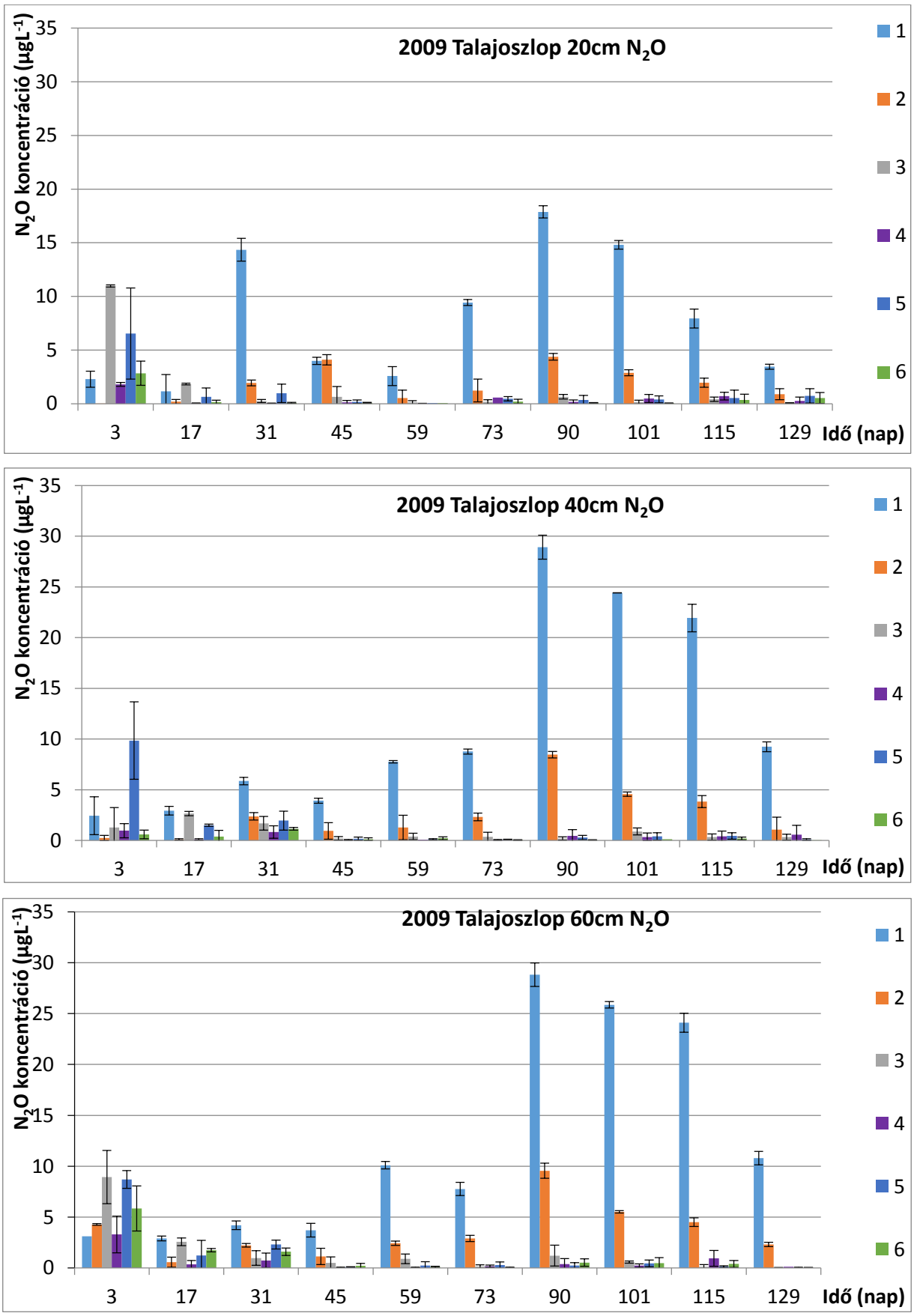
N_2O esetében egy nagy csúcsot állapíthatunk meg a kísérlet indításától számított 25. napnál, majd ez a koncentráció a 40. naptól elkezd a nulla értékhez konvergálni annyira, hogy a vizsgálat utolsó napján egy talajoszlop gázkoncentrációja sem haladja meg az 1 $\mu g\ L^{-1}$-t. A mélységet figyelembe véve, különösen a gázprodukció legaktívabb időszakában, számos esetben a legkisebb talajmélységben volt tapasztalható a legnagyobb N_2O koncentráció.

Mivel ebben az évben nem alkalmaztunk semmilyen kezelést, így sem a kezelés, sem a növény hatása nem érvényesülhetett a CO_2 és N_2O produkcióban.

2009-től kezdődően, már alkalmaztunk különböző talajkezeléseket, és növény telepítést. A gázprodukciós eredmények a 16. és a 17. ábrán láthatóak.

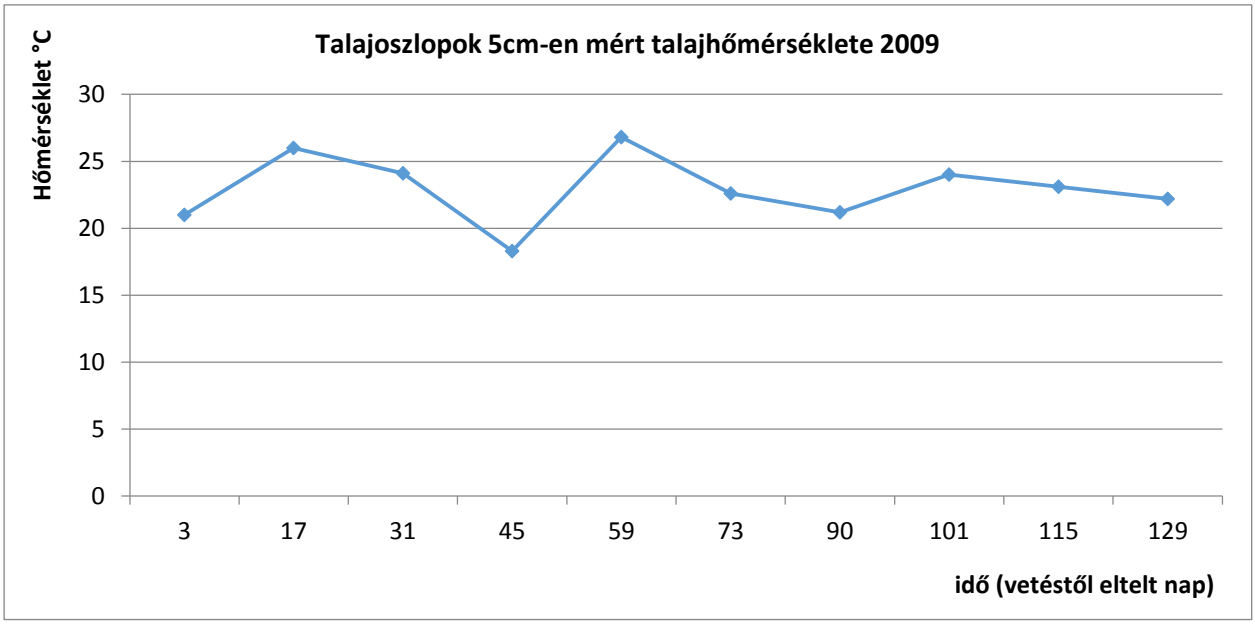


16. ábra: a CO_2 koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban 2009. évben. A kezelések jelölését az 5. táblázat mutatja be



17. ábra: A N_2O koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban 2009. évben. A kezelések jelölését az 5. táblázat mutatja be.

A talajoszlopok 5 cm-es mélységében mért kerültek a talajhőmérsékleteket, a 18. ábra mutatja be.



18. ábra: a talajoszlopok 5cm-es mélységében mért hőmérsékletek, 2009

A **2009**-es tenyészidőszak folyamán a bolygatatlan talajoszlopokban elhelyezett gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével A kezelések közötti különbségek összehasonlító táblázatát a 10. táblázat mutatja be. A táblázat bal oldalán az egyes kezelések közötti különbségek láthatóak adott mélységben és időben. A táblázat jobb oldalán a mélység szerinti változások tekinthetőek meg kezelésenként adott időben. A növekvő sorrendbe rendezett eredmények között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel , illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl. A kezelések jelölését az 5. táblázat mutatja be.

10. táblázat: a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei a 2009. évi talajoszlop kísérletben

idő	CO_2	Mélység	kezelés x mélység
3. nap	4<6<<1<2<5<<3	20	1;20<<60<40 2;20<<40<<60 3;20<<40<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;40<20<<60
	6<<4<<2<<5<1<<3	40	
	4<<6<2<1<<5<<3	60	
17. nap	6<4<2<1<5<<3	20	1;20<<60<40 2;40<20<<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60
	2<<4<6<<5<<1<3	40	
	4<<6<2<<5<<1<<3	60	

31. nap	2<1<4<6<<3<5	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;60<<20<<40 4;20<<40<60 5;20<<60<40 6;20<<60<40
	2<<4<<6<1<<5<<3	40	
	3<<2<4<<6<<1<5	60	
45. nap	2<<1<<4<<3<<6<<5	20	1;20<<60<40 2;40<20<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<40<<60 6;20<<40<<60
	2<<1<<4<<5<6<3	40	
	2<<1<<4<<5<6<<3	60	
59. nap	6<4<2<5<<1<<3	20	1;20<<40<<60 2;20<<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60
	6<2<4<5<<1<<3	40	
	2<6<<5<4<<1<<3	60	
73. nap	6<4<2<5<1<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;20<40<60 6;20<<40<60
	4<5<6<2<<1<<3	40	
	4<5<6<2<<1<<3	60	
90. nap	4<6<<5<2<<1<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<40<60 6;20<40<60
	4<5<6<2<<3<<1	40	
	4<5<6<<2<<3<1	60	
101. nap	4<6<2<5<1<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<40<60 6;20<<40<60
	4<5<6<2<<3<1	40	
	5<4<<6<2<<3<1	60	
115. nap	4<2<5<6<1<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<<40<60 4;20<40<60 5;40<60<20 6;20<40<60
	5<4<6<2<<1<3	40	
	5<4<<6<2<<1<3	60	
129. nap	4<2<6<5<1<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<<60<<60 4;20<40<60 5;40<20<60 6;20<40<60
	4<5<6<2<<1<3	40	
	5<<4<<2<6<<3<<1	60	

idő	N_2O	Mélység	kezelés x mélység
3. nap	2<4<1<6<3<<5	20	1;60<40<20 2,20<40<<60
	2<6<4<3<1<<5	40	3;40<20<<60 4;40<20<60
	1<4<2<6<<5<3	60	5;20<60<40 6;40<20<<60
17. nap	4<6<2<5<1<3	20	1;20<60<40 2;40<20<60
	2<4<6<5<3<1	40	3;20<60<40 4;20<40<60
	4<2<5<6<1<3	60	5;20<60<40 6;20<40<60
31. nap	4<6<3<5<2<<1	20	1;60<40<<20 2;60<40<20
	4<6<2<3<5<<1	40	3;20<60<40 4;20<60<40
	1<5<6<3<2<4	60	5;20<40<60 6;20<40<60
45. nap	6<4<5<3<<1<2	20	1;60<40<20 2;40<60<<20
	4<6<5<3<2<<1	40	3;40<60<20 4;60<40<20
	4<5<6<3<2<<1	60	5;60<40<20 6;20<40<60
59. nap	6<4<5<3<2<1	20	1;20<<40<60 2;20<40<60
	4<5<6<3<2<<1	40	3;20<40<60 4;20<40<60
	4<6<5<3<2<<1	60	5;20<40<60 6;20<60<40
73. nap	3<6<4<5<2<<1	20	1;60<40<20 2;20<40<60
	6<4<5<3<2<<1	40	3;60<20<40 4;40<60<20
	6<3<4<5<<2<<1	60	5;40<60<20 6;40<60<20
90. nap	6<4<5<3<<2<<1	20	1;20<<60<40 2;20<<40<60
	6<3<5<4<<2<<1	40	3;40<20<60 4;20<60<40
	5<4<6<3<<2<<1	60	5;60<40<20 6;40<20<60
101. nap	6<3<4<5<2<<1	20	1;20<<40<60 2;20<40<60
	6<4<5<3<<2<<1	40	3;20<60<40 4;20<40<60
	4<3<5<6<<2<<1	60	5;40<20<60 6;20<40<60

115. nap	6<5<3<4<2<<1	20	1;20<<40<60 2;20<40<60
	6<3<4<5<<2<<1	40	3;60<40<20 4;40<20<60
	5<3<6<4<<2<<1	60	5;60<20<40 6;40<20<60
129. nap	3<4<6<5<2<<1	20	1;20<<40<60 2;40<20<60
	6<5<3<4<2<<1	40	3;60<20<40 4;60<20<40
	5<3<6<4<2<<1	60	5;60<40<20 6;40<60<20

2009-ben a talajoszlopok eredményeiről az alábbiak mondhatóak el:

CO_2 tekintetében az 1. számú (növény nélküli kontroll) talajoszlop szignifikánsan magasabb gázkoncentrációt tartalmaztak 40, illetve 60 centiméteres talajmélységben, mint 20 centiméteren. A legmagasabb koncentrációt (72165 μg L^{-1}) az 59. napon produkálta 60 centiméteres talajmélységben, míg a legalacsonyabb koncentráció (10138 μg L^{-1}) a 129. napon 20 centiméteres talajmélységben volt mérhető. N_2O esetén az 1. talajoszlopnál a középső (40 cm-es) és az alsó (60 cm-es) rétegében mért koncentráció értékek között szignifikáns különbség nem tapasztalható. Az egész vizsgálat során ennél a talajoszlopnál mértem a legnagyobb N_2O koncentrációt 40 centiméteres talajmélységben a vetéstől számított 90. napon (28,92 μg L^{-1}). Ez az érték azonban, csak 0,1 μg L^{-1}-el haladja meg az aznapi 60 centiméteres talajmélységben mért gázkoncentrációt. A talajoszlop a vetéstől számított 17. napon produkálta a legalacsonyabb N_2O gázkoncentrációt (1,16 μg L^{-1}). A 20 centiméteres talajszinten mért koncentráció általánosságban alatta marad mind a 40, mind pedig a 60 centiméteres talajmélységben mért koncentrációnak. Kivételt a vetéstől számított 31. nap jelent, amikor a felső (20 cm-es) rétegből származó gázminta koncentrációja szignifikánsan magasabb (14,34 μg L^{-1}) volt, mely tendencia a többi talajoszlop esetében is megfigyelhető volt.

A 2. számú (3 egység NPK tartalmú műtrágya kezelésben részesített, növény nélküli) talajoszlop CO_2 koncentrációja – hasonlóan az 1. számú talajoszlophoz – 20 centiméteren a legkisebb és 60 centiméteren a legnagyobb. A legmagasabb koncentrációt (30788 μg L^{-1}) az 59. napon mértem, a 60 centiméteres talajmélységű gázmintából, míg a legalacsonyabb koncentrációt (7451 μg L^{-1}) a 129. napon 20 centiméteres talajmélységben tapasztaltam. Ugyanezen oszlop N_2O tekintetében hasonló görbemenetet mutat, mint az 1. számú (kontroll) talajoszlop azzal a különbséggel, hogy a mért koncentrációk lényegesen alacsonyabbak. Ennél a talajoszlopnál is a középső (40 cm-es) és az alsó (60 cm-es) rétegében mért koncentrációk jellemzően magasabbak, mint a 20 centiméteren mért koncentrációk, bár itt a 60 centiméteren mért koncentrációk a 31. nap kivételével mindig magasabbak, mint a 40 centiméteren mért N_2O koncentrációk. Kivételt a

vetéstől számított 45. nap képez, amikor a 20 centiméteres szintről származó mintából szignifikánsan magasabb N_2O koncentrációt (4,09 μg L^{-1}) mértem. Ez a talajoszlop a legnagyobb gázkoncentrációt (9,56 μg L^{-1}) a vetéstől számított 90. napon produkálta 60 centiméteres talajmélységben, a legalacsonyabb (0,01 μg L^{-1}) koncentrációt pedig 20 centiméteres talajmélységben a vetéstől számított 3. napon. Ez az utóbbi érték az egész vizsgálat tekintetében is a legalacsonyabb volt.

CO_2 produkció tekintetében a 3. számú (kontroll, növénnyel) talajoszlop is folytatta az előző oszlopok tendenciáit. Ennél azonban a 31. napon 60 centiméteres talajmélységben tapasztaltam a legalacsonyabb gázemissziót (12047 μg L^{-1}). Ez a talajoszlop produkálta a vizsgálat során mért legnagyobb CO_2 koncentrációt (99961 μg L^{-1}) az 59. napon 60 centiméteren. N_2O tekintetében ezen oszlop grafikonjainak görbemenete jelentősen eltér az előbbiekétől. A vetéstől számított 3. nap kivételével – bár a szórás nagysága miatt az eredménye megkérdőjelezhető – a koncentrációk mindhárom talajszinten megközelítik a nulla értéket. A kiugróan nagy szórású első mérési pontok után a vetéstől számított 17. napon 40 centiméteres talajmélységben mértem a legnagyobb (2,65 μg L^{-1}) koncentrációt. A legalacsonyabb koncentrációt (0,04 μg L^{-1}) 60 centiméteres talajmélységben a vetéstől számított 129. napon tapasztaltam.

A 4. számú (3 egység NPK műtrágyás kezelésben részesített) talajoszlop CO_2 esetén szintén 60 centiméteres talajmélységben produkálta a legnagyobb és 20 centiméteres talajmélységben a legkisebb koncentrációt. A legmagasabb koncentrációt (47370 μg L^{-1}) a 45. napon, a legalacsonyabb koncentrációt (5274 μg L^{-1}) a 129. napon mértem. Az N_2O-t tekintve a legmagasabb gázkoncentrációt a vetéstől számított 3. napon tapasztaltam 60 cm-es mélységben (3,3 μg L^{-1}), a legalacsonyabb értéket pedig a vetéstől számított 59. napon 20 cm-en (mindössze 33 ng L^{-1} értékben).

Az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlopnál a CO_2 esetében szintén azt figyeltem meg, hogy 60 centiméteres talajmélységben volt a legnagyobb, és 20 centiméteres talajmélységben volt a legcsekélyebb a mért gázkoncentráció. A legmagasabb értéket (56041 μg L^{-1}) a 45. napon mértem. A legalacsonyabb érték (7724 μg L^{-1}) a 129. napon a középső talajrétegnél figyeltem meg, de ekkor a különböző rétegekben mért koncentrációk között szignifikáns eltérés nem volt tapasztalható. Az N_2O produkció esetén a vetés 3. napján tapasztaltam a legnagyobb koncentrációt a középső talajrétegben (9,84 μg L^{-1}). A legcsekélyebb koncentrációt pedig a mérés utolsó napján (129. nap a vetéstől számítva) tapasztaltam 60 cm-es talajmélységben (33 ng L^{-1}).

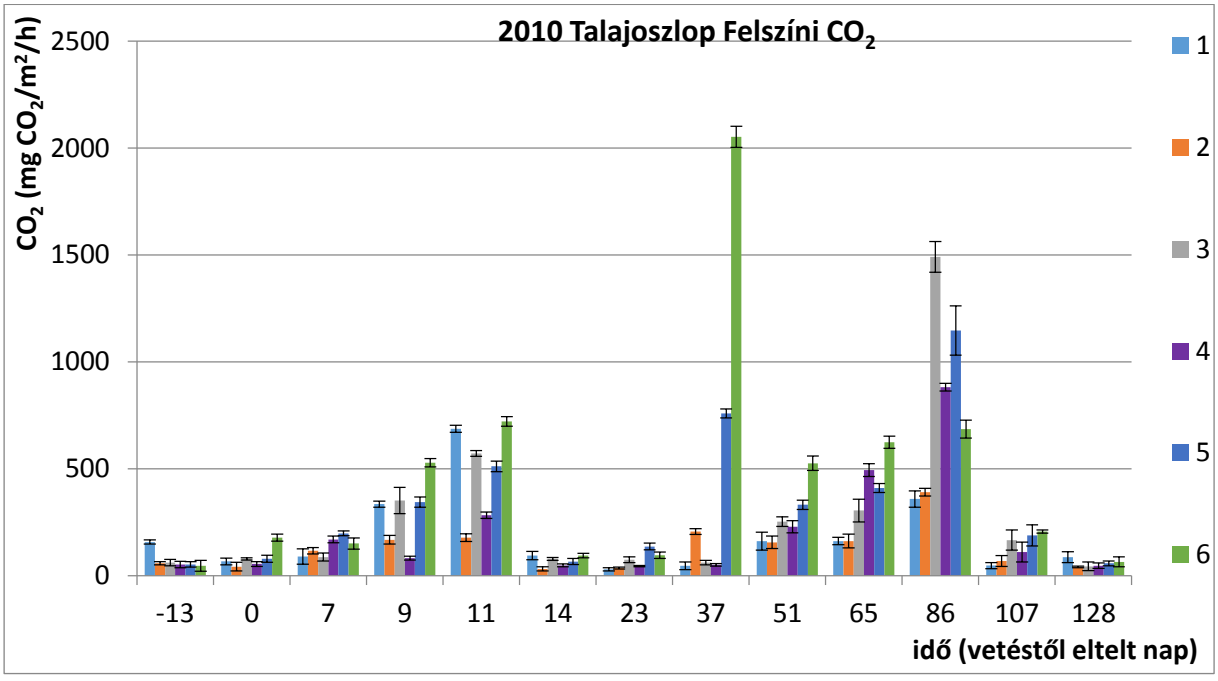
A CO_2 esetén a 6. számú (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop sem tért el az eddig tapasztalt tendenciától. Az egész vizsgálat során ennél a talajoszlopnál mértem a vetéstől számított

129. napon, 20 centiméteres talajmélységben a legalacsonyabb (7548 µg L^{-1}) koncentrációt. Ez a talajoszlop a 45. napon az alsó (60 cm-es) talajrétegben produkálta a legmagasabb (57407µg L^{-1}) koncentrációt. N_2O esetén a vetést követő 3. napon tapasztaltam a legnagyobb gázkoncentrációt a legmélyebb rétegben, míg a legkisebb koncentrációt a legutolsó mérési napon 40 cm-es mélységben (30 ng L^{-1}). Ez azonban csupán 2 ng L^{-1}-el tér el az ugyanezen a napon 60 cm-en mért N_2O koncentrációtól.

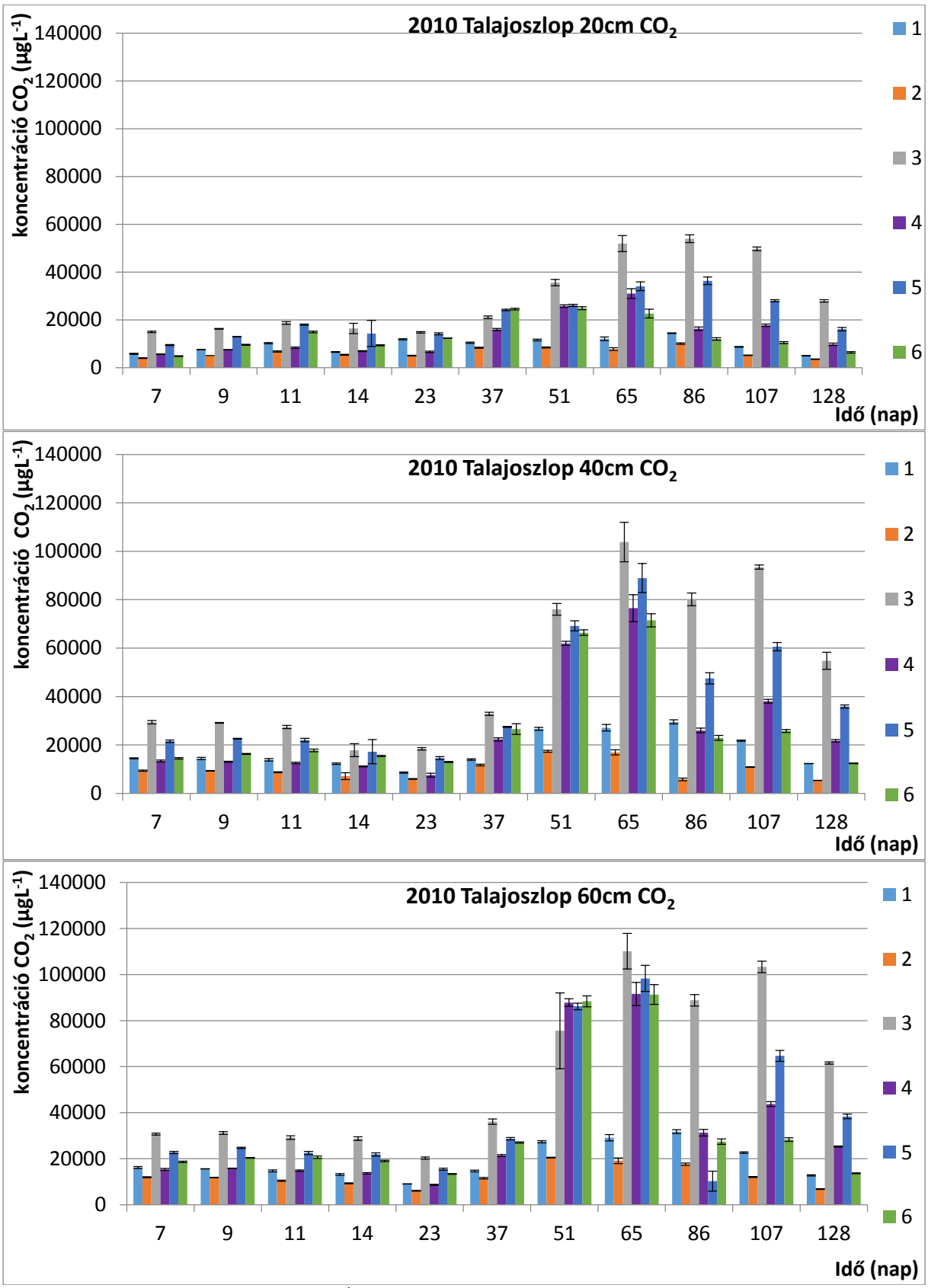
Valamennyi kezelést vizsgálva elmondható, hogy N_2O esetén a vetést követő néhány napban tapasztalható magasabb koncentráció, az után a következő napokban a koncentráció a 0-hoz közelít. Ezen tendencia alól a növényt nem tartalmazó oszlopok kivételt képeznek. CO_2 esetén is észlelhtő a növéyt tartalmazó és növényt nem tartalmazó talajoszlopok CO_2 produkciójának különbsége. Ez különösen a két kontroll oszlop esetén látszik jól. A trágyakezelésben részesített talajoszlopoknál a kontrollokhoz viszonyítva lényegesen kevesebb CO_2 koncentrációt mértem.

5.3. A CO_2 és N_2O produkció és felszíni CO_2 emisszió talajoszlop kísérleti rendszerben 2010-2012

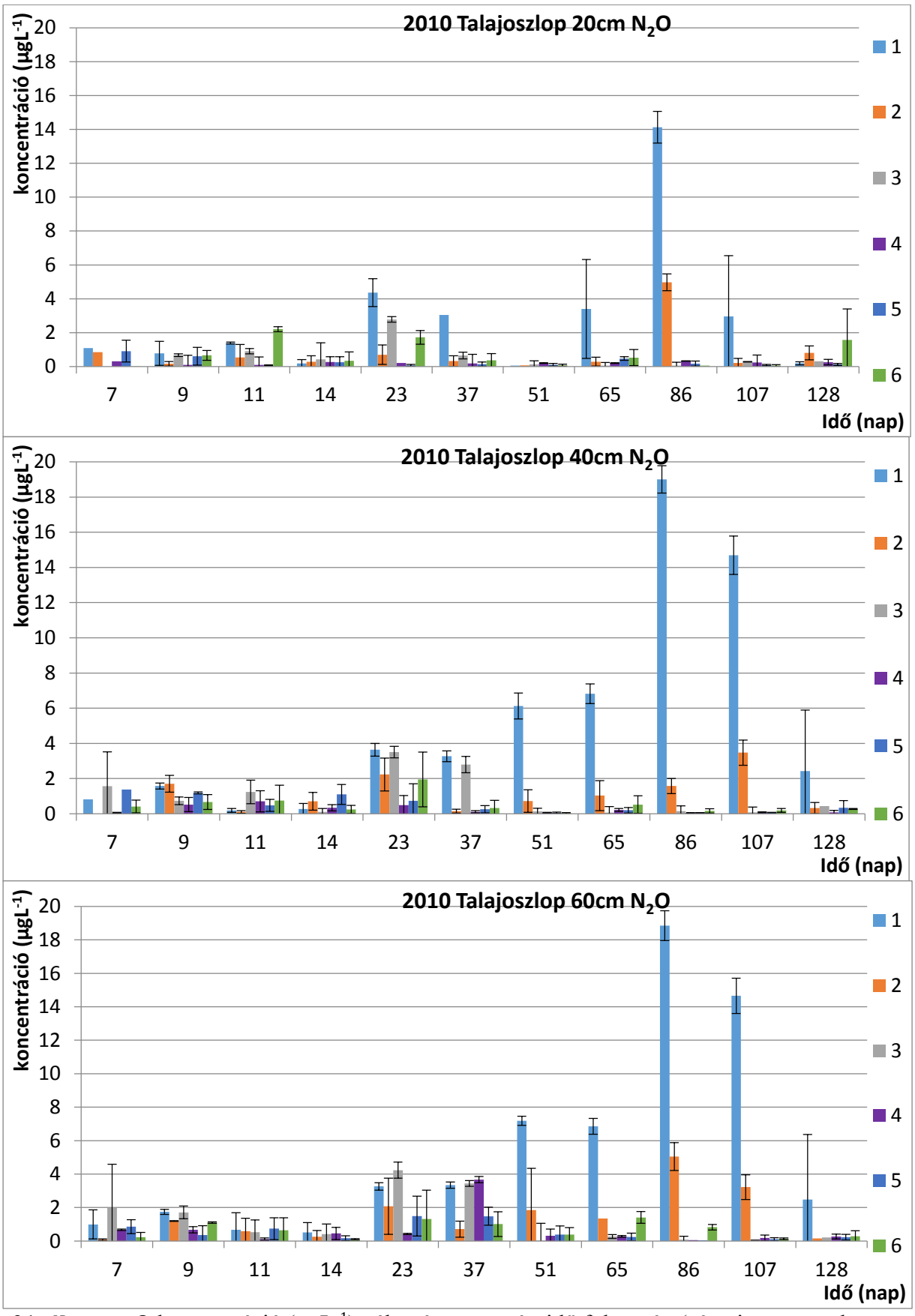
2010-től a talajoszlop kísérleti rendszerben a CO_2 tekintetében nem csak a gázprodukció, hanem a felszíni gázemisszió mérése is történt. 2010-ben a produkciós mintavételhez viszonyítva kettővel több mintavétel történt a vetést megelőző 13. napban, valamint a vetés napján. A gázemissziós eredményeket a 19. ábra, a produkciós eredményeket pedig a 20. és 21. ábra szemlélteti.



19. ábra: a felszíni CO_2 kibocsátás talajoszlop kísérleti rendszerben, 2010. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.

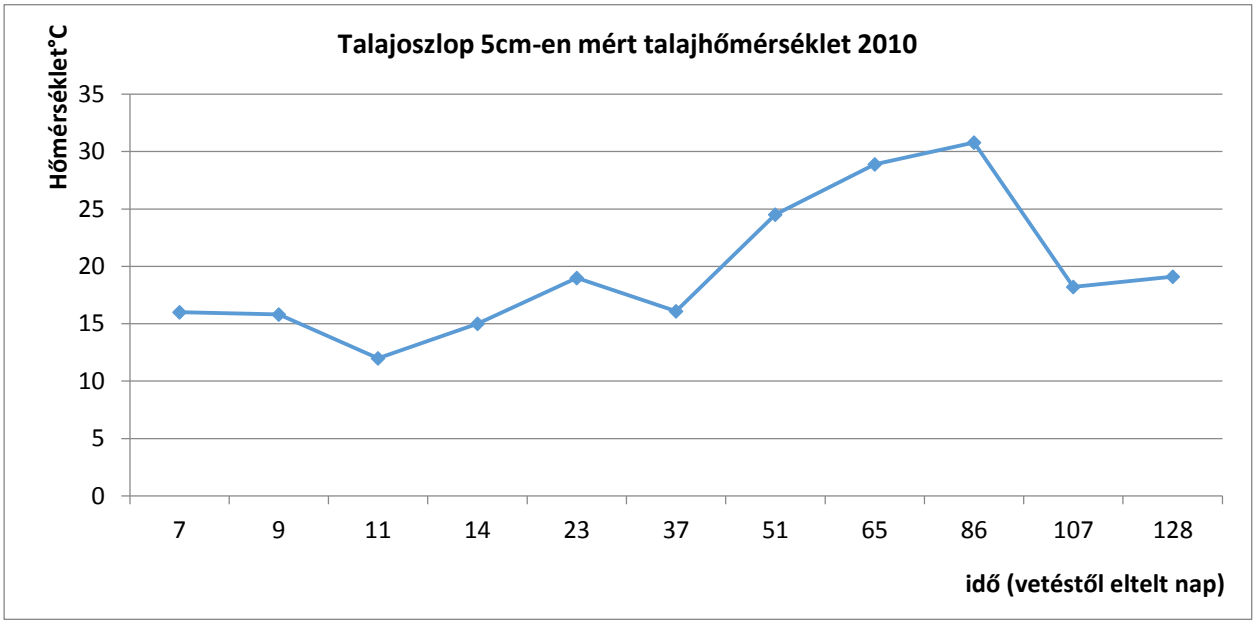


20. ábra: CO_2 koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban 2010. évben. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.



21. ábra: N_2O koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban 2010. évben. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.

A talajoszlopok 5 cm-es mélységében mért talajhőmérsékleteket, a 22. ábra mutatja be.



22. ábra: a talajoszlopok 5cm-es mélységében mért talajhőmérsékletek, 2010

A **2010**-es tenyészidőszak folyamán a bolygatatlan talajoszlopokban elhelyezett gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével A kezelések közötti különbségek összehasonlító táblázatát a 11. táblázat mutatja be. A táblázat bal oldalán az egyes kezelések közötti különbségek láthatóak adott mélységben és időben. A táblázat jobb oldalán a mélység szerinti változások tekinthetőek meg kezelésenként adott időben. A növekvő sorrendbe rendezett eredmények között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel , illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl. A kezelések jelölését az 5. táblázat mutatja be.

11. táblázat: a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei a 2010. évi talajoszlop kísérletben

idő	CO_2	Mélység	kezelés x mélység
7. nap	2<6<4<1<5<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60
	2<4<1<6<5<3	40	3;20<<40<60 4;20<40<60
	4<1<2<6<5<3	60	5;20<<40<60 6;20<40<60
9. nap	2<4<1<6<5<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60
	2<4<1<6<5<3	40	3;20<<40<60 4;20<40<60
	1<4<2<6<5<3	60	5;20<40<60 6;20<40<60

11. nap	2<4<1<6<5<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<40<60 4;20<40<60 5;20<40<60 6;20<40<60
	2<4<1<6<5<3	40	
	1<4<2<6<5<3	60	
14. nap	2<1<4<6<5<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<40<<60 4;20<40<60 5;20<40<60 6;20<40<60
	2<4<1<6<5<3	40	
	2<1<4<6<5<3	60	
23. nap	2<4<1<6<5<3	20	1;40<60<20 2;20<40<60 3;20<40<60 4;20<40<60 5;20<40<60 6;20<40<60
	2<4<1<6<5<3	40	
	4<1<2<6<5<3	60	
37. nap	2<1<4<3<5<6	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<60 4;20<60<40 5;20<40<60 6;20<40<60
	2<1<4<6<5<3	40	
	1<2<4<6<5<3	60	
51. nap	2<1<<6<4<5<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<<60 3;20<<60<40 4;20<<60<<40 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60
	2<1<<4<6<5<3	40	
	1<<2<<3<5<4<6	60	
65. nap	2<1<6<4<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<<60 3;20<<40<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<60 6;20<<40<<60
	2<1<<6<4<<5<<3	40	
	1<<2<<6<4<5<<3	60	
86. nap	2<6<1<4<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;40<20<<60 3;20<<40<60 4;20<40<60 5;60<<20<<40 6;20<<40<60
	2<<6<4<1<<5<<3	40	
	5<<6<4<1<2<<3	60	
107. nap	2<1<6<4<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<<60 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60
	2<<1<6<<4<<5<<3	40	
	1<6<<2<4<<5<<3	60	

128. nap	2<1<6<4<5<<3	20	1;20<40<60 2;20<40<<60 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<40<60
	2<1<6<4<<5<<3	40	
	1<6<2<4<<5<<3	60	

idő	N_2O	Mélység	kezelés x mélység
7. nap	6<4<2<3<5<1	20	1;40<60<20 2;60<40<20 3;20<40<60 4;40<20<60 5;60<20<40 6;20<60<40
	4<6<2<1<5<3	40	
	2<6<4<5<1<3	60	
9. nap	4<2<5<6<3<1	20	1;20<40<60 2;20<60<40 3;20<40<60 4;20<40<60 5;60<20<40 6;20<40<60
	4<6<3<5<1<2	40	
	5<4<6<2<3<1	60	
11. nap	4<5<2<3<1<6	20	1;40<60<20 2;40<20<60 3;60<20<40 4;20<60<40 5;20<40<60 6;60<40<<20
	2<1<5<4<6<3	40	
	4<3<2<6<1<5	60	
14. nap	1<5<2<4<6<3	20	1;20<40<60 2;60<20<40 3;40<60<20 4;20<40<60 5;20<60<40 6;60<40<20
	3<6<1<4<2<5	40	
	6<5<2<3<4<1	60	
23. nap	5<4<2<6<3<<1	20	1;60<40<20 2;20<<60<40 3;20<40<60 4;20<60<40 5;20<40<60 6;60<20<40
	4<5<<6<2<<3<1	40	
	4<6<5<2<<1<3	60	
37. nap	5<4<2<6<3<<1	20	1;20<40<60 2;40<20<60 3;20<<40<60 4;40<20<<60 5;20<40<<60 6;40<20<60
	4<2<5<6<<3<1	40	
	2<6<5<<1<3<4	60	
51. nap	1<2<6<5<3<4	20	1;20<<40<<60 2;20<40<60 3;60<20<40 4;40<20<60 5;40<20<60 6;40<20<60
	6<5<4<3<2<<1	40	
	3<4<6<5<<2<<1	60	

65. nap	3<4<2<5<6<<1	20	1;20<<40<60 2;20<40<60
	3<5<4<6<2<<1	40	3;20<40<60 4;20<40<60
	5<3<4<<2<6<<1	60	5;40<60<20 6;40<20<60
86. nap	3<6<5<4<<2<<1	20	1;20<<40<60 2;40<<20<60
	3<4<6<5<<2<<1	40	3;20<60<40 4;40<60<20
	5<4<3<6<<2<<1	60	5;60<20<40 6;20<40<60
107. nap	6<5<2<4<3<<1	20	1;20<<60<40 2;20<<60<40
	5<3<6<4<<2<<1	40	3;40<60<20 4;60<40<20
	3<5<6<4<<2<<1	60	5;40<20<60 6;20<60<40
128. nap	5<1<4<3<2<6	20	1;20<<40<60 2;60<40<20
	4<6<2<5<3<<1	40	3;60<20<40 4;40<20<60
	2<3<5<4<6<<1	60	5;20<60<40 6;40<60<<20

2010-ben a talajoszlopok eredményeiről az alábbiak mondhatóak el:

CO_2 esetében az első oszlopnál (növényt nem tartalmazó kontroll) a vetéstől számított 86. napon 60cm-es talajmélységben mértem a legmagasabb CO_2 koncentrációt (31780 µg L^{-1} értékben). A legkisebb koncentrációt a mérés utolsó napján tapasztaltam 20 cm-es talajmélységben (5064 µg L^{-1} értékben). A legmagasabb emissziót ezen talajoszlop a vetéstől számított 11. napon produkálta, míg a legalacsonyabbat a 107. napon. Ebben a talajoszlopban az N_2O produkció a vetéstől számított 86. napon volt a legmagasabb a talajoszlop középső rétegében (19 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb N_2O produkció értéket a vetéstől számított 51. napon mértem szintén a középső 40 cm-es talajrétegben (50 ng L^{-1} értékben).

A 2. talajoszlop (3 egység NPK műtrágya növény nélkül) a CO_2 emisszió tekintetében a vetéstől számított 86. napon produkálta a legnagyobb koncentrációt. A legcsekélyebb emissziós érték a vetéstől számított 14. napon volt mérhető. A CO_2 produkció tekintetében a legmagasabb értéket a vetést követő 51. napon mértem a legalsó talajrétegben (20472 µg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb koncentrációt pedig a mérés utolsó napján a legfelső talajrétegben mértem (3567 µg L^{-1} értékben). Ebben az oszlopban a legnagyobb N_2O koncentrációt a vetéstől számított 86. napon mértem 60 cm-es mélységben (5,05 µg L^{-1} értékben). Ezen a napon a legfelső talajrétegben is elég nagy N_2O koncentrációt mértem, amely alig (csupán 0,07 µg L^{-1}-el) tért el az aznapi legmagasabb

koncentrációtól. A legcsekélyebb N_2O koncentrációt a vetéstől számított 51. napon mértem 20 cm-es talajmélységben.

A 3. talajoszlop (növényt tartalmazó kontroll) a legnagyobb CO_2 emissziós értéket a vetéstől számított 86. napon produkálta a legkisebb emissziót pedig a mérés utolsó napján (a vetéstől számított 128. napon) tapasztaltam. A legmagasabb CO_2 produkciós értéket a vetéstől számított 65. napon 60 cm-es talajmélységben mértem (110178 µg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb produkciót a vetéstől számított 23. napon 20 cm-es mélységben mértem (14819 µg L^{-1} értékben). Ezen oszlopnál ugyancsak a 23. napon mértem a legmagasabb N_2O koncentrációt 60 cm-es talajmélységben (4,23 µg L^{-1} értékben). A legkisebb N_2O koncentrációt az 51. napon 60 cm-es talajmélységben figyeltem meg (20 ng L^{-1} értékben).

A 4. (3 egység NPK műtrágya kezelésben részesített) oszlop CO_2 emissziója a 86. napon volt a legmagasabb, a legkevesebb CO_2 pedig a vetéstől számított 23. napon emittálódott. CO_2 produkció tekintetében a legmagasabb értéket ennél az oszlopnál a vetéstől számított 65. napon mértem 60 cm-es talajmélységben (91600 µg L^{-1} értékben). A legkisebb produkciót a vetéstől számított első mérési napon (7. napon) mértem (5627 µg L^{-1} értékben). A legnagyobb N_2O produkciót ennél az oszlopnál a vetéstől számított 37. napon mértem 60 cm-es talajmélységben (3,67 µg L^{-1} értékben). Ez az oszlop a többi mérési pontjában nem érte el az 1 µg L^{-1} értéket, így az előbb említett legnagyobb produkciós értéket leszámítva a koncentrációértékek általában a nullához konvergáltak.

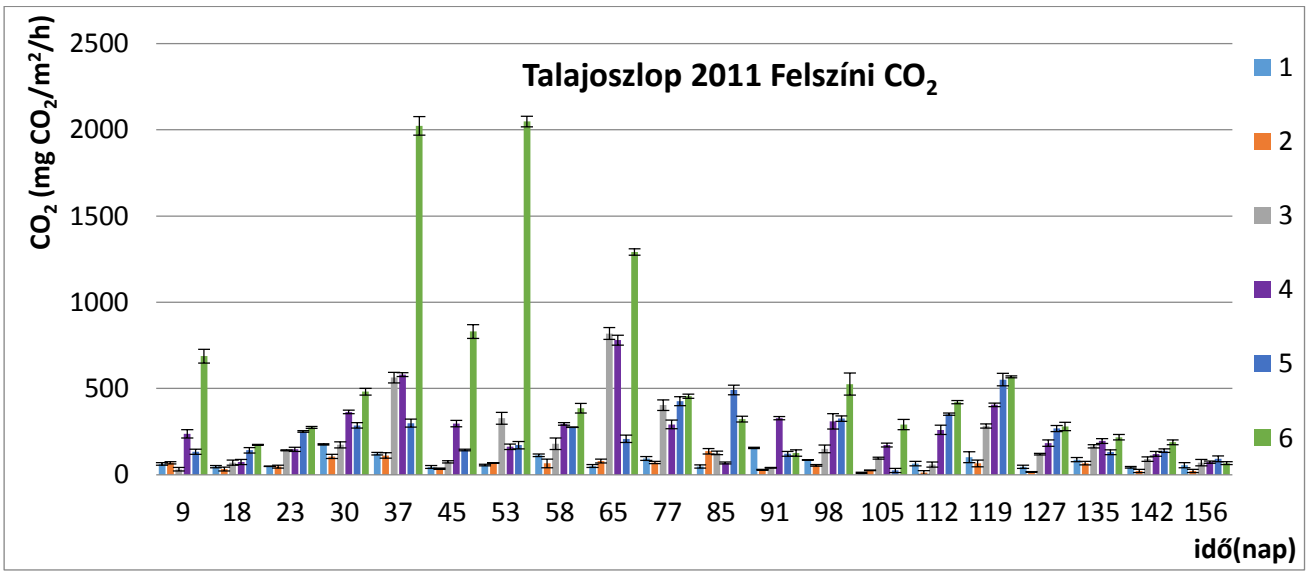
Az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlopnál CO_2 esetében a legmagasabb gázemisszió a 86. napon volt megfigyelhető. A legcsekélyebb emissziós értéket a vetést megelőző 13. napon figyeltem meg, ez azonban csak néhány mg CO_2 m^{-2} h^{-1}-val volt csekélyebb, mint a mérés utolsó napján tapasztalt emisszió. A legmagasabb CO_2 produkciót a vetéstől számított 65 a legnagyobb 60 cm-es talajmélységben mértem (98344 µg L^{-1} értéket). A legkisebb produkciós értéket a vetéstől számított 7. napon mértem a 20 cm-es talajmélységben (9535 µg L^{-1} értékben). Az N_2O tekintetében a legmagasabb produkciós értéket ezen oszlop esetében a vetéstől számított 23. napon mértem 60 cm-es talajmélységben (1,49 µg L^{-1} értékben). Ezen a talajszinten a következő mérési napon is szinte ugyanolyan koncentrációt mértem, az eltérés csak 0,01 µg L^{-1} volt. A legcsekélyebb N_2O koncentrációt szintén a vetést követő 23. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (0,068 µg L^{-1} értékben).

A 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop esetében a legmagasabb CO_2 emissziós érték a vetéstől számított 37. napon volt észlehető, a legcsekélyebb emissziós értéket pedig a vetést megelőző 13. napon tapasztaltam. A legmagasabb CO_2 produkciós értéket a vetéstől számított 65. napon a legmélyebb rétegben mértem (91314 µg L^{-1} értékben). A legkisebb CO_2 produkciós értéket ennél

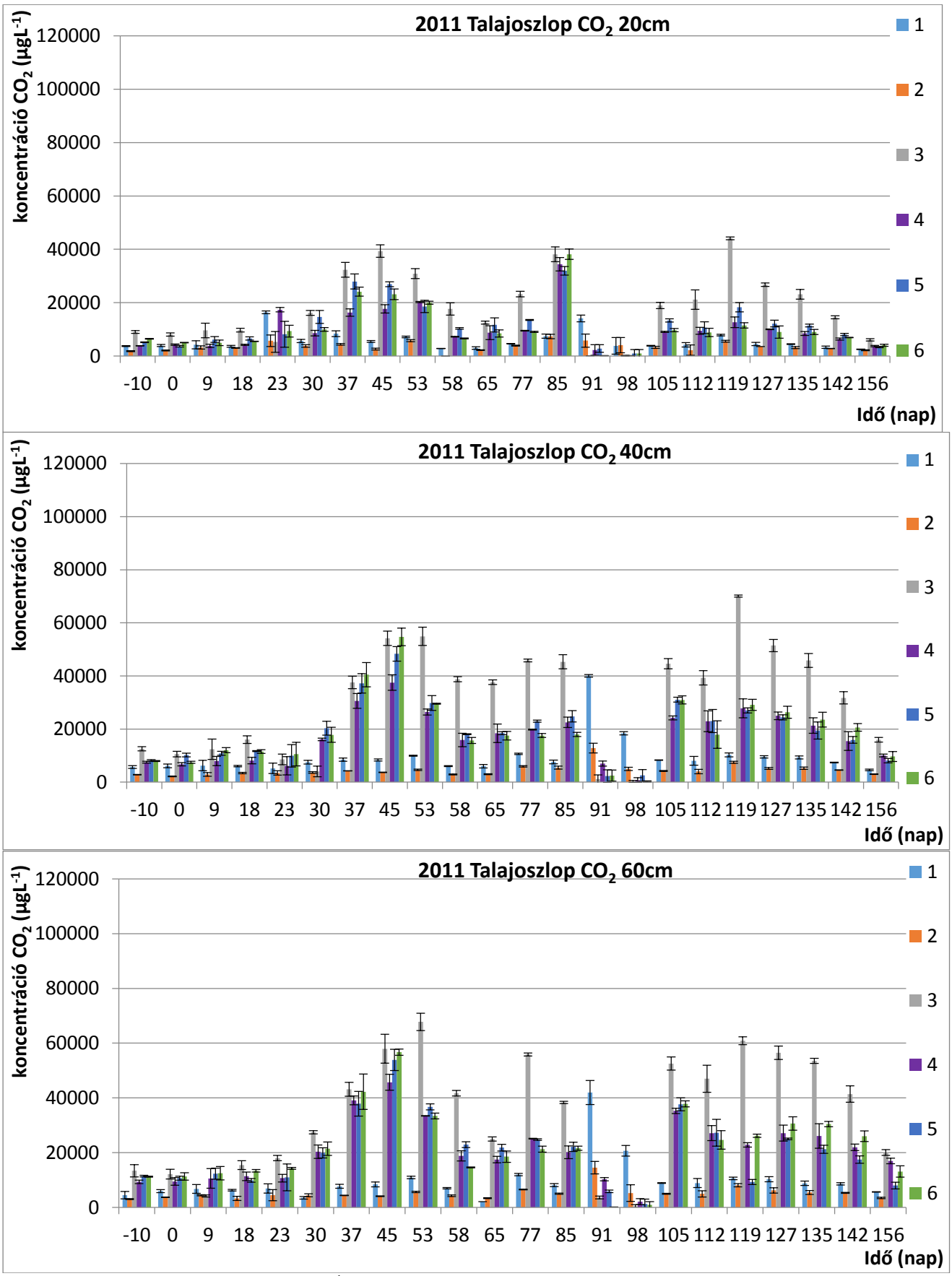
az oszlopnál a vetést követő 7. napon mértem (4874 µg L^{-1} értékben). N_2O tekintetében is ugyanezen a napon és ugyanezen a talajrétegben tapasztaltam a legcsekélyebb N_2O koncentrációt (mindössze 0,01 µg L^{-1} értékben). A legnagyobb N_2O produkciót a vetéstől számított 23. napon mértem a 40 cm-es talajmélységben (1,95 µg L^{-1} értékben).

Valamennyi kezelést vizsgálva elmondható, hogy N_2O esetén egy koncentráció csúcs figyelhető meg a növényt tartalmazó oszlopok esetében. Ez a csúcs a vetéstől számított 23.-37. napnál látható. A növényt nem tartalmazó oszlopok esetében lényegesen magasabb koncentrációk tapasztalhatóak. Ezeknél az oszlopoknál a legnagyobb koncentrációk a vetéstől számított 86. nap környékén láthatóak. A csúcskoncentráció elérése után mind a növénnyel beültetett, mind a növény nélküli talajoszlopok esetében, monoton koncentráció csökkenés figyelhető meg. CO_2 esetén egy nagyobb és egy kisebb csúcs figyelhető meg, főleg a legmélyebb 60 cm-es talajréteg esetén. A kisebb koncentrációcsúcs a vetéstől számított 9. nap környékén figyelhető meg, míg a lényegesen nagyobb koncentráció maximum a 65. napon tapasztalható. Az emissziós értékek nagyjából követték a produkciós adatokat, bár a vetéstől számított 37. napon a tápanyaggal leginkább ellátott 6. talajoszlop a vártnál lényegesen nagyobb CO_2 emissziót produkált.

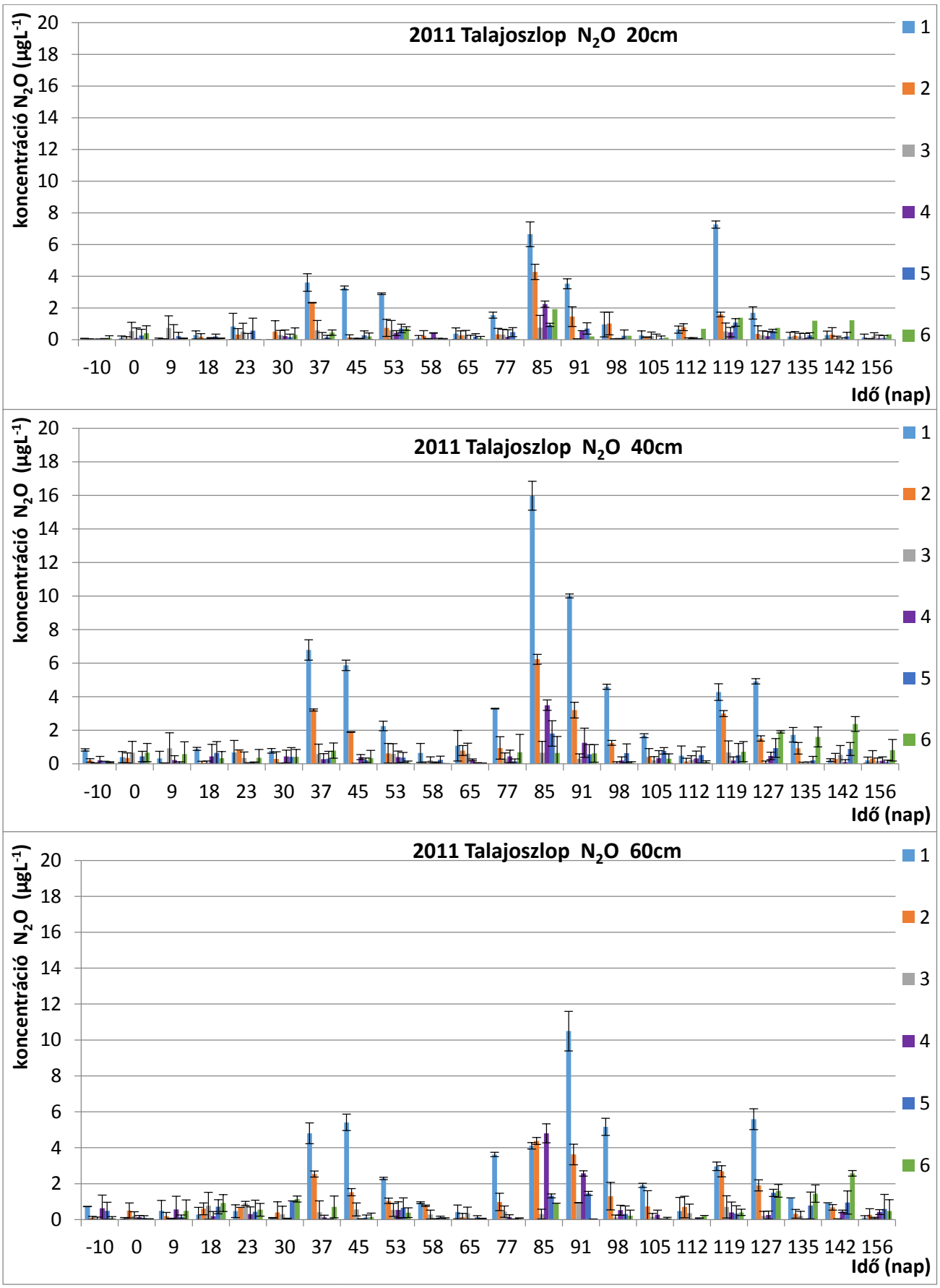
A 2011-ben mért felszíni gázemissziós eredményeket a 23. ábra, a produkciós eredményeket pedig a 24. és 25. ábra szemlélteti.



23. ábra: a felszíni CO_2 kibocsátás talajoszlop kísérleti rendszerben, 2011. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.

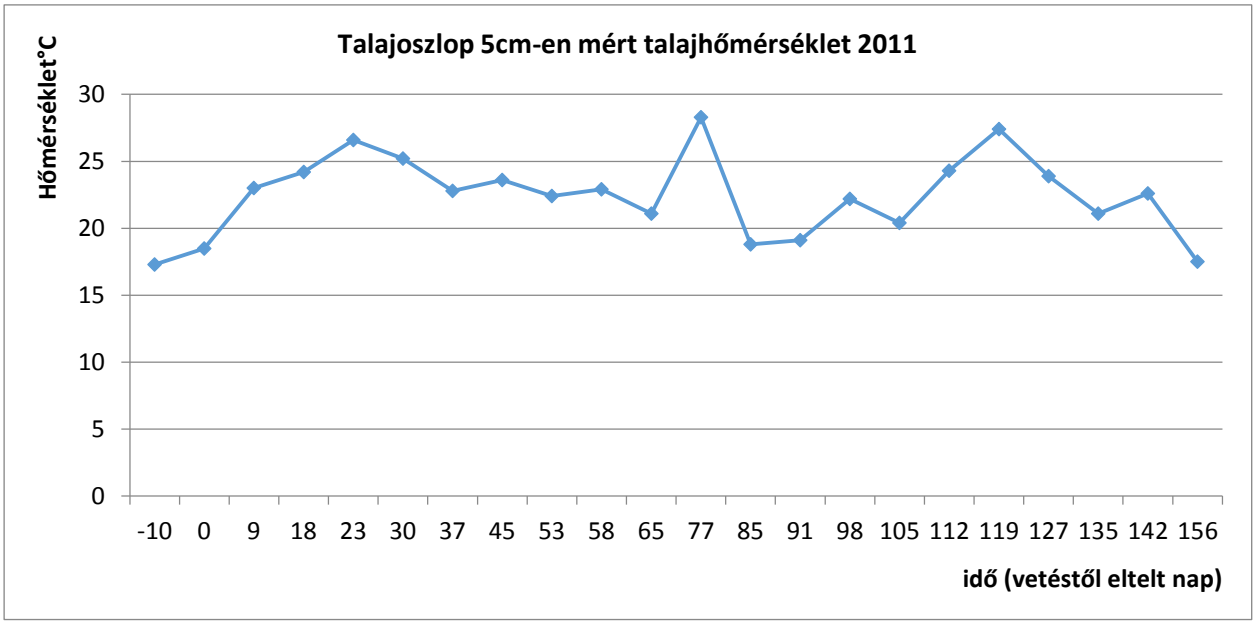


24. ábra:A CO_2 koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban, 2011. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.



25. ábra:A N_2O koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban, 2011. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.

A talajoszlopok 5 cm-es mélységében mért talajhőmérsékleteket a 26. ábra mutatja be.



26. ábra: a talajoszlopok 5cm-es mélységében mért hőmérsékletek, 2011

A **2011**-es tenyészidőszak folyamán a bolygatatlan talajoszlopokban elhelyezett gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével A kezelések közötti különbségek összehasonlító táblázatát a 12. táblázat mutatja be. A táblázat bal oldalán az egyes kezelések közötti különbségek láthatóak adott mélységben és időben. A táblázat jobb oldalán a mélység szerinti változások tekinthetőek meg kezelésenként adott időben. A növekvő sorrendbe rendezett eredmények között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel , illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl. A kezelések jelölését az 5. táblázat mutatja be.

12. táblázat: a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei a 2011. évi talajoszlop kísérletben

idő	CO_2	Mélység	kezelés x mélység
-10. nap	2<1<4<5<6<3	20	1;20<60<40 2;20<40<60
	2<1<4<6<5<<3	40	3;20<<40<60 4; 20<<40<60
	2<1<<4<6<5<3	60	5; 20<<40<60 6; 20<<40<60
0. nap	2<5<1<4<6<<3	20	1; 20<60<40 2; 20<40<60
	2<<1<4<6<5<3	40	3; 20<40<60 4;20<40<60
	2<1<<4<5<6<3	60	5;20<<40<60 6;20<40<<60

9. nap	4<2<6<1<5<<3	20	1; 20<40<60 2;40<20<60 3;20<<60<<40 4; 20<<40<60 5; 20<<40<60 6; 20<<40<60	
	2<<1<4<5<6<3	40		
	3<2<1<<4<5<6	60		
18. nap	2<4<1<6<5<<3	20	1;20<40<60 2;20<60<40 3;20<<60<40 4;20<<40<60 5;20<<60<40 6;20<<40<60	
	2<1<<4<<6<5<<3	40		
	2<<1<<5<4<6<3	60		
23. nap	3<2<5<6<<1<4	20	1;40<60<<20 2;40<60<20 3;20<<40<<60 4;40<<60<<20 5;20<40<60 6;20<60<40	
	2<1<4<3<5<6	40		
	2<1<6<4<5<<3	60		
30. nap	2<1<<4<6<<5<3	20	1;60<<20<40 2;40<20<60 3;40<<20<<60 4;20<<40<<60 5;20<<60<40 6;20<<40<<60	
	2<3<<1<<4<6<5	40		
	1<2<5<4<6<<3	60		
37. nap	2<<1<<4<<6<<5<<3	20	1;60<20<40 2;40<60<20 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60	
	2<<1<<4<<5<3<6	40		
	2<<1<<5<4<<6<3	60		
45. nap	2<1<<4<<6<<5<<3	20	1;20<40<60 2;40<20<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<60	
	2<<1<<4<<5<<3<6	40		
	2<<1<<4<<5<6<3	60		
53. nap	2<1<<4<5<6<<3	20	1;20<40<60 2;40<60<20 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60	
	2<<1<<4<<6<5<<3	40		
	2<<1<<6<4<<5<<3	60		
58. nap	2<1<<6<4<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;40<60 3;20<<40<60 4;20<40<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<60	Megjegyzés: 2. oszlop 20cm NA
	2<<1<<6<4<5<<3	40		
	2<1<<6<<4<<5<<3	60		

65. nap	2<1<<6<4<5<3	20	1;60<20<<40 2;20<40<60 3;20<<60<<40 4;20<<60<40 5;20<<40<<60 6;20<<40<60
	2<<1<<6<4<5<<3	40	
	1<2<<4<6<<5<<3	60	
77. nap	2<1<<6<4<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<60 6;20<<40<<60
	2<<1<<6<4<<5<<3	40	
	2<<1<<6<<5<4<<3	60	
85. nap	2<1<<5<<4<<3<6	20	1;20<40<60 2;60<40<20 3;20<60<<40 4;60<40<<20 5;60<40<<20 6;40<<60<<20
	2<1<<6<<4<<5<<3	40	
	2<<1<<4<6<5<<3	60	
91. nap	3<6<4<5<<2<<1	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<40<60 4;20<<60<40 5;40<20<60 6;20<60<40
	3<5<6<<4<<2<<1	40	
	6<<3<5<<4<<2<<1	60	
98. nap	4<3<6<5<1<2	20	1;20<<40<60 2;40<20<60 3;20<40<60 4;20<40<60 5;20<60<40 6;40<60<20
	6<3<4<5<2<<1	40	
	3<6<5<4<<2<<1	60	
105. nap	2<1<<4<6<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60
	2<<1<<4<<6<5<<3	40	
	2<<1<<4<5<6<<3	60	
112. nap	2<1<<6<4<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60
	2<<1<<6<<4<5<<3	40	
	2<<1<<6<4<5<<3	60	
119. nap	2<1<<6<4<<5<<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<<60<<40 4;20<<60<<40 5;60<<20<<40 6;20<<60<40
	2<1<<5<4<6<<3	40	
	2<5<1<<4<<6<<3	60	

127. nap	2<1<<6<4<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<<40<<60
	2<<1<<5<4<6<<3	40	
	2<<1<<5<4<<6<<3	60	
135. nap	2<1<<4<6<5<<3	20	1;20<<60<40 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<60 6;20<<40<<60
	2<<1<<5<4<6<<3	40	
	2<<1<<5<<4<<6<<3	60	
142. nap	2<1<<4<6<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5; 20<<40<60 6;20<<40<<60
	2<1<<4<5<<6<<3	40	
	2<<1<<5<<4<<6<<3	60	
156. nap	2<1<5<4<6<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<60<40 6;20<<40<<60
	2<1<<5<6<4<<3	40	
	2<1<5<<6<<4<<3	60	

idő	N_2O	Mélység	kezelés x mélység
-10. nap	4<3<2<5<1<6	20	1;20<60<40 2;20<60<40 3;20<40<60 4;20<40<60 5;20<40<60 6;20<40<60
	3<5<6<2<4<<1	40	
	3<2<6<5<4<1	60	
0. nap	2<4<1<5<6<3	20	1;60<20<40 2;20<40<60 3;60<20<40 4;40<20<60 5;60<20<40 6;60<20<40
	4<2<1<5<6<3	40	
	6<1<5<4<3<2	60	
9. nap	2<4<1<6<5<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;60<20<40 4;20<40<60 5;40<60<20 6;20<60<40
	2<5<4<1<6<3	40	
	3<2<5<6<4<1	60	
18. nap	3<4<6<2<5<1	20	1;20<60<40 2;40<20<60 3;20<40<<60 4;20<60<40 5;20<40<60 6;20<40<<60
	2<3<6<4<1<5	40	
	4<1<2<5<3<6	60	

23. nap	2<3<5<1	20	1;60<20<40 2;20<60<40 3;40<20<60 4;40<60 5;40<20<60 6;40<60	Megjegyzés: 4. 6. oszlop 20cm NA
	4<5<3<6<2<1	40		
	4<2<5<1<6<3	60		
30. nap	1<5<4<3<6<2	20	1;20<60<<40 2;40<20<60 3; 40<20<60 4;60<20<40 5;20<60<40 6;20<40<60	
	3<2<5<6<4<1	40		
	4<1<3<5<2<<6	60		
37. nap	4<5<6<3<<2<<1	20	1;20<<60<<40 2;20<60<<40 3;20<60<40 4;20<60<40 5;60<40<20 6;20<60<40	
	5<4<3<6<<2<<1	40		
	5<4<3<6<<2<<1	60		
45. nap	3<4<2<6<5<<1	20	1;20<<60<40 2;20<<40<60 3;40<20<60 4;60<20<40 5;60<40<20 6;60<20<40	
	3<5<6<4<<2<<1	40		
	4<5<6<3<<2<<1	60		
53. nap	4<6<3<5<2<<1	20	1;40<60<20 2;40<20<60 3;60<40<20 4;20<40<60 5;40<60<20 6;40<60<20	
	6<5<4<3<2<<1	40		
	6<4<3<5<2<<1	60		
58. nap	5<3<6<1<2<4	20	1;20<60<40 2;40<20<60 3;20<40<60 4;60<40<20 5;20<60<40 6;40<20<60	
	6<2<4<3<5<1	40		
	4<6<5<3<2<1	60		
65. nap	4<6<5<2<3<1	20	1;20<60<<40 2;60<20<40 3;60<20<40 4;60<20<40 5;40<60<20 6;40<60<20	
	6<5<4<3<2<1	40		
	4<6<5<2<3<1	60		
77. nap	6<4<3<2<5<<1	20	1;20<<40<60 2;20<60<40 3;20<40<60 4;60<20<40 5;60<20<40 6;40<20<60	
	5<3<4<6<2<<1	40		
	5<6<4<3<2<<1	60		

85. nap	3<5<<6<4<<2<<1	20	1;60<<20<<40 2;20<60<<40 3;60<40<20 4;20<<40<<60 5;20<60<40 6;60<40<<20
	6<3<<5<<4<<2<<1	40	
	6<3<<5<<1<2<4	60	
91. nap	3<6<4<5<<2<<1	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<40<<60 4;20<<40<60 5;40<20<60 6;60<20<40
	3<5<6<<4<<2<<1	40	
	6<<3<5<<4<<2<<1	60	
98. nap	4<3<6<5<<1<2	20	1;20<<40<60 2;40<20<60 3;20<40<60 4;20<40<60 5;20<60<40 6;40<60<20
	6<3<4<5<2<<1	40	
	3<6<5<4<<2<<1	60	
105. nap	4<6<5<2<3<1	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;40<60<20 4;20<40<60 5;20<60<<40 6;60<20<40
	3<4<6<2<5<1	40	
	5<6<3<4<2<<1	60	
112. nap	5<3<4<2<1<6	20	1;40<60<20 2;40<20<60 3;20<40<60 4;60<20<40 5;20<60<40 6;60<40<20
	2<6<3<4<1<5	40	
	4<5<6<3<1<2	60	
119. nap	4<3<5<6<2<<1	20	1;60<<40<<20 2;20<<60<40 3;20<40<60 4;40<60<20 5;60<40<20 6;60<40<<20
	4<5<3<6<<2<<1	40	
	6<5<4<3<<2<1	60	
127. nap	4<3<2<5<6<<1	20	1;20<<40<<60 2;20<<60<40 3;40<60<20 4;20<60<40 5;20<40<60 6;20<<60<40
	3<4<5<2<6<<1	40	
	3<4<<2<5<6<<1	60	
135. nap	4<1<3<2<5<<6	20	1;20<60<<40 2;20<60<40 3;40<60<20 4;60<40<20 5;40<20<60 6;20<60<40
	3<4<5<2<<6<1	40	
	4<3<2<1<5<<6	60	

142. nap	4<3<5<2<1<<6	20	1;40<20<60 2;40<20<60 3;60<20<40 4;20<40<60 5;20<40<60 6;20<<40<60
	4<2<1<3<5<<6	40	
	3<4<1<2<5<<6	60	
156. nap	2<4<5<1<3<6	20	1;60<20<40 2;20<60<40 3;60<40<20 4;20<40<60 5;40<20<60 6;20<60<40
	5<4<3<1<2<6	40	
	3<1<2<5<4<6	60	

2011-ben a talajoszlop kísérleti rendszerben az alábbiakat figyeltem meg:

A CO_2 emisszió tekintetében az 1. számú (növény nélküli kontroll) talajoszlop a legnagyobb emissziós értéket a vetést követő 30. napon produkálta, a legkisebb CO_2 emissziót pedig a vetést követő 105. napon tapasztaltam. A CO_2 koncentráció terén a legmagasabb koncentrációt (41992 μg L^{-1}) a vetéstől számított 91. napon mértem 60 centiméteres talajmélységben, míg a legalacsonyabb koncentrációt (2080 μg L^{-1}) a 65. napon 60 centiméteres talajmélységben. N_2O esetén az 1. talajoszlopnál a legnagyobb gázprodukciót a vetéstől számított 85. napon mértem 40 cm-es talajmélységben (15,98 μg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb N_2O produkciós értéket a 30. napon a legfelső (20 cm-es talajmélységben) mértem (0,01 μg L^{-1} értékben).

A 2. (növény nélküli, 3 egység istállótrágya kezelésben részesített) talajoszlop a legmagasabb CO_2 emissziós értéket a vetéstől számított 85. napon produkálta, míg a legcsekélyebb emissziós értéket a vetéstől számított 112. napon tapasztaltam. A CO_2 produkciós érték terén a talajoszlop a legmagasabb koncentrációt a vetéstől számított 91. napon 60 cm-es talajmélységben produkálta (14522 μg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb CO_2 produkciót a vetést megelőző 10. napban mértem (1845 μg L^{-1} értékben). N_2O tekintetében a 2. talajoszlopnál a vetéstől számított 85. napon 20 cm-es talajmélységben mértem a legnagyobb értéket (4,38 μg L^{-1}). A legcsekélyebb N_2O produkciót a legutolsó napon (156. nap a vetéstől számolva) mértem 20 cm-es talajmélységben (0,04 μg L^{-1} értékben).

A 3. talajoszlop (növényt tartalmazó kontroll) legnagyobb CO_2 emissziós értékét a vetéstől számított 37. napon tapasztaltam. A legcsekélyebb CO_2 emissziót az emisszió mérés kezdetén, a vetéstől mért 9. napon figyeltem meg. CO_2 produkció tekintetében a legnagyobb koncentrációt a vetéstől mért 53. napon mértem a legnagyobb talajmélységben (67785 μg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb CO_2 koncentrációt a vetéstől számított 91. napon mértem (mindössze 120 μg L^{-1} értékben). N_2O produkció tekintetében a legnagyobb mennyiséget a vetéstől számított 91. napon mértem 60 cm-es talajmélységben, de ez az érték sem érte el az 1 μg L^{-1} értéket. A legkisebb N_2O

koncentrációt a vetést megelőző 10. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (0,016 μg L^{-1} értékben).

A 4. (3 egységes NPK műtrágya kezelésben részesített) talajoszlop a legnagyobb CO_2 emissziót a vetést követő 65. napon produkálta. A legkisebb emisszió detektálására a mérés legutolsó napján (156. napon) került sor. A legnagyobb CO_2 produkciót ennél az oszlopnál a vetést követő 45. napon 60 cm-es talajmélységben mértem (45685 μg L^{-1} értékben). A legkisebb CO_2 produkciót ennél az oszlopnál a vetés utáni 98. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (csupán 177 μg L^{-1} értékben). Az N_2O produkció ezen talajoszlop esetében a vetéstől számított 74. napon a 60 cm-es talajmélységben volt a legnagyobb (4,8 μg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb N_2O produkciót a vetéstől számított 135. napon 60cm-es talajmélységben mértem (0,019 μg L^{-1} értékben).

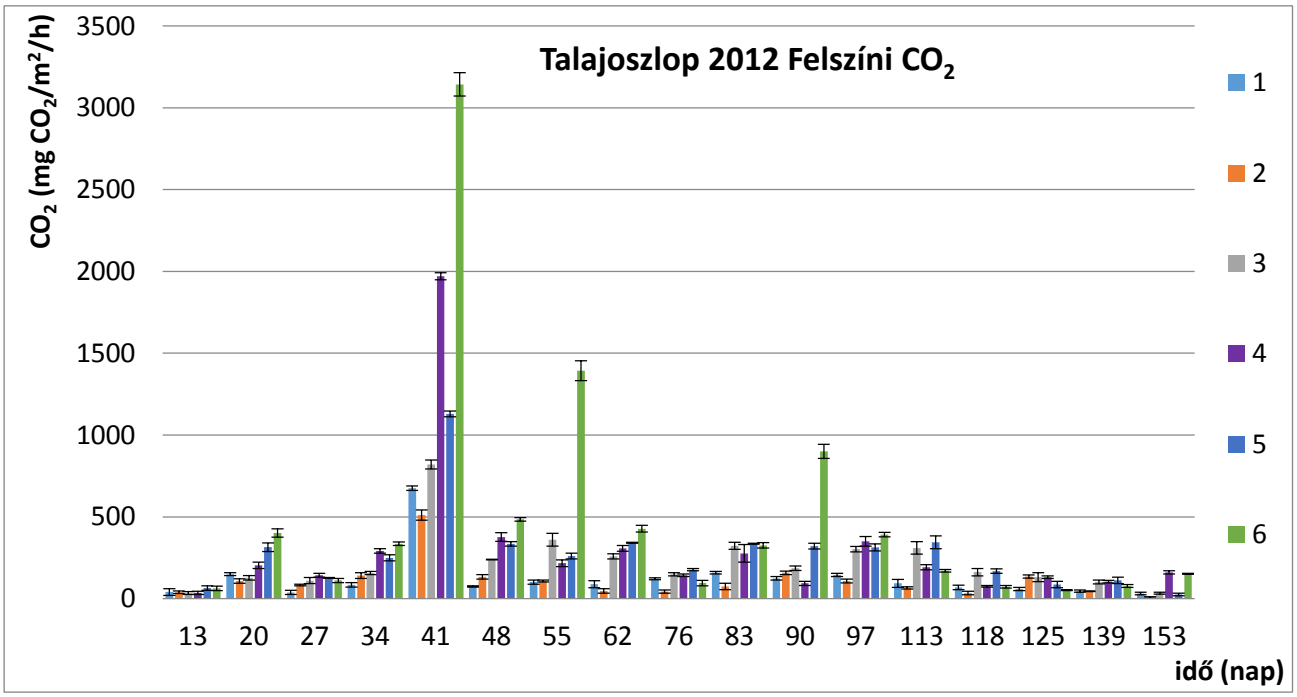
Az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlopnál a CO_2 esetében a legmagasabb gázemissziós érték a vetést követő 119. napon volt tapasztalható. Ezen oszlop legmagasabb CO_2 produkcióját a vetéstől számított 45. napon 60 cm-es talajmélységben mértem (53836 μg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb CO_2 produkciót 20 cm-es talajmélységben a vetést követő 98. napon mértem (1016 μg L^{-1} értékben). N_2O esetében a legnagyobb koncentrációt a vetéstől eltelt 85. napon mértem a középső (40 cm-es) talajmélységben, (1,8 μg L^{-1} értékben), a legcsekélyebb N_2O koncentrációt pedig a vetéstől számított 37. napon 60 cm-es talajmélységben (0,026 μg L^{-1} értékben).

CO_2 emisszió esetén a 6. számú (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop a vetéstől számított 53. napon produkálta a legnagyobb értéket, de hasonló emissziós értéket produkált a vetéstől számított 37. napon is. CO_2 emisszió terén ez az oszlop produkálta az összes többi oszlop közül a legnagyobb koncentrációkat. A CO_2 produkció ebben a talajoszlopban a vetést követő 37. napon 60 cm-es talajmélységben volt a legnagyobb (42244 μg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb CO_2 produkciót ennél a talajoszlopban a vetéstől számított 91. napon 20 cm-es talajmélységben mértem (csupán 144 μg L^{-1} értékben). Az N_2O esetében ennél a talajoszlopnál a vetéstől számított 85. napon mértem a maximális értéket a legfelső 20 cm-es talajmélységben (1,92 μg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb N_2O koncentrációt a vetéstől számított 77. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (0,036 μg L^{-1} értékben).

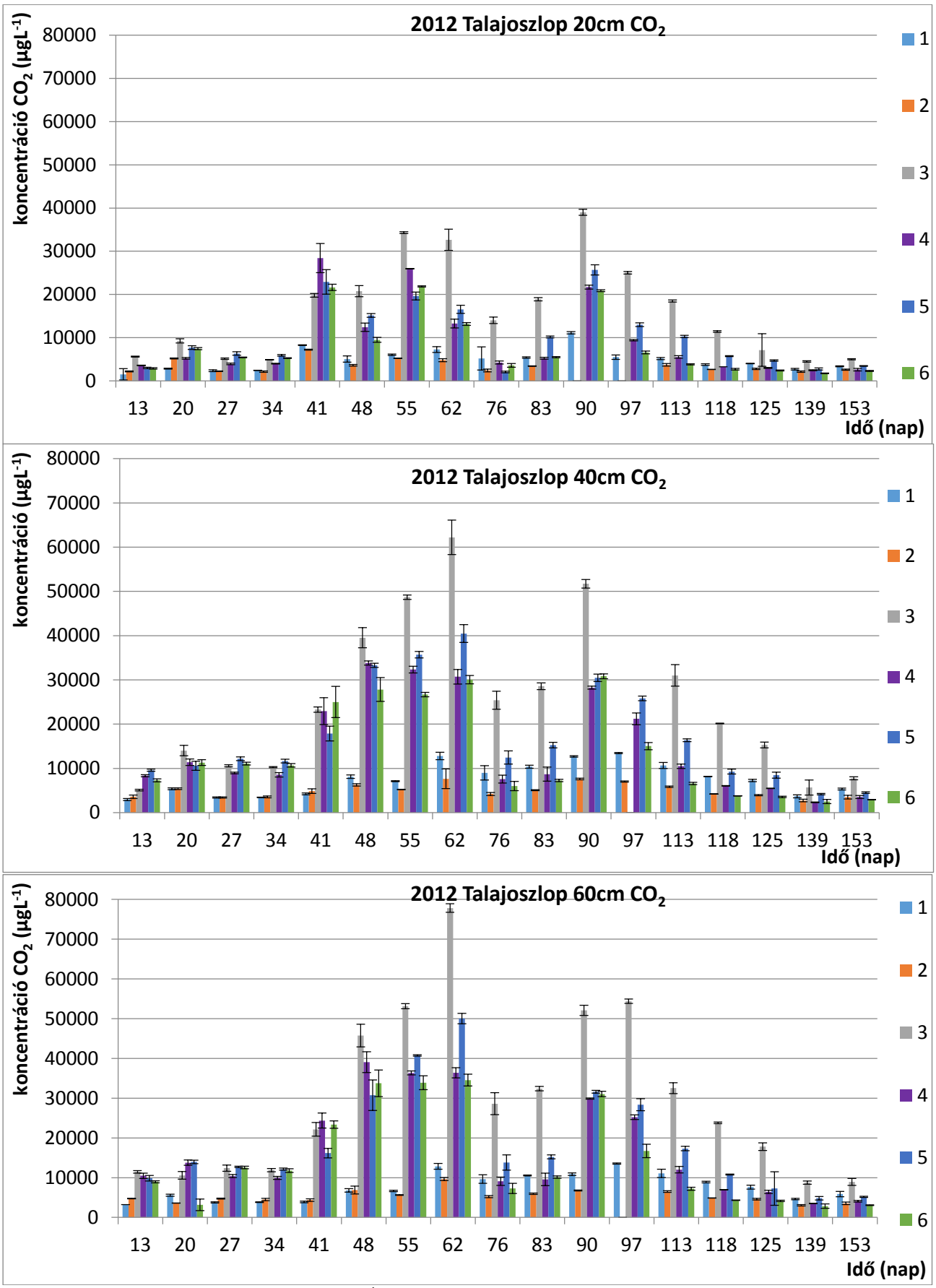
Valamennyi kezelést vizsgálva elmondható, hogy N_2O esetén egy koncentráció csúcs figyelhető meg a növényt tartalmazó oszlopok esetében. Ez a csúcs a vetéstől számított 85. nap környékén látható. A növényt nem tartalmazó oszlopok esetében lényegesen magasabb koncentrációk tapasztalhatóak. Ezen oszlopoknál, 2 csúcskoncentráció figyelhető meg. A nagyobb a vetéstől számított 85. nap környékén látható, a kisebb pedig a vetéstől számított 45.-62. napoknál. CO_2 produkciós értékek esetén két hasonló koncentrációcsúcs figyelhető meg. Az egyik a vetéstől számított 45.-53., a másik pedig a vetéstől számított 119. napon tapasztalható. Ebben a

kísérleti évben is megfigyelhető, hogy általában 60 cm-en mértem a legnagyobb CO_2 koncentrációkat. A növény nélküli talajoszlopok lényegesen kisebb CO_2 koncentrációt produkáltak a növényt tartalmazó talajoszlopokhoz képest. A CO_2 emissziós értékeket ebben az évben is a tápanyaggal leginkább ellátott 6. talajoszlop produkálta a vetéstől mért 37, 53. és 65. napon. Az eltérés egy nagyságrendű volt a többi oszlop értékeihez képest. Nagyjából a kísérleti év közepéig az emissziós értékek követték a produkciós értékeket, de a kísérleti év második felében az emissziós értékek alulmaradtak a produkciós értékekhez képest.

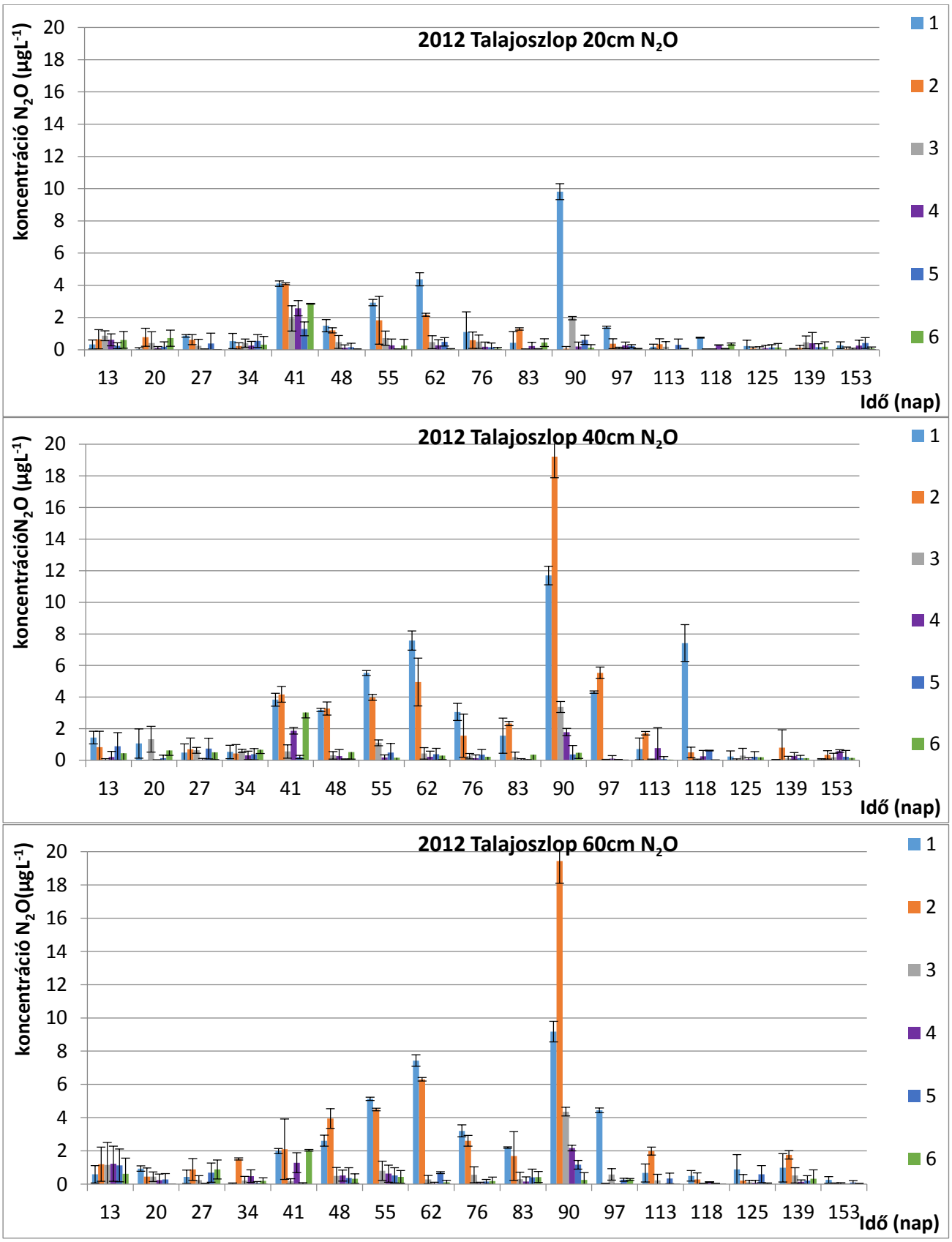
A 2012-ben mért gázemissziós eredményeket a 27. ábra, a produkciós eredményeket pedig a 28. és 29. ábra szemlélteti.



27. ábra: a felszíni CO_2 kibocsátás talajoszlop kísérleti rendszerben, 2012. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.

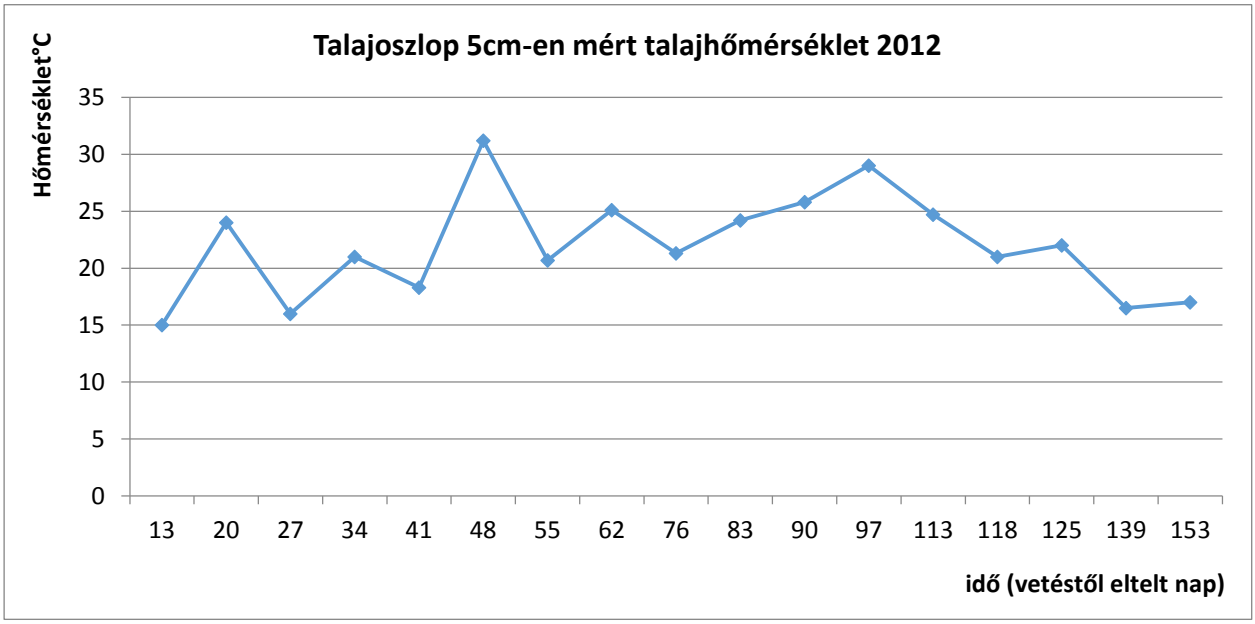


28. ábra: A CO_2 koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban, 2012. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.



29. ábra: N_2O koncentráció (μgL^{-1}) változása a tenyészidő folyamán (vízszintes tengely: napok száma a vetéstől) 20, 40 és 60 cm-es mélységben bolygatatlan talajoszlopban, 2012. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.

A talajoszlopok 5 cm-es mélységében mért talajhőmérsékleteket, a 30. ábra mutatja be.



30. ábra: a talajoszlopok 5 cm-es mélységében mért hőmérsékletek, 2012

A **2012**-es tenyészidőszak folyamán a bolygatatlan talajoszlopokban elhelyezett gázcsapdákból vett talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának elemzésére varianciaanalízist végeztem SPSS 16 szoftver segítségével. A kezelések közötti különbségek összehasonlító táblázatát a 13. táblázat mutatja be. A táblázat bal oldalán az egyes kezelések közötti különbségek láthatóak adott mélységben és időben. A táblázat jobb oldalán a mélység szerinti változások tekinthetőek meg kezelésenként adott időben. A növekvő sorrendbe rendezett eredmények között a szignifikáns ($p<0,05$) különbséget a << jel , illetve az összekapcsolás mutatja, a < jel nem szignifikáns különbséget jelöl. A kezelések jelölését az 5. táblázat mutatja be.

13. táblázat: a talajlevegő mintákban mért CO_2- és N_2O-koncentrációk változásának varianciaanalízis eredményei a 2012. évi talajoszlop kísérletben

idő	CO_2	Mélység	kezelés x mélység
13. nap	2<1<6<5<4<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60
	1<2<3<6<4<5	40	
	1<2<<6<5<4<3	60	
20. nap	1<<2<4<<6<5<3	20	1;20<<40<60 2;60<20<40 3;20<60<<40 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;60<<20<<40
	1<2<<5<6<4<<3	40	
	6<2<<1<<3<<4<5	60	

27. nap	2<1<4<3<6<5	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60
	2<1<<4<3<6<5	40	
	1<2<<4<<3<6<5	60	
34. nap	2<1<4<3<6<5	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60
	1<2<<4<3<6<5	40	
	1<2<4<6<3<5	60	
41. nap	2<1<<3<6<5<<4	20	1;60<40<<20 2;60<40<<20 3;20<<60<40 4;40<60<<20 5;60<40<<20 6;20<60<40
	1<2<<5<<4<3<6	40	
	1<2<<5<<3<6<4	60	
48. nap	2<1<<6<<4<<5<<3	20	1;20<60<40 2;20<<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<60<<40 5;20<<60<<40 6;20<<40<<60
	2<1<<6<<5<<4<<3	40	
	1<2<<5<<6<<4<<3	60	
55. nap	2<1<<5<<6<<4<<3	20	1;20<60<40 2;40<20<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60
	2<1<<6<<4<<5<<3	40	
	2<1<<6<<4<<5<<3	60	
62. nap	2<<1<<6<4<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<<60
	2<<1<<6<4<<5<<3	40	
	2<<1<<6<4<<5<<3	60	
76. nap	5<2<6<4<1<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60
	2<6<4<1<<5<<3	40	
	2<<6<4<1<<5<<3	60	
83. nap	2<4<1<6<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;20<<60<40 6;20<40<<60
	2<<6<4<1<<5<<3	40	
	2<<4<6<1<<5<<3	60	

90. nap	1<<6<4<<5<<3	20	1;60<20<40 2;60<40 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60	Megjegyzés: 2. oszlop 20cm NA
	2<<1<<4<<5<6<<3	40		
	2<<1<<4<6<5<<3	60		
97. nap	1<6<<4<<5<<3	20	1;20<<40<60 3;20<<60 4;20<<40<<60 5;20<<40<<60 6;20<<40<60	Megjegyzés: 2;6. oszlop 20cm NA 3. oszlop 40cm NA
	2<<1<6<<4<<5	40		
	1<<6<<4<<5<<3	60		
113. nap	2<6<1<4<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<<40<60 3;20<<40<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<<40<60	
	2<6<<4<1<<5<<3	40		
	2<6<<1<4<<5<<3	60		
118. nap	2<6<4<1<<5<<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<40<60	
	6<2<4<<1<5<<3	40		
	6<2<4<1<5<<3	60		
125. nap	6<2<4<1<5<<3	20	1;20<<40<60; 2;20<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;20<<40<60 6;20<40<60	
	6<2<4<1<5<<3	40		
	6<2<4<5<1<<3	60		
139. nap	6<2<4<1<5<3	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;20<40<<60 4;40<20<60 5;20<40<60 6;20<40<60	
	4<6<2<1<5<3	40		
	6<2<4<1<5<<3	60		
153. nap	6<2<4<1<5<3	20	1;20<<40<60 2;20<40<60 3;20<<40<60 4;20<40<60 5;20<40<60 6;20<40<60	
	6<2<4<5<1<<3	40		
	6<2<4<5<1<<3	60		

idő	N_2O	Mélység	kezelés x mélység	
13. nap	5<6<4<2<3<1	20	1;20<40<<60 2;20<40<60 3;40<20<60 4;40<20<60 5;20<<40<60 6;40<20<60	
	3<4<6<2<5<1	40		
	6<3<2<4<5<<1	60		
20. nap	1<4<5<3<6<2	20	1;20<60<40 2;40<20<60 3;20<60<<40 4;40<20<60 5;40<20<60 6;40<60	Megjegyzés: 6. oszlop 60cm NA
	2<4<5<6<1<3	40		
	4<5<3<2<1	60		
27. nap	6<4<3<5<2<1	20	1;60<40<20 2;20<40<60 3;20<60<40 4;60<20<40 5;20<60<40 6;20<40<60	
	4<1<3<2<6<5	40		
	4<3<1<5<2<6	60		
34. nap	2<4<6<3<5<1	20	1;60<40<20 2;20<40<<60 3;60<20<40 4;20<40<60 5;60<40<20 6;60<20<40	
	4<5<2<1<3<6	40		
	5<1<6<3<4<<2	60		
41. nap	5<3<4<6<<2<1	20	1;60<<40<20 2;60<<20<40 3;60<40<<20 4;60<40<20 5;60<40<<20 6;60<20<40	
	5<3<<4<<6<1<2	40		
	5<3<<4<1<6<2	60		
48. nap	6<5<4<3<2<1	20	1;20<<60<40 2;20<<40<60 3;40<20<60 4;20<40<60 5;40<20<60 6;20<60<40	
	5<4<3<6<<1<2	40		
	3<6<4<5<<1<<2	60		
55. nap	5<4<6<3<<2<<1	20	1;20<<60<40 2;20<<40<60 3;20<60<40 4;40<20<60 5;20<60<40 6;40<20<60	
	6<4<5<3<<2<<1	40		
	6<5<4<3<<2<1	60		
62. nap	6<4<3<5<<2<<1	20	1;20<<60<40 2;20<<40<<60 3;60<40<20 4;60<40<20 5;40<20<60 6;20<60<40	
	6<4<5<3<<2<<1	40		
	6<4<3<5<<2<<1	60		

76. nap	6<4<5<3<2<<1	20	1;20<<40<60 2;20<<40<<60 3;40<20<60 4;60<20<40 5;60<20<40 6;60<20<40	
	4<6<3<5<<2<<1	40		
	4<5<6<3<<2<1	60		
83. nap	3<5<4<1<6<2	20	1;20<<40<60 2; 20<<40<60 3;20<40<60 4;40<20<60 5;40<20<60 6;40<60<20	
	5<4<3<6<<1<2	40		
	3<5<6<4<<1<2	60		
90. nap	6<4<2<5<<3<<1	20	1;60<20<<40 2;20<<40<60 3;20<<40<<60 4;20<<40<60 5;40<20<60 6;20<60<40	
	5<6<<4<<3<<1<<2	40		
	6<<5<<4<<3<<1<<2	60		
97. nap	6<3<5<4<2<<1	20	1;20<<40<60 2;60<20<<40 3;40<20<60 4;60<20<40 5;40<20<60 6;40<20<60	
	6<5<3<4<<1<<2	40		
	4<2<5<6<3<<1	60		
113. nap	6<1<3<5<2	20	1;20<60<40 2;20<<40<60 3;40<60<20 4;40<60<20 6;40<20	Megjegyzés: 4. oszlop 20, 60cm NA. 6. oszlop 60cm NA.
	3<6<5<1<4<2	40		
	3<5<1<<2	60		
118. nap	2<3<5<4<6<1	20	1;20<60<<40 2; 20<60<40 3;20<40<60 4;40<60<20 5;20<60<40 6;40<20	Megjegyzés: 6. oszlop 60cm NA.
	6<3<4<2<5<<1	40		
	5<3<4<2<1	60		
125. nap	2<3<5<6<1<4	20	1;20<40<60 2;20<40<60 3;60<20<40 4;40<60<20 5;20<40<60 6;60<20<40	
	2<4<5<1<3<6	40		
	6<3<4<2<1<5	60		

139. nap	1<2<5<6<4<3	20	1;20<40<<60 2;20<<40<60 3;40<20<60 4;60<40<20 5;40<60<20 6;40<20<60	
	1<3<5<6<4<<2	40		
	4<5<6<3<<1<2	60		
153. nap	3<6<2<4<1<5	20	1;40<60<20 2;60<20<40 3;20<60<40 4;20<40 5;60<20<40 6;60<20<40	Megjegyzés: 4. oszlop 60cm NA.
	1<6<3<2<4<5	40		
	6<3<2<5<1	60		

2012-ben a talajoszlop kísérleti rendszerben az alábbiak mondhatóak el:

Az első talajoszlop (növény nélküli kontroll) legmagasabb CO_2 emisszióját a vetéstől számított 41. napon produkálta, míg a legalacsonyabbat a kísérleti év legutolsóként vizsgált 153. napján. A CO_2 produkció esetében a vetéstől számított 97. napon 60 cm-es talajmélységben mértem a legmagasabb CO_2 koncentrációt (13572 µg L^{-1} értékben). A legkisebb koncentrációt az első mérési napon tapasztaltam 20 cm-es talajmélységben (1529 µg L^{-1} értékben). Ebben a talajoszlopban az N_2O produkció a vetéstől számított 90. napon volt a legmagasabb a talajoszlop középső rétegében (11,69 µg L^{-1} értékben). A legalacsonyabb N_2O produkció értéket a vetéstől számított 34. napon mértem 60 cm-es talajrétegben (20 ng L^{-1} értékben).

A 2. talajoszlop (3 egység NPK műtrágya növény nélkül) a CO_2 emisszió tekintetében a vetéstől számított 41. napon produkálta a legnagyobb értéket. A legcsekélyebb emissziós érték a mérés legutolsó napján (a vetéstől számított 153. napon) figyeltem meg. A CO_2 produkció tekintetében a legnagyobb koncentrációt a vetést követő 41. napon mértem a 20cm-es talajrétegben (7223 µg L^{-1} értékben). A legkisebb CO_2 produkciós értéket a vetéstől számított 34. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (2132 µg L^{-1} értékben), de ehhez az eredményhez nagyon közel állnak a 13. és 27. nap legfelső szintjén mért értékek is. Ebben az oszlopban a legnagyobb N_2O koncentrációt a vetéstől számított 90. napon mértem 60cm-es mélységben (19,44 µg L^{-1} értékben). Ezen a napon a legalsó talajrétegben is elég nagy N_2O koncentrációt mértem, amely alig (csupán 0,23 µg L^{-1}-el) tért el az aznapi legmagasabb koncentrációtól. A legfelső rétegben viszont ezen a napon mértem az egyik legkisebb N_2O koncentrációt (0,07 µg L^{-1} értékben). Ennél csekélyebb N_2O koncentrációt csupán a vetéstől számított 118. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (0,04 µg L^{-1} értékben).

A 3. talajoszlop (növényt tartalmazó kontroll) a legnagyobb CO_2 emissziós értéket a vetéstől számított 41. napon produkálta, a legkisebb emissziót pedig a mérés utolsó napján (a vetéstől számított 153. napon) tapasztaltam. A legmagasabb CO_2 produkciós értéket a vetéstől számított 62. napon 60 cm-es talajmélységben mértem (77834 µg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb CO_2 produkciót a vetéstől számított 139. napon 20 cm-es mélységben mértem (4503 µg L^{-1} értékben).

Ezen oszlopnál a 90. napon mértem 60 cm-es talajmélységben a legnagyobb N_2O koncentrációt (4,36 µg L^{-1} értékben). A legkisebb N_2O koncentrációt a 83. napon 20 cm-es talajmélységben figyeltem meg (30 ng L^{-1} értékben).

A 4. (3 egység NPK műtrágya kezelésben részesített) oszlop CO_2 emissziója a 41. napon volt a legmagasabb, a legkevesebb CO_2 pedig a vetéstől számított 13. napon emittálódott. CO_2 produkció tekintetében a legmagasabb értéket ennél az oszlopnál a vetéstől számított 48. napon mértem 60 cm-es talajmélységben (39060 µg L^{-1} értékben). A legkisebb produkciót az utolsó előtti mérési napon (139. napon) mértem (2315 µg L^{-1} értékben). A legnagyobb N_2O produkciót ennél az oszlopnál a vetéstől számított 41. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (2,58 µg L^{-1} értékben). A legkisebb N_2O produkciót a vetést követő 97. napon mértem (0,01 µg L^{-1} értékben).

Az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlopnál a legnagyobb CO_2 gázemissziót a 41. napon figyeltem meg, a legcsekélyebb emissziós értéket pedig a vetést követő 153. napon tapasztaltam. A legmagasabb CO_2 produkciót a vetéstől számított 90. napon a legnagyobb (60 cm-es) talajmélységben mértem (31629 µg L^{-1} értéket). A legkisebb produkciós értéket a vetéstől számított 76. napon mértem a 20 cm-es talajmélységben (2048 µg L^{-1} értékben). Az N_2O tekintetében a legmagasabb produkciós értéket ezen oszlop esetében a vetéstől számított 41. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (1,3 µg L^{-1} értékben). A legcsekélyebb N_2O koncentrációt a vetést követő 83. napon mértem 40 cm-es talajmélységben (0,02 µg L^{-1} értékben).

A 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop esetében a legmagasabb CO_2 emissziós értéket a vetéstől számított 55. napon észleltem, a legcsekélyebb emissziós értéket pedig a vetést követő 125. napon tapasztaltam. A legmagasabb CO_2 produkciós értéket a vetéstől számított 62. napon a legmélyebb (60 cm-es) rétegben mértem (34544 µg L^{-1} értékben). A legkisebb CO_2 produkciós értéket ennél az oszlopnál a vetést követő 139. napon mértem 20 cm-es talajmélységben (1760 µg L^{-1} értékben). N_2O tekintetében a legnagyobb koncentrációt a vetést követő 41. napon mértem 40 cm-es talajmélységben (3,03 µg L^{-1} értékben). A többi mérési pontban 1 µg L^{-1} értéknél kisebb N_2O produkciót tudtam csak mérni.

Valamennyi kezelést figyelembe véve elmondható, hogy N_2O esetén egy koncentrációcsúcs figyelhető meg a növényt nem tartalmazó oszlopok esetében. Ez a csúcs a vetéstől számított 90. napnál látható. A növényt tartalmazó oszlopok esetében kettős csúcs figyelhető meg a vetést követő 41., valamint 90. napnál. Ebben az évben is megfigyelhető volt, hogy a növényt nem tartalmazó talajoszlopok lényegesen magasabb koncentrációt produkáltak a növényt tartalmazó talajoszlopokhoz képest. A csúcskoncentrációk elérése után mind a növénnyel beültetett, mind a növény nélküli talajoszlopok esetében monoton koncentráció csökkenés volt megfigyelhető. CO_2 esetén egy nagyobb és egy kisebb csúcs volt megfigyelhető, főleg a

legmélyebb, 60 cm-es talajréteg esetén. A nagyobb koncentrációcsúcs a vetéstől számított 55.-61. nap környékén volt megfigyelhető, míg a kisebb koncentrációcsúcs a 90.-97. napon tapasztalható. Az emissziós értékeknél ebben az évben is megfigyelhető, hogy a legnagyobb tápanyag-ellátású 6. talajoszlop produkálta a legnagyobb CO_2 emissziót.

5.4. A talajoszlopok szénmérlegének számítása

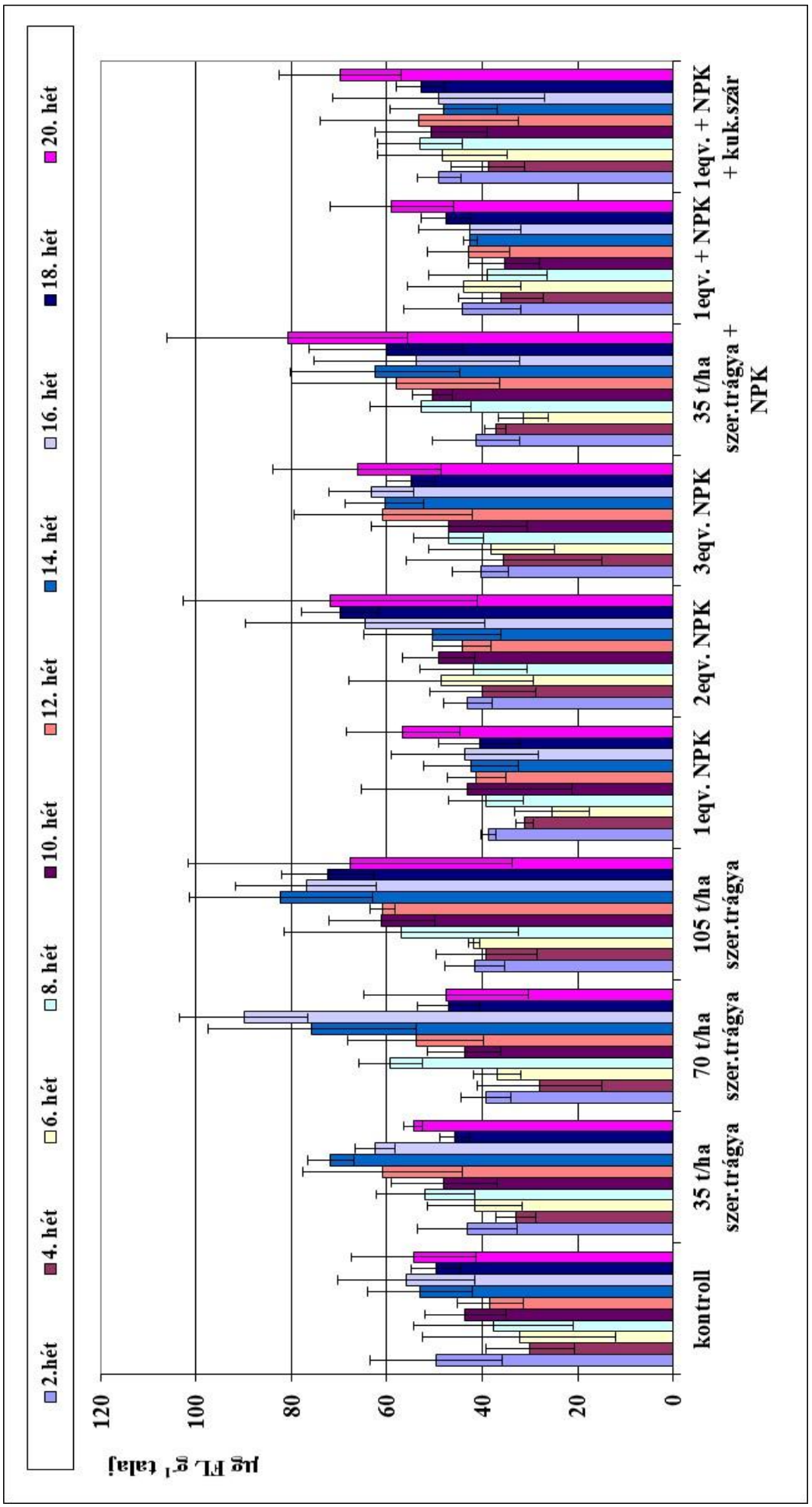
A kísérletsorozat elején a talaj szerves széntartalmának (SOC) mérésére is sor került 2008-ban. 2012-ben a kísérlet végeztével szintén mérésre került a SOC. A trágyából származó SOC-bevitel 126,9 g volt az 5.- és a 6.-oszlopok esetében 2008-ban és 2010-ben. A talajban visszamaradt szénmennyiség becslésekor a kifejlett kukoricanövény széntartalom átlagának 29%-ával vettük figyelembe, ahogyan azt Amos és Walters javasolta (2006). A talaj kumulatív CO_2-C kiáramlását Gong és munkatársai (2012) javaslata alapján számítottuk ki olyan módon, hogy az összegzett két szomszédos fluxus átlagát megszoroztuk annak intervallum idejével. A négy évből becsült egyszerűsített szénmérleget a 14. táblázat mutatja be. A szénmérleg számítások bővebben Molnár et al. (2016) munkájában tekinthetők meg részletesebben.

14. táblázat: a négy éves periódusból becsült szénmérleg (g C m^{-2}). A kezeléseket az 5. 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

5.5. Fluoreszcein-diacetát (FDA) vizsgálat eredményei tenyészedény kísérleti rendszerben

A keszthelyi kísérletből származó talajminták fluoreszcein tartalmának mérési eredményeit összesítve a 31. ábra tartalmazza. A függőleges tengelyen a fluoreszcein tartalom látható μg g^{-1} talajra vonatkoztatva 2 órás rázatási időt figyelembe véve. A vízszintes tengelyen az egyes kezelések szerinti csoportosításban a mérési heteket különböző színnel tüntettem fel.



31. ábra: a fluoreszcein koncentrációja a mezokozmosz mintákban, 2009

A diagram alapján heti lebontásban az alábbi megfigyelések mondhatóak el:

A második héten az 5. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelést kapott talajminták fluoreszcein tartalma volt a legalacsonyabb és az 1. számú (kontroll) mintáké volt a legmagasabb. Fluoreszcein tartalom tekintetében egyik minta sem haladta meg az 50 μg g^{-1} talaj értéket.

A negyedik héten egyik talajminta sem lépte át a 40 μg g^{-1} talaj fluoreszcein koncentrációt. A legmagasabb koncentrációt a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelést kapott talajminták, míg a legalacsonyabbat a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) kezelést kapott talajminták produkálták.

A hatodik héten – az első héthez hasonlóan – semelyik talajminta koncentrációja sem haladta meg az 50 μg g^{-1} talaj értéket. A legnagyobb mikrobiális aktivitást ismét a 6. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyával kezelt) talajminták érték el. A legalacsonyabb eredményt az 5. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelésben részesült minták produkálták.

A nyolcadik héten az előző héthez viszonyítva intenzívebb mikrobiális tevékenységet tapasztaltam a 6. (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) és a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű és további NPK műtrágya) kezelésben részesült talajminták kivételével. A 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) kezelésben részesült talajminták produkálták a legnagyobb változást (37,06-ról 57,35 μg g^{-1} talaj értékre növekedett a fluoreszcein koncentrációja) ezzel ez a minta produkálta ezen a héten a legmagasabb eredményt. A legalacsonyabb értéket pedig az 1. számú (kontroll) talajminták mutatták.

A vizsgálat tizedik hetében a legmagasabb aktivitást a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyás) kezelésnél tapasztaltam. Egyedül itt volt megfigyelhető, hogy a fluoreszcein koncentrációja meghaladja a 60 μg g^{-1} talaj értéket (61,11 μg g^{-1} talaj). A legalacsonyabb aktivitást a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű és további NPK műtrágyás) kezelésű minták mutatták.

A tizenkettedik héten mért adatok szinte azonos eredményt mutatnak a 2. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyás), a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyás) és a 7. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelésű talajminták esetében. Mindhárman kevesebb, mint 1 μg g^{-1} talaj értékkel haladják meg a talajminta grammonkénti 60 μg fluoreszcein koncentrációját. A legalacsonyabb koncentrációt az 1. számú (kontroll) minta produkálta.

A tizennegyedik héten a legmagasabb eredményeket a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyás) kezelésű talajminták mutatták. A legalacsonyabb eredményt pedig a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű és további NPK műtrágyás kezelésű) minták mutatták.

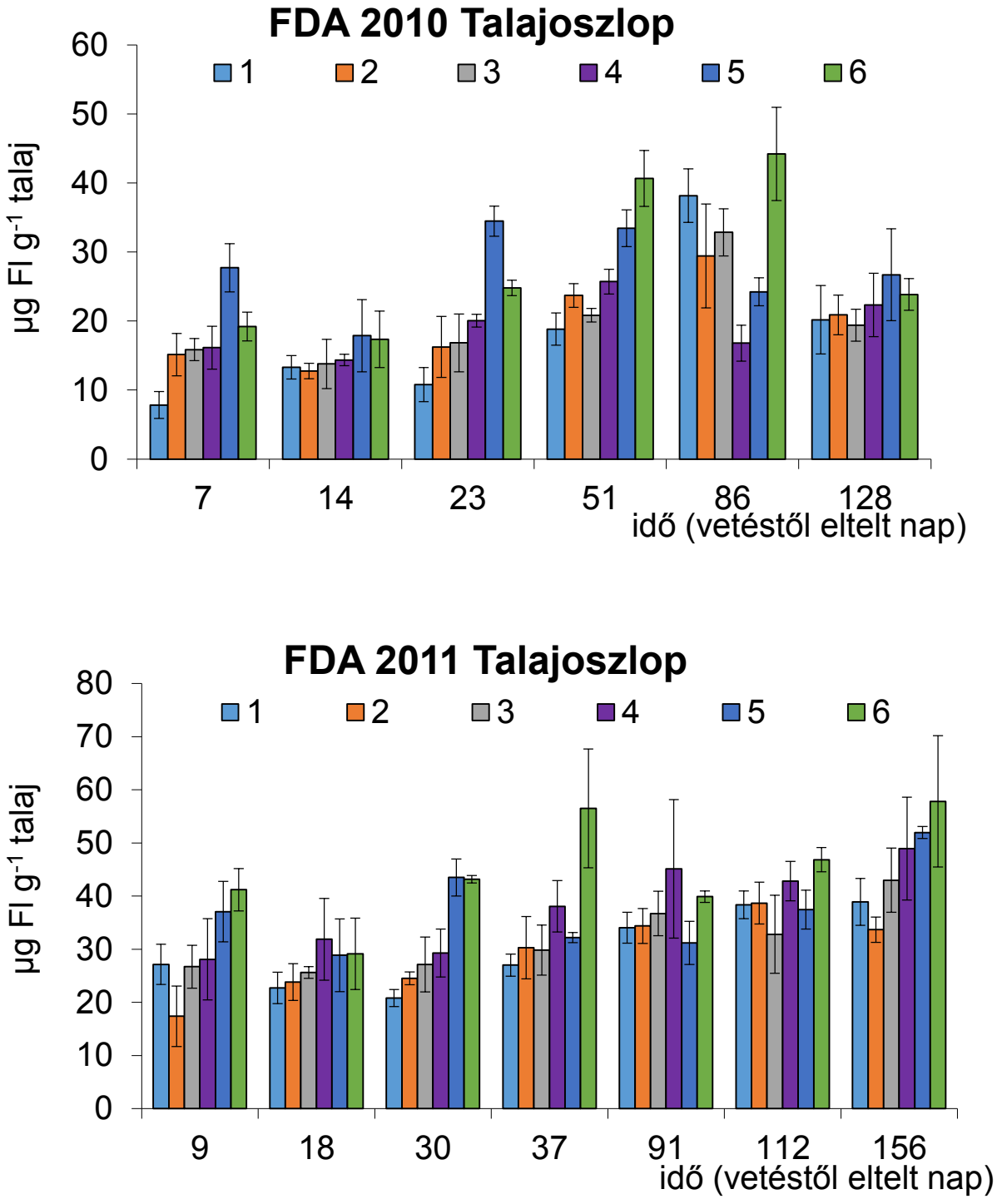
A mérés tizenhatodik hetében a 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával történő) kezelésben a mikrobiális aktivitás elérte a vizsgálat során mért legmagasabb értéket (90 µg g^{-1} talaj). A legalacsonyabb aktivitást az előző héthez hasonlóan a 9. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű és további NPK műtrágyás) kezelésben részesült talajminták produkálták.

A tizennyolcadik héten a 4. számú (105 t ha^{-1} istállótrágyás) kezelésben részesült talajminták mutatták a legmagasabb értékeket, bár az előző heti értékeihez képest alacsonyabb ez a koncentráció érték. A tizenhatodik héten a legmagasabb aktivitást mutató, 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával) kezelt minták aktivitása erre a hétre csaknem a felére csökkent. A legalacsonyabb fluoreszcein koncentrációt az 5. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával egyenértékű NPK műtrágyás) kezelésben részesült minták produkálták.

A vizsgálat utolsó heti mérésén azt tapasztaltam, hogy a 8. számú (35 t ha^{-1} istállótrágyával és NPK műtrágya hozzáadásával is kezelt) talajminták produkálták a legmagasabb fluoreszcein koncentrációt. A 3. számú (70 t ha^{-1} istállótrágyával kezelt) talajminták folytatták a már előző héten megkezdett aktivitás csökkenésüket, és így ezen minták produkálták a legalacsonyabb enzimaktivitást.

5.6. A fluoreszcein-diacetát (FDA) vizsgálat eredményei talajoszlop kísérleti rendszerben

Az őrbottyáni talajoszlop kísérletből származó talajminták fluoreszcein tartalmának mérési eredményeit összesítve a 32. ábra tartalmazza. A függőleges tengelyen a fluoreszcein tartalom látható µg g^{-1} talajra vonatkoztatva. A vízszintes tengelyen pedig a vetéstől eltelt idő.



32 ábra: talajoszlopok FDA vizsgálatának eredményei, 2010 és 2011-ben. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be

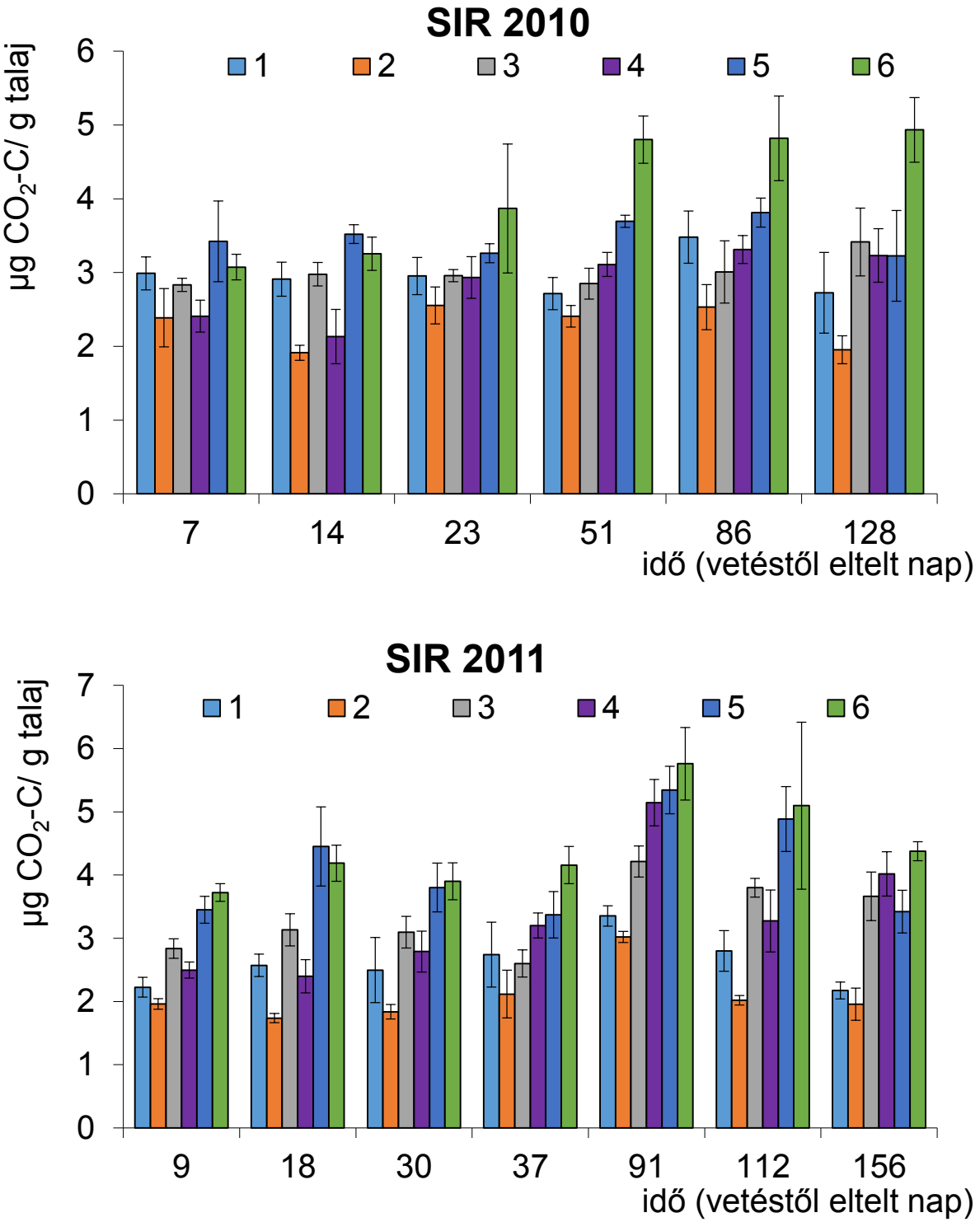
A talajoszlopos FDA vizsgálat eredményeiről az alábbiakat lehet megállapítani:

Az első héten 2010-ben az ötödik (3 egység istállótrágyával kezelt), míg 2011-ben a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop produkálta a legmagasabb fluoreszcein koncentrációt. A legalacsonyabbat 2010-ben az 1. (növényt nem tartalmazó kontroll), 2011-ben pedig a második számú (növény nélküli 3 egység NPK műtrágyakezelésben részesített) talajoszlop produkálta.
A második héten a legnagyobb fluoreszcein koncentrációt az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlop érte el, de ettől az értéktől alig maradt el a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop eredménye. A legcsekélyebb fluoreszcein tartalmat a 2. (növény nélküli 3 egység NPK műtrágyával kezelt) talajoszlop produkálta, de ez az érték nem maradt el lényegesen az 1. (növény nélküli kontroll), a 3. (növényt tartalmazó kontroll) és 4. (3 egység NPK műtrágyával kezelt növényt tartalmazó) talajoszlopok eredményétől. 2011-ben ezen a héten a 4. (3 egység NPK műtrágyával kezelt növényt tartalmazó) talajoszlopban tapasztaltam a legmagasabb fluoreszcein tartalmat, a legcsekélyebbet pedig az 1. (növény nélküli kontroll) oszlop produkálta.
2010-ben a vetést követő 3. héten az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlop fluoreszcein eredménye volt kiemelkedő a többitől, míg a legalacsonyabb az 1. számú (növény nélküli kontroll) talajoszlopé volt.
2011-ben a 4. héten az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) és 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop hasonlóan magas eredményt produkált. A legalacsonyabb fluoreszcein koncentrációt ismét az 1. számú (növény nélküli kontroll) oszlop produkálta.
2010-ben a 8. héten a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop produkálta a legnagyobb és az 1. (növény nélküli kontroll) talajoszlop a legkisebb fluoreszcein koncentrációt.
2011-ben a 6. héten szintén a tápanyagban leggazdagabb 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop produkálta a legmagasabb fluoreszcein koncentrációt, míg a legkevesebbet az 1. számú (növény nélküli kontroll) talajoszlop.
2010-ben a 13. héten – akárcsak ezen év előző mérési időpontjában – a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop produkálta a legnagyobb FDA értéket, a legkisebbet azonban az eddigiektől eltérően a 4. (3 egység NPK műtrágyával kezelt) talajoszlopnál tapasztaltam. 2011-

ben ugyanezen a héten a 4. (3 egység NPK műtrágyával kezelt) talajoszlop produkálta a legnagyobb eredményt, míg a legkevesebbet az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlop.
A 16. héten a legtöbb fluoreszceint a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop mutatta, a legkevesebbet a 3. (növényt tartalmazó kontroll) talajoszlop.
2010-ben az utolsó mérési időpontban (19. héten) az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlop fluoreszcein tartalma volt a legnagyobb, de ettől csupán kissé volt alacsonyabb a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop értéke. A legkisebb FDA értéket ekkor a 3. (növényt tartalmazó kontroll) talajoszlop produkálta, de értéke csaknem azonos volt az 1. (növény nélküli kontroll), a 2. (növény nélküli 3 egység NPK műtrágyával kezelt) és a 4. (növényt tartalmazó 3 egység NPK műtrágyával kezelt) talajoszlopéval.
2011 utolsó mérési időpontjában (23. hét) a legnagyobb fluoreszcein koncentrációt a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop, a legkisebb fluoreszcein koncentrációt pedig a 2. számú (növény nélkül 3 egység NPK műtrágyás kezelésű) talajoszlop produkálta.
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 az 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).

5.7. A talajoszlopokban végzet szubsztrát indukált respirációs (SIR) vizsgálat eredményei

A talajoszlop kísérletből származó talajminták szubsztrát indukált respirációjának mérési eredményeit a 33. ábra mutatja. A függőleges tengelyen a CO_2-ból származó C tartalom látható μg g^{-1} talajra vonatkoztatva. A vízszintes tengelyen pedig a vetéstől eltelt idő.



33. ábra: a talajoszlopok SIR értékei, 2010 és 2011-ben. A kezeléseket az 5. táblázat mutatja be.

A talajoszlopok SIR vizsgálat eredményeinél az alábbiakat figyeltem meg:

Akárcsak az FDA vizsgálat esetében a SIR vizsgálati eredmények esetén is az első héten 2010-ben az 5. (3 egység istállótrágyával kezelt), míg 2011-ben a 6. (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha^{-1} N 360 kg ha^{-1} P és 660 kg ha^{-1} K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop produkálta a legmagasabb CO_2-C koncentrációt. A legalacsonyabb koncentrációt

2010-ben és 2011-ben is a második számú (növény nélküli 3 egység NPK műtrágyakezelésben részesített) talajoszlop produkálta, bár 2010-ben az érték alig tér el az első időpontban a 4. számú (növényt tartalmazó 3 egység NPK műtrágyakezelésben részesítetett) talajoszlop eredményétől. A legalacsonyabb koncentrációk tekintetében az eredmények viszont, kissé eltérnek az FDA tendenciától. Ez vélhetőleg azért következett be, mivel az első mintavételi időpont a vetéshez közelebb volt és így a növényhatás még nem érvényesült. Tehát így a 4. számú (növényt tartalmazó 3 egység NPK műtrágyakezelésben részesítetett) talajoszlop gyakorlatilag a 2. számú (növény nélküli 3 egység NPK műtrágyakezelésben részesített) oszlop párhuzamosaként viselkedett.

A második héten 2010-ben és 2011-ben is a legnagyobb koncentrációt az 5. számú (3 egység istállótrágyával kezelt) talajoszlop érte el. Ekkor és az ezt követő időpontoktól kezdve a többi mintavétel esetében a legkisebb SIR értéket egyértelműen a 2 (növény nélküli 3 egység NPK műtrágyakezelésben részesített) talajoszlop produkálta.

2010-ben a harmadik és 2011-ben a negyedik héttől kezdődő időponttól a legnagyobb CO_2-C koncentrációt a legtöbb tápanyagforrással rendelkező 6. számú (1 egység NPK műtrágyával, továbbá 640 kg ha-1 N 360 kg ha-1 P és 660 kg ha-1 K tartalomnak megfelelő műtrágyával kezelt) talajoszlop mutatta. 2010-ben ennek az oszlopnak az eltérése jelentősebb volt a többi oszlophoz képest, mint 2011-ben.

Az elvégzett varianciaanalízissel megállapítható volt, hogy a SIR mérési eredmények a mintavételi időpontok és a kezelések szerint is szignifikánsan különböztek volt 2010-ben és 2011-ben ($p < 0,001$) A kezelések szerint a SIR értékek 2010-ben és 2011-ben is ugyanolyan sorrendben növekedtek, de a szignifikáns kapcsolatban voltak különbségek a két év között. 2010-ben az alábbi kezelések között alakultak szignifikánsan a különbségek (a szignifikáns különbséget a << jel jelöli): 2 << 1 < 3 < 4 << 5 << 6, míg 2011-ben: 2<< 1 << 3 < 4 << 5 << 6.

6. Eredmények értékelése

6.1. Talajoszlop/tenyészedény összehasonlítás

Mind a talajoszlop, mind pedig a tenyészedény kísérlet gázprodukciós eredményeikből levont következtetések nagy részét Heltai és munkatársai publikálták (2013).

A tenyészedényes CO_2 koncentrációkat összehasonlítva a bolygatatlan talajoszlopokban 20 cm-es mélységben mért értékekkel megállapítható, hogy míg 2008-ban lényegesen kisebb, 2009-ben és 2010-ben viszont nagymértékben hasonló értékek voltak tapasztalhatóak. Az N_2O gáz produkciója a tenyészedényekben szintén lényegesen kisebb volt, mint a talajoszlopokban 20 cm-es mélységben mért értékek, és csak a 2011. évben a kísérlet indításának kezdeti időszakában érte el a bolygatatlan talajoszlopban mért értékeket.

A **tenyészedényes** kísérleti rendszerben a CO_2 és N_2O képződésével kapcsolatban mindhárom évben megfigyelhetők voltak a következő hatások:

- A növény nélküli kezelésekben minden esetben szignifikánsan kisebb a CO_2 produkció, mint az azonos növényes kezelésekben. Az N_2O 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 CO_2 produkciót a szerves trágya < ásványi trágya < szervesanyag+ ásványi trágya sorrendben. A 2008 és 2009 években csak az ásványi (NPK) kezelésekben figyeltünk meg egy-egy időpontban a kontrollnál szignifikánsan nagyobb N_2O produkciót. A 2010 évben, amikor a kísérlet kezdeti (2., 4., 6.) napján is vettünk gázmintákat, rövid időszakban szignifikánsan nagyobb volt az N_2O 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 N_2O produkciót eredményez.
- A tenyészidő folyamán kezdeti stagnálás után a CO_2 produkció szignifikánsan növekedni kezdett, s egy, vagy két maximum elérése után a tenyészidő végére a CO_2 koncentráció a kezdeti szintre csökkent. A tenyészidő folyamán szignifikáns N_2O produkció növekedés csak a kezdeti a CO_2 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 CO_2 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 CO_2 mennyiségét.
- A talajfelszínre elhelyezett gázcsapdákban a CO_2 koncentráció az esetek többségében szignifikánsan kisebb volt, mint a 20 cm-es mélységből vett mintákban mért értékek. Ezzel ellentétben a talajfelszínre elhelyezett gázcsapdákban az N_2O produkció az esetek többségében nagyobb, mint a 20 cm-es mélységből vett mintákban mért értékek. Ez a tendencia azonban statisztikailag nem volt egyértelműen igazolható.

A talajoszlopos 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 CO_2 koncentráció a mélységgel növekedett az esetek több mint 85%-ban. A legtöbb mérés (több mint 91,6%-ban) szignifikánsan eltért egymástól. Az N_2O 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 N_2O koncentrációban egy határozott csúcs jelent meg, amely időpontja – a meteorológiai adatokat is figyelembe véve – egybeesett a meleg és csapadékban gazdag időszakkal, ezért vélhetően az ezen tényezők miatt kialakult anaerob rétegek által indukált denitrifikáció volt a felelős a fokozottabb N_2O termelődésért (Szili-Kovács et al., 2009b).

A 2009., 2010., 2011. és 2012. évi kísérletekben a hat talajoszlop már eltérő kezelést kapott. Mind a négy kísérleti évben megfigyelhető, hogy a CO_2 és N_2O 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 CO_2, mind pedig az N_2O képződéshez.

A talajoszlopokban a CO_2 és N_2O koncentráció változásával és képződésével kapcsolatban mind a négy évben általánosan megfigyelt hatások:

- Növény jelenlétének hatására a növény nélküli kontrollhoz képest a CO_2 produkció szignifikánsan növekedett csaknem a teljes tenyészidőszak alatt, az N_2O produkcióban a tenyészidőszak 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 CO_2 és az N_2O produkció is.
- Az NPK kezelés a kukorica növény alkalmazása mellett is az esetek többségében csökkentette a CO_2 produkciót, ez a csökkenés azonban kevésbé kifejezett, mint a növény nélküli

kezeléseknél. Hasonló volt az istállótrágya és az NPK+istállótrágya kezelés hatása is a CO_2 produkcióra, azonban a csökkenés a kontrollokhoz képest kevésbé kifejezett.

Az NPK kezelés az esetek többségében csökkentette az N_2O produkciót is a növényes kontrollhoz képest. Az istállótrágya és az NPK+istállótrágya kezelésekben az N_2O produkció többnyire szintén csökkenő tendenciát mutatott, azonban ennek megítélése a nagy mérési bizonytalanság miatt nem egyértelmű.

- A tenyészidő folyamán a CO_2 koncentráció kezdeti stagnálás után növekedni kezdett, s az esetek többségében egy- vagy két maximum elérése után a tenyészidő végéhez közeledve erősen lecsökkent. Az egymást követő mintavételi időpontok közötti változások az esetek többségében szignifikánsak volt. Az N_2O koncentráció tenyészidőszak 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 CO_2 koncentráció. Ugyanez a tendencia mutatkozott meg az N_2O 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 CO_2 gázprodukció 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 N_2O produkció időbeli változásának iránya a talajoszlopokban nem mutatott egyértelmű tendenciát, míg a tenyészedényekben jól mérhető növekedést csak a vetést követő 6. napig tapasztalhattunk a CO_2 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 CO_2 koncentráció szignifikánsan nőtt, s 40-60 cm között már nem változott számottevően. Ugyanez a tendencia mutatkozott az N_2O 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 CO_2 koncentráció, s az itt mért értékek nagyságrendileg megegyeztek a talajoszlopban 20 cm mélyen mért értékekkel. Az N_2O mélységi változása a tenyészedényekben nem volt igazolható.

A trágyázatlan kezelésekben a növények jelenléte mind a talajoszlopban, mind a tenyészedényekben növelte a CO_2 és az N_2O 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 CO_2 produkció, és kevésbé egyértelműen az N_2O produkció is. A növekedés a trágyakezelések termésnövelő hatása sorrendjében (istállótrágya < ásványi trágya < istállótrágya+ásványi trágya) fokozódott (Hoffmann et al., 2013).

Összegezve elmondható, hogy a talajeredetű CO_2 és N_2O gázprodukció és a talajból történő kilépés feltételei a bolygatatlan és a művelt talajban eltérnek, s e folyamatra jelentős hatással van a növények jelenléte és anyagcseréje.

6.2. Talajoszlop CO_2 kibocsátás

A növényt nem tartalmazó talajoszlopok CO_2 kibocsátása szignifikánsan kisebb volt, mint a növényt tartalmazó oszlopoké. Az ásványi trágyakezelésben részesített talajoszlopok szignifikánsan kisebb CO_2 emissziós értéket produkáltak a növény nélküli bolygatatlan talajoszlophoz képest.

A növényt tartalmazó talajoszlopokban az ásványi trágya kezelés hatása a CO_2 emissziójára időben eltérő módon nyilvánult meg. Az istállótrágyakezelés szignifikánsan növelte a talajoszlopok CO_2 kibocsátását, az NPK műtrágyával kiegészített istállótrágyás kezelés szignifikánsan, sokszor kiugróan magas értéket eredményezett. A felszíni CO_2 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.

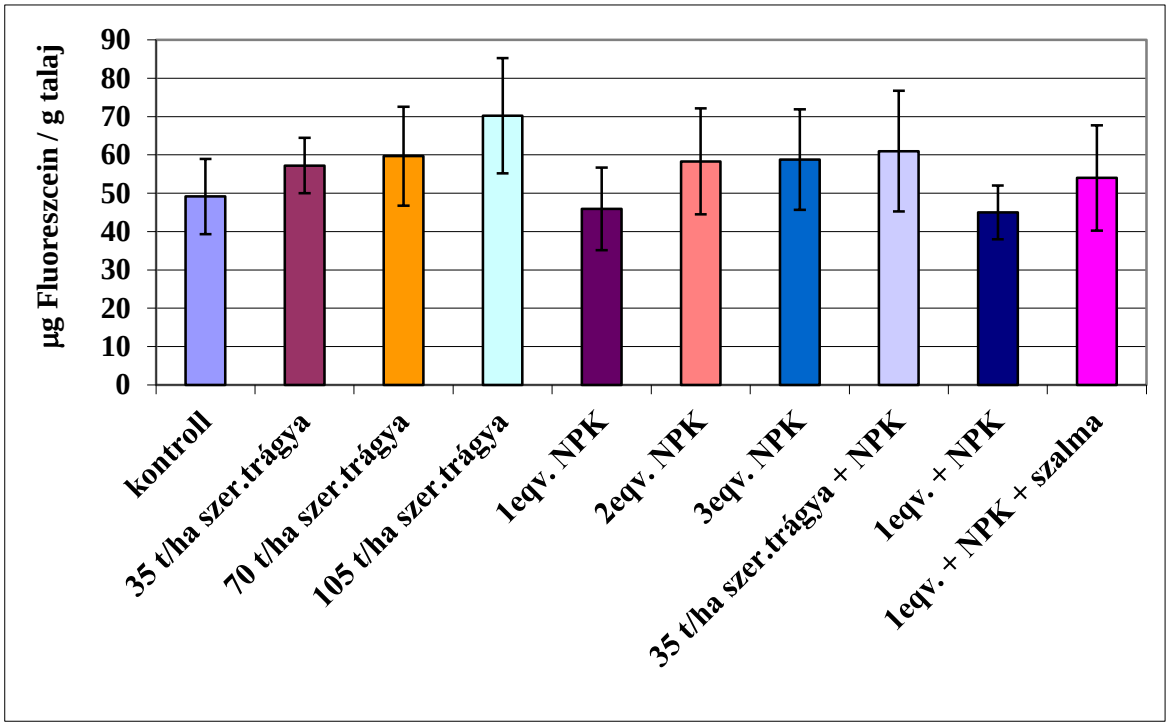
6.3. A fluoreszcein-diacetát (FDA) és a szubsztrát indukált respiráció (SIR) vizsgálat eredményei a talajoszlop kísérleti rendszernél

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 ($r=0,62$ $p<0,001$).

6.4. A fluoreszcein-diacetát (FDA) vizsgálat eredményei mezokozmosz kísérleti rendszernél

A mikrobiális aktivitást a kijutatott tápanyag mennyisége nagy mértékben befolyásolhatta, ahogy arra Iovieno és munkatársai (2009) is rámutattak. A 34. 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 CO_2 produkció és az enzimaktivitás között ($r=0,227$ $p<0,001$)



34. ábra: a fluoreszcein koncentrációk átlagolt értékei mezokozmosz kísérleti rendszerben

6.5. Új tudományos eredmények

Eredményeim szerint a CO_2 és N_2O produkció a kukorica növény tenyészidő folyamán hasonló módon változik, mind a tenyészedény, mind pedig talajoszlop kísérleti szinten. Az eltérő kezeléshatások és növényhatások kimutathatóak. A talajoszlop vizsgálati szinten a mélységhatás a CO_2-nél egyértelműen, az N_2O-nál pedig kevésbé egyértelműen érvényesült.

Az elvégzett munkámban az alábbi új tudományos eredmények fogalmazhatók meg.

1. Mezokozmosz kísérleti szinten a kukorica növény tenyészidőszak folyamán hasonló módon és többnyire maximum görbe szerint változtak a különböző kezelésekben a CO_2 és N_2O koncentrációk a talajban. Amikor a mintavételezés elég sűrűn történik, kimutatható, hogy az N_2O koncentráció maximuma időben megelőzi a CO_2 maximumát. A tenyészidő végére lecsökkent és stabilizálódott mind a CO_2 mind az N_2O koncentráció. A gázprodukciót különösen befolyásolták:
   1.1 Tápanyaghatás. A rendelkezésre álló tápanyag általában szignifikánsan növeli a CO_2 produkciót szerves <NPK< szerves+NPK trágya sorrendben. N_2O-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 CO_2 produkció, csak gyenge pozitív szignifikáns korrelációt mutatott.
   1.2 Hőmérséklethatás. A CO_2 produkció és a hőmérséklet között szoros pozitív korreláció figyelhető meg.
   1.3 Növényhatás. A növényt tartalmazó kezeléseknél minden esetben szignifikánsan nagyobb CO_2 koncentráció figyelhető meg első sorban a gyökérzet, a rhizoszféra, valamint a növény fenofázisainak hatására. N_2O tekintetében is hasonló tendenciát lehetett felfedezni, a különbségek azonban nem szignifikánsak.
2. Eredményeim szerint a CO_2 és N_2O produkció a tenyészidő 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 CO_2 és N_2O produkciót, valamint a CO_2 emissziót:
   2.1 Tápanyaghatás. A tápanyagbőség a növény jelenlétében általában szignifikánsan növelte a felszíni CO_2 emissziót. Az NPK kezelés növény nélkül szignifikánsan kisebb CO_2 emissziót eredményezett a növény nélküli kontrollhoz képest. A felszíni CO_2 emissziót is figyelembe véve kimutattam, hogy a tápanyaghatás pozitív szénmérleget eredményezett NPK<istállótrágya<(NPK+istállótrágya) sorrendben
   2.2 Hőmérséklethatás. A talajhőmérséklet és a CO_2 emisszió között általában közepes pozitív szignifikáns korreláció figyelhető meg.
   2.3 Növényhatás. A CO_2 produkció szignifikánsan növekedett, a növény nélküli kontrollhoz viszonyítva, mely szintén a növény fenofázisaival összefüggő különböző gyökérzeti aktivitással magyarázható. A növényt nem tartalmazó talajoszlopok CO_2 kibocsátása szignifikánsan kisebb, mint a növényt tartalmazó oszlopoké. Az N_2O produkcióban a kezdeti rövid időszakban szignifikáns növekedés, ezután viszont szignifikáns csökkenés figyelhető meg.

7. 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.

8. Összefoglalás

Napjainkban sajnos növekvő tendenciát mutat az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja, melyhez az ipar és a közlekedés környezetterhelésén kívül a mezőgazdasági szektor is hozzájárul. Mivel a növények nem képesek a talajba juttatott tápanyag-utánpótlást teljes egészében felvenni, a nem megfelelő növénytáplálás miatt a nitrogénveszteség is nőhet. Ennek legnagyobb része a nitrát kimosódásból adódik, de jelentős a denitrifikációs eredetű nitrogén-oxidok emissziója is. E folyamatnak köszönhetően nőhet az N_2O koncentrációja, mely a sztratoszférában NO molekulává alakulva képes bontani az ózont, csökkentve ezzel az ózonpajzs vastagságát. Mind a CO_2, mind a N_2O hozzájárulhat a globális felmelegedéshez, mely hazánkban az évi középhőmérséklet emelkedésén kívül a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribb előfordulásában is megnyilvánul. E hatásokra a talaj szervesanyag-forgalmához biológiailag szorosan kapcsolt N-ciklusok érzékenyen reagálnak. Mindezen okokból kiemelten aktuális feladatnak tekinthető a különböző nitrogén-ellátási módok szerepének tanulmányozása a talajlevegő CO_2 és N_2O produkciójában, melyet az OTKA által támogatott kutatómunkához kapcsolódva nyitott tenyészedény és bolygatatlan talajoszlop modellkísérleti rendszerekben vizsgáltam.

A kutatási célom az volt, hogy a különböző tápanyag ellátási módokon kezelt talajok CO_2 produkcióját és emisszióját, valamint N_2O produkcióját tanulmányozzam, és az ezeket befolyásoló hatásokat derítsek fel tenyészedény és bolygatatlan talajoszlop kísérleti rendszerekben.

A Pannon Egyetem Georgikon Karának üvegházában felállított tenyészedényeket 45 kg, szántóföldi tartamkísérletből származó talajmintával töltöttük meg. A gázmintákat a talajba 20 cm mélyen elhelyezett gázcsapdákban gyűjtöttük. Azonos vízellátottság mellett a különféle kezelésben részesített mezokozmosz rendszerek mindegyikében (a növény nélküli kezelések kivételével) 4 tő kukorica jelzőnövényt neveltünk. Három ismétlésben 10 kezelésben vizsgáltunk a különböző tápanyagkezelések hatásait.

Az ugyanezen területről származó talajmintából készített oszlopokat az MTA ATK Talajtani Kutató Intézet őrbottyáni telephelyén a szabadban, egy süllyesztett aknában állítottuk fel. A 6 oszlop egyenként 3 furatot tartalmazott (20, 40 és 60 cm talajmélységben) az oszlop falára merőlegesen, és az ezekben elhelyezett gázáteresztő szilikoncsövek a talajlevegő diffúziója révén gyűjtődtek a gázminták. Kukorica növénnyel bevetett és növény nélküli talajoszlopokban vizsgáltam a különböző tápanyagkezelések hatásait.

A gázminták CO_2 és N_2O produkcióját és CO_2 emisszióját a teljes tenyészidő alatt rendszeresen gázkromatográf segítségével mértük. Ezen mérések mellett sor került még a mezokozmoszok és a talajoszlopok talajmintáiból FDA mérésre, valamint a talajoszlopok SIR mérésére a mikrobiális hatás feltárása céljából.

A mérési eredményeim alapján elmondható, hogy a CO_2 emissziót és produkciót, valamint az N_2O produkciót befolyásolták számos tényező a vizsgált környezeti tényezők közül. A tápanyag, általában növelte a talaj gázveszteségét. Mindkét vizsgálati rendszer esetében megállapítható, hogy a hőmérséklet is befolyásolta a CO_2 és N_2O termelődését, amely általában követte a hőmérsékletváltozást. A növény jelenléte általában növelte a talaj CO_2 termelését. A mikrobiális hatások megfigyelésére a talajoszlop kísérleti rendszer bizonyult alkalmasabbnak.

9. Summary

Nowadays, unfortunately, there is a growing trend in the atmospheric concentration of greenhouse gases, to which, in addition to the environmental impact of industry and transport, the agricultural sector also contributes. Because of the plants are not able to fully uptake the nutrient supply applied to the soil, inadequate plant nutrition can also increase nitrogen loss. Most of this is due to nitrate leaching, but emissions of nitrogen oxides from denitrification are also remarkable. Due to this process, the concentration of N_2O in the atmosphere can increase, which can decompose ozone into the NO molecule in the stratosphere, thereby reducing the thickness of the ozone shield. Both CO_2 and N_2O can contribute to global warming, which, in addition to the increase in the average annual temperature in Hungary, is also reflected in the more frequent occurrence of extreme weather events. N-cycles that are biologically closely linked to soil organic trade in raw materials are sensitive to these effects. For all these reasons, the study of the role of different nitrogen-nutrient supply methods in the production of CO_2 and N_2O in the soil-atmosphere, which I examined in connection with the research work supported by OTKA in pot and undisturbed soil column model experimental systems, can be considered an actual topical task.

My research's aim was to study the CO_2 production and emission as well as the N_2O production of soils treated with different nutrient supply methods and to elucidate the effects influencing these processes in pot experiments and in undisturbed soil column experimental systems.

The vessels of pot experiment were set up in the greenhouse of the Georgikon Faculty of the Pannon University were filled with 45 kg of soil samples from a longterm field experiment. The gas samples were collected in gas traps placed 20 cm deep in the soil. With the same water supply, 4 maize plants were grown in each of the mesocosm systems treated with different treatments (except for treatments without plants). The effects of different nutrient supply were examined in 10 treatmens in three replicates.

Six soil columns prepared from soil layer from the same field experiment border area, were set up outdoors in a sunken shaft at the Őrbottyán experimental station site of the MTA ATK Soil Research Institute. Each of the 6 columns were contained 3 holes (20, 40 and 60 cm in soil depth) perpendicular to the wall of the column, and the gas-permeable silicone tubes placed in them collected the gas samples by diffusion of the soil air. I investigated the effects of different nutrient treatments in maize-planted and plant-free soil columns.

The CO_2 and N_2O production and CO_2 emissions of the gas samples were measured regularly using a gas chromatograph throughout the growing season. In addition to these measurements, FDA measurements were also performed from soil samples from mesocosms and soil columns, as well as SIR measurements from soil columns to reveal the microbial effect.

Based on my measurement results, it can be established that CO_2 emission and production as well as N_2O production were influenced by several factors from the examined environmental parameters. The nutrients applied, in general increased the gas losses from the soil. In the case of both experiment systems, it can be concluded that temperature also influenced the production of CO_2 and N_2O, and generally in according to the temperature change. The plants generally increased the soil CO_2 production. The undisturbed soil column experimental system proved to be more suitable for monitoring microbial effects.

10. Mellékletek

M1 Irodalomjegyzék

Abdalla M., Jones M., Smith P., Williams M., (2009): Nitrous oxide fluxes anddenitrification sensitivity to temperature in Irish pasture soils. Soil UseManage. 25, 376–388.

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.

Ahmad S., Li C., Dai G., Zhan M., Wang J., Pan S., Cao C. (2009): Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. Soil and Tillage Research 106. 54-61. p.

Akash M.S.H., Rehman K. (2020): Gas Chromatography. In: Essentials of Pharmaceutical Analysis. Springer, Singapore pp. 185-193

Amos B. & Walters D.T. (2006): Maize root biomass and net rhizodeposited carbon. Soil Science Society of America Journal, 70: 1489–1503.

Anderson JPE & Domsch KH (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil, Soil Biol. Biochem. 10, pp.215- 221

Baggs E.M., Stevenson M., Pihlatie M., Regar A., Cook H., Cadisch G., (2003): Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser underzero and conventional tillage. Plant Soil 254, 361–370.

Bao X, Zhu X, Chang X, Wang S, Xu B, Luo C, et al. (2016): Effects of Soil Temperature and Moisture on Soil Respiration on the Tibetan Plateau. PLoS ONE 11(10)

Battin T. J. (1997): Assessment of fluorescein diacetate hydrolysis as a measue of total esterase activity in natural stream sediment biofilms. The Science of the Total Environment 198, 51-61 p.

Birkás M. (2006): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 203-205.

Bjurman J. (1993): Determination of microbial activity in moulded wood by the use of fluorescein diacetate. Material und Organismen 28, 1-16 p.

Bodor E. (1983): Szervetlen kémia I. Tankönyvkiadó, Budapest, 206-207 p.

Bouwman A.F, Boumans L.J.M, Batjes N.Y (2002): Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. Global Biogeochem Cycles 16(4):6.1–6.13.

Braker G, Schwarz J, Conrad R (2010): Influence of temperature on the composition and activity of denitrifying soil communities Fems Microbiology Ecology 73:134-148

Brümmer C., Brüggemann N., Butterbach-Bahl K., Falk U., Szarzynski J.,Vielhauer K., Wassmann R., Papen H., (2008): Soil-atmosphere exchange of N2O and NO in near-natural savanna and agricultural land in Burkina Faso (W.Africa). Ecosystem 11, 582–600.

Budiman H & Zuas O. (2017): Trace measurement of CO, CH4, and CO2 in high purity gases by GC-FID-methanizer: Method validation and uncertainty estimation. Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry. 18. 259-274.

Buffington R & Wilson K. M.(1991): Detectors for Gas Chromatography. HP Hewlet Packard, Awandale, 37-42 p.

Burger K. (1992): A mennyiségi analízis alapjai – a kémiai és műszeres elemzés. Semmelweis Kiadó, Budapest 449-454 p.

Butterbach-Bahl K., Baggs E.M., Dannenmann M., Kiese R., Zechmeister-Boltenstern S., (2013): Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? Philos. Trans. R. Soc.B: Biol. Sci. 368, 20130122

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.

Davidson E.A. (1991): Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems, Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrogen Oxides, and Halomethanes, edited by Rogers, J.E., Whitman, W.B., American Society for Microbiology, Washington, 219−235, 1991.

Demény A. (2005): Globális szénciklus a stabilizotóp-összetételek tükrében. In: „Agro-21" füzetek. Klímaváltozás-hatások-válaszok, 38: 31 p.

Dlugokencky E.J., Hall B.D., Montzka S.A., Dutton G., Mühle J., Elkins J.W. (2019): Atmospheric composition [in State of the Climate in 2018, Chapter 2: Global Climate]. Bulletin of the American Meteorological Society, 100(9), 48-50p.

Erdey L. & Mázor L. (1974): Analitikai kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 303-342. p.

Fang C. & Moncrieff J.B., (2001): The dependence of soil CO2efflux on temperature.Soil Biol. Biochem. 33, 155–165

Fontvielle D. A. Outaguerouine A. Thevenot D. R. (1992): Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of microbial activity in aquatic systems: application to activated sludges. Environmental Technology 13, 531-540 p.

Fóti Sz., Balogh J., Papp M., Koncz P., Hidy D., Csintalan Zs., Kertész P., Bartha S., Zimmermann Z., Biró 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

Fowler D., Pilegaard K., Sutton M.A., Ambus P., Raivonen M., Duyzer J., Simpson D., Fagerli H., Fuzzi S., Schjoerring J.K., Granier C., Neftel A., Isaksen I.S.A., Laj P., Maione M., Monks P.S., Burkhardt J., Daemmgen U., Neirynck J., PersonneE., Wichink-Kruit R., Butterbach-Bahl K., Flechard C., Tuovinen J.P., Coyle M.,Gerosa G., Loubet B., Altimir N., Gruenhage L., Ammann C., Cieslik S.,Paoletti E., Mikkelsen T.N., Ro-Poulsen H., Cellier P., Cape J.N., Horváth L.,Loreto F., Niinemets Ü, Palmer P.I., Rinne J., Misztal P., Nemitz E., Nilsson D.,Pryor S., Gallagher M.W., Vesala T., Skiba U., Brüggemann N.,Zechmeister-Boltenstern S., Williams J., O'Dowd C., Facchini M.C., Leeuw G.,de, Flossman A., Chaumerliac N., Erisman J.W., (2009): Atmosphericcomposition change: ecosystems-Atmosphere interactions. Atmos. Environ. 43(33), 5193–5267.

Freibauer A. (2003): Regionalised inventory of biogenic greenhause gas emissions form European agricultur. European Journal of Agronomy, Volume 19, Issue 2, 135-166 p.

Füleky Gy.(2009): Geokémiai körfolyamatok. Kézirat Környezetmérnök MSc szakos hallgatók részére, 37 p. 47-50 p.

Galbally I.E., Meyer C.P, Wang Y-P, Kirstine W.V., Smith C.J., Weeks I. A. (2008): measurements of Soil-Atmosphere Exchange of CH4, CO, N2O and NOx in the Semi-arid Mallee System in Southeastern Australia, Centre for Australian Weather and Climate Research, Technical Report No 002 pp. 1-62, ISBN: 978 192 142 4588

Galbally J. E. & Roy C. R., (1978): Loss of fixed nitrogen by nitric oxide exhalation. Nature. 275. 734–735

Geng S, Chen Z, Han S, Wang F, Zhang J. (2017): Rainfall reduction amplifies the stimulatory effect of nitrogen addition on N2O emissions from a temperate forest soil. Sci. Rep. 7, 43329; doi: 10.1038/srep43329

Gillian A. & Harry D. (2001): Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. Soils Biology & Biochemistry 33, 943-955 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.

Green V. S., Stott D. E., Diack M. (2005): Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil sampes. Soil Biology & Biochemistry 1-8 p.

Griffith S. M. & Schnitzer M. (1975): Analytical characteristics of humic and fulvic acids extracted from tropical volcanic soils. Soil sci. Soc. Amer. Proc. 39: 861-867 p.

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.

Groffman P.M., Butterbach-Bahl K., Fulweiler R.W., Gold A.J., Morse J.L., Stander E.K., Tague C., Tonitto C., Vidon P., (2009): Challenges to incorporating spatiallyand temporally explicit phenomena (hotspots and hot moments) indenitrification models. Biogeochemistry 93, 49–77.

Groffman P.M., Hardy J.P., Driscoll C.T., Fahey T.J., (2006): Snow depth, soilfreezing, and fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide and methane in a northernhardwood forest. Glob. Change Biol. 12, 1748–1760.

Gumprecht G., Gerlach H. & Nehrkorn A. (1995): FDA hydrolysis and resazurin reduction as a measure of microbial activity in sediments from the south – east Atlantic. Helgoländer Meeresuntersuchungen 49, 189-199 p.

Gundersen P., Christiansen J.R., Alberti G., Brüggemann N., Castaldi S., Gasche R., Kitzler B., Klemedtsson L., Lobo-do-Vale R., Moldan F., Rütting T., Schleppi P.,Weslien P., Zechmeister-Boltenstern S., (2012a): The response of methane andnitrous oxide fluxes to forest change in Europe. Biogeoscience 9, 3999–4012.

Gundersen P., Christiansen J.R., Frederiksen P., Vesterdal L., (2012b): Influence ofhydromorphic soil conditions on greenhouse gas emissions and soil carbonstocks in a Danish temperate forest. For. Ecol. Manage. 284, 185–195.

Harnos Zs. (2005): Időjárás – Éghajlat – Biztonság. Magyar Tudomány 7, 826-828 p.

Heinemeyer A & Mcnamara N. (2011): Comparing the closed static versus the closed dynamic chamber flux methodology: Implications for soil respiration studies. Plant and Soil. 346. 145-151. 10.1007/s11104-011-0804-0.

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

Hoffmann S., Berecz K., Bálint A., Kristóf K., Kampfl Gy. Heltai Gy., 2013. Ásványi és szervestrágyázás hatása a termésre és a CO2 termelésre szántóföldi és tenyészedény-kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 62. 163–172.

Hoffmann S., Berecz K., Hoffmann B., Bankó L.: 2008. Yield response and N-utilization depending on crop sequence and organic or mineral fertilization. Cereal Res. Commun. Suppl., 36(1), 1631-1634.

Holst J., Liu C., Yao Z., Brüggemann N., Zheng X., Giese M., Butterbach-Bahl K.,2008. Fluxes of nitrous oxide, methane and carbon dioxide duringfreezing–thawing cycles in an Inner Mongolian steppe. Plant Soil 308, 105–117.

Huang T, Gao B, Hu XK, Lu X, Well R, Christie P, Bakken LR, Ju XT. (2014): Ammonia-oxidation as an engine to generate nitrous oxide in an intensively managed calcareous fluvo-aquic soil. Sci Rep.4, 3950. doi: 10.1038/srep03950.

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 (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 47p

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

Jassal R.S., Black T.A., Roy R., Ethier G. (2011): Effect of nitrogen fertilization on soil CH4 and N2O fluxes, and soil and bole respiration. Geoderma 162. 182-186. p.

Jungle C. E. (1974): Residence time and variability of tropospheric trace gases. Tellus 26, 477-488 p.

Kampfl Gy, Kristóf K, Algaidi A. A, Bayoumi Hamuda H.E.A.F, Heltai Gy. (2007): Study of NOx and CO2 production of cultivated soil in closed microcosm experimental system. Microchemical Journal. 85. 31–38.

Kampfl Gy. (2010): szóbeli közlése alapján

Kemenesy E. (1972): Földművelés – talajerdőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, Budapest, 126-128 p.

Kiese R. & Butterbach-Bahl K. (2002): N2O and CO2 emissions from three different tropical forest sites in the wet tropics of Queenland, Australia. Soil Biology and Biochemistry 34. 975-987. p.

Kirkman G. A. (2001): The surface exchange of trace gases in the tropics and savannas PhD értekezés.

Kiss F.(2002): Kémiai alapismeretek műszaki főiskolák számára I. B + V Lap- és Könyvkiadó Kft, Solymár 192 p.

Klein, D. A. & Paschke, M. W., 2000. A soil microbial community structural-functional index: the microscopy-based total/active/active fungal/bacterial (TA/AFB) biovolumes ratio. Appl. Soil Ecol. 14. 257-268.

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

Kovács M, Dóka O, Bicanic D, Ajtony Zs (2017): Application of laser-based photoacoustic spectroscopy and colorimetry for quantification of anthocyanin in hard boiled candy, Microchemical Journal 135: pp. 100-104.

Kramer D. N. & Guilbault G. G (1963): A substrate for the fluorimetric determination of lipase activity. Analitical Chemistry 35, 588-589 p.

Kristóf J. (2000): Kémiai analízis II. (Nagyműszeres analízis) Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém pp. 150-151.

Kristóf K. (2009): A gázkromatográf felépítése, a gázkromatográfiás mérés elve. Oktatási segédanyag pp. 1-5.

Kutzbach L., Schneider J., Sachs T., Giebels M., Nykänen H., Shurpali N. J., Martikainen P. J., Alm J., Wilmking M. (2007): CO2 flux determination by closed-chamber methods can be seriously biased by inappropriate application of linear regression, Biogeosciences, 4, 1005–1025.

Lanslor T., Eskelner M., Bakers M., (2019) A mezőgazdaság története Cambridge Stanford Books, 22.p

Láng F. (1998): Növényélettan: A növényi anyagcsere ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 407 p.

Láng I. (2002): Környezetvédelmi lexikon II. Akadémiai Kiadó, Budapest, 324 p.

Li C., Frolking S., Butterbach-Bahl K., (2005): Carbon sequestration in arable soils islikely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climateradiative forcing. Clim. Change 72, 321–338.

Loch J. & Nosticzius Á. (1983): Alkalmazott Kémia Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 77p.

Lopez-Fernandez S., J.A. Diez, P. Hernaiz, A. Arce, L. Garcia-Torres, and A. Vallejo. (2007): Eff ects 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

Ludwig J., Meixner F.X., Vogel B., Förstner J., (2001): Soil-air exchange of nitricoxide: an overview of processes, environmental factors, and modeling studies.Biogeochemistry 52, 225–257.

McSwiney C.P. & Robertson G.P., (2005): Nonlinear response of N2O flux toincremental fertilizer addition in a continuous maize (Zea mays L.) croppingsystem. Glob. Change Biol. 11, 1712–1719.

Mészáros E. (1977): A levegőkémia alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 52-53 p.

Molnár E., Szili-Kovács T., Villányi I, Knáb M., Bálint Á., Kristóf K., Heltai Gy. (2016): CO2 efflux and microbial activities in undisturbed soil columns in different nitrogen management PLANT SOIL AND ENVIRONMENT 62:(9) pp. 402-407.

Mordhorst A., Peth S., Horn R., (2014): Influence of mechanical loading on staticand dynamic CO2 efflux on differently textured and managed luvisols.Geoderma 219–220, 1–13.

Mørkved P.T., Dörsch P., Henriksen T.M., Bakken L.R. (2006): N2O emissions and product ratios of nitrification and denitrification as affected by freezing and thawing. Soil Biology & Biochemistry 38. 3411-3420. p

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.

Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag–tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest, 35-36 p.

Niu S., Wu M., Han Y.I., Xia J., Zhang Z.H., Yang H., Wan S., (2010): Nitrogen effectson net ecosystem carbon exchange in a temperate steppe. Glob. Change Biol.16, 144–155.

Nyíri L. (1993): Földműveléstan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 237 p.

Omonode R.A., Smith D.R., Gál A., Vyn T.J., (2011): Soil nitrous oxide emissions incorn following three decades of tillage and rotation treatments. Soil Sci. Soc.Am. J. 75 (1), 152–163.

Papp S. (1983) Szervetlen Kémia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 466-470 p.

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.

Patkó I. (2005): Környezettechnika I (levegőtisztaság védelem). BMF RKK, Budapest, főiskolai jegyzet, 44-45 p.

Pavelka Marian, Acosta Manuel, Kiese Ralf, Altimir Nuria, Bruemmer Christian, Crill Patrick, Darenova Eva, Fuß Roland Gielen Bert, Graf Alexander, Klemedtsson L, Lohila Annalea, Longdoz Bernhard, Lindroth Anders, Nilsson Mats, Marañón-Jiménez Sara, Merbold Lutz, Montagnani Leonardo, Peichl Matthias, Kutsch Werner Leo. (2018): Standardisation of

chamber technique for CO2, N2O and CH4 fluxes measurements from terrestrial ecosystems. International Agrophysics. 32. 569-587. 10.1515/intag-2017-0045.

Peng Q., Dong Y., Qi Y., Xiao S., He Y., Ma T., (2011):. Effects of nitrogen fertilizationon soil respiration in temperate grassland in Inner Mongolia, China. Environ.Earth Sci. 62, 1163–1171.

Pilegaard K., Skiba, U., Ambus, P., Beier, C., Brüggemann, N., Butterbach-Bahl, K.,Dick, J., Dorsey, J., Duyzer, J., Gallagher, M., Gasche, R., Horvath, L., Kitzler, B.,Leip, A., Pihlatie, M.K., Rosenkranz, P., Seufert, G., Vesala, T., Westrate, H.,Zechmeister-Boltenstern, S., (2006): Factors controlling regional differences inforest soil emission of nitrogen oxides (NO and N2O). Biogeoscience 3,651–661.

Rai D. & Nkongolo N. (2018): Comparison between a Photo-Acoustic Analyzer System (PAS) and Gas Chromatograph (GC) for Measuring CO2 and N2O Emissions in a Corn/Soybean Field in Transactions of the Kansas Academy of Science 121(3-4):351-360

Roldán J. J., Joossen G., Sanz D., del Cerro J., Barrientos A. (2015): Mini-UAV Based Sensory System for Measuring Environmental Variables in Greenhouses, Sensors 2015, 15(2), 3334-3350

Ruamps L. S., Nunan N., Chenu C. (2011): Microbial biogeography at the soil pore scale. Soil Biol Biochem, 43 280−286. p.

Sanz-Cobena A., Abalos D., Meijide A., Sanchez-Martin L., Vallejo A., (2014b): Soilmoisture determines the effectiveness of two urease inhibitors to decreaseN2O emission. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change, http://dx.doi.org/10.1007/s11027-014-9548-5

Sanz-Cobena A., García-Marco S., Quemada M., Gabriel J.L., Almendros P.,Vallejo, A., (2014a): Do cover crops enhance N2O, CO2or CH4emissions from soilin Mediterranean arable systems? Sci. Total Environ. 466–467, 164–174.

Schindlbacher A., Zechmeister-Boltenstern S., Butterbach-Bahl K., (2004): Effects ofsoil moisture and temperature on NO, NO2, and N2O emissions from Europeanforest soils. J. Geophys. Res. D: Atmos. 109 (D17)

Schnürer J. & Rosswall T. (1982): Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. Applied and Environmental Microbiology 43, 1256 – 1261 p.

Schütz K. Junge C. E., Beck R., Albrecht B., (1970): Studies of atmospheric N2O. J. Geophys. Res. 75, 2230-2246 p.

Shi W.Y., Yan M.J., Zhang J.G., Guan J.H., Du S., (2014): Soil CO2emissions from fivedifferent types of land use on the semiarid Loess Plateau of China, withemphasis on the contribution of winter soil respiration. Atmos. Environ. 88,74–82.

Simon T. & Juhász Nagy P. (1993): Talajtan mint a növényökológia alapja. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 77-79 p.

Six J., Feller C., Denef K., Ogle S., Moraes Sa J.C., Albrecht A., (2002): Soil organicmatter, biota and aggregation in temperate and tropical soils—effects ofno-tillage. Agronomy 22, 755–775.

Six J., Ogle S.M., Jay Breidt F., Conant R.T., Mosier A.R., Paustian K., (2004): Thepotential to mitigate global warming with no-tillage management is onlyrealized when practised in the long term. Glob. Change Biol. 10, 155–160.

Smith P., Fang C., Dawson J. J. C., Moncrieff J. B. (2008): Impact of global warming on soil organic carbon. AdvAgron, 97 1−43. p.

Stubberfield L. C. F. & Shaw P. J. A. (1990): A comparison of tetrazolium reduction and FDA hydrolisis with other measurements of mircobial activity. Journal of Microbiological Methods 12, 151-161 p.

Seitzinger S. P., Kroeze C., Styles R. V. (2000): Global distribution of N2O emissions from aquatic systems: natural emissions and anthropogenic effects. Chemosphere - Global Change Science 2, 267–279

Swisher R. & Carrol G. C. (1980): Fluorescein diacetate hydrolisis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle suraces. Microbial Ecology 6, 217 – 226 p.

Szalai I. (1974): Növényélettan I (Anyagcsere–élettan). Tankönyvkiadó, Budapest, 311-312 p.

Szili-Kovács T. (2013): szóbeli közlése alapján

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.

Tang J., Baldocchi D.D., Qi Y., Xu L., (2003): Assessing soil CO2efflux usingcontinuous measurements of CO2profiles in soils with small solid-statesensors. Agric. For. Meteorol. 118, 207–220, http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00112-6

Tenuta M. & Beauchamp E.G. (2003): Nitrous oxide production from granularnitrogen fertilizers applied to a silt loam soil. Can. J. Soil Sci. 83, 521–532.

Tóth E., Farkas Cs., Koós S., Németh T. (2009): A művelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására I. Laboratóriumi módszertan tesztelése bolygatatlan talajoszlopokon

Velthof G.L., Kuikman P.J., Oenema O. (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

Villányi Ilona (2009): szóbeli közlése alapján

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.

Weslien P., Kasimir Klemedtsson Å., Börjesson G., Klemedtsson L., (2009): Strong pH influence on N2O and CH4fluxes from forested organic soils. Eur. J. Soil Sci.60, 311–320.

Xi L., Kiwamu I., Chunying W., Jagadeesh Y., Ryusuke H., (2015): Hierarchical Bayesian models for soil CO2 flux using soil texture: a case study in central Hokkaido, Japan, Soil Science and Plant Nutrition, 61:1, 116-132,

Zainab Y., Mohd Nizar H., Ahsanul K., Zaiki A. (2014): Gas Sensors: A Review in Sensors & Transducers, Vol. 168, Issue 4, pp. 61-75

Zablotowicz R. M., Locke M.A. & Smeda R. J. (1998): Degradation of 2,4-D and fluometuron in cover crop residues. Chemosphere 37, 87-111. p.

Internetes hivatkozások

http1: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_eghajlatvaltozas/ch02s04.html (2019.október 2.)

http2: http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/kioto.pdf (2009. október 10.)

http3:http://mtvsz.blog.hu/2016/09/06/a_kina-usa_klimavedelmi_bejelentes_hogyan_allunk_a_tenyekkel (2017. november 8.)

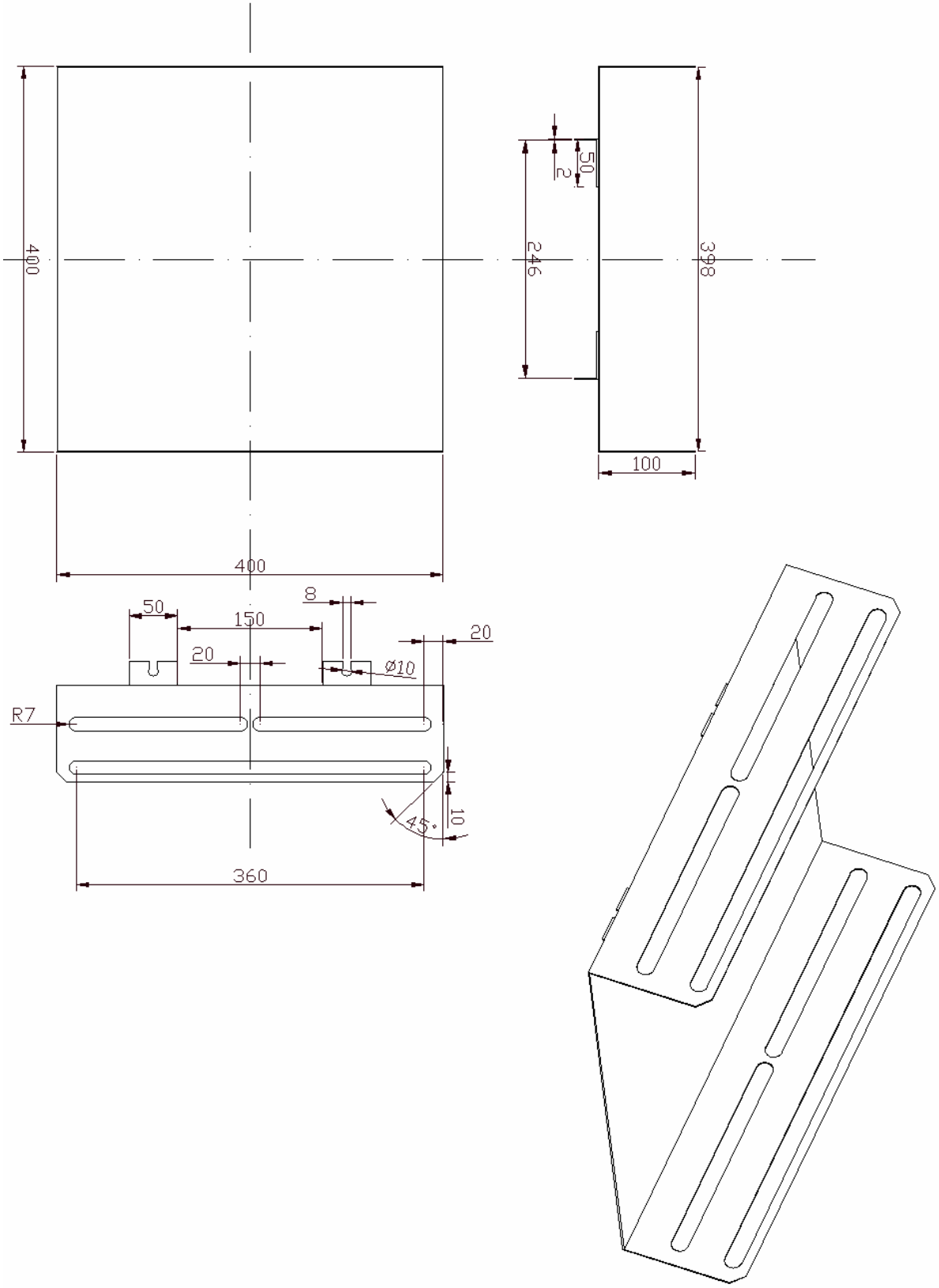
http4: https://www.portfolio.hu/gazdasag/energia/kesz-vege-tenyleg-kilep-amerika-a-parizsi-klimaegyezmenybol.268217.html (2018. február 9.)

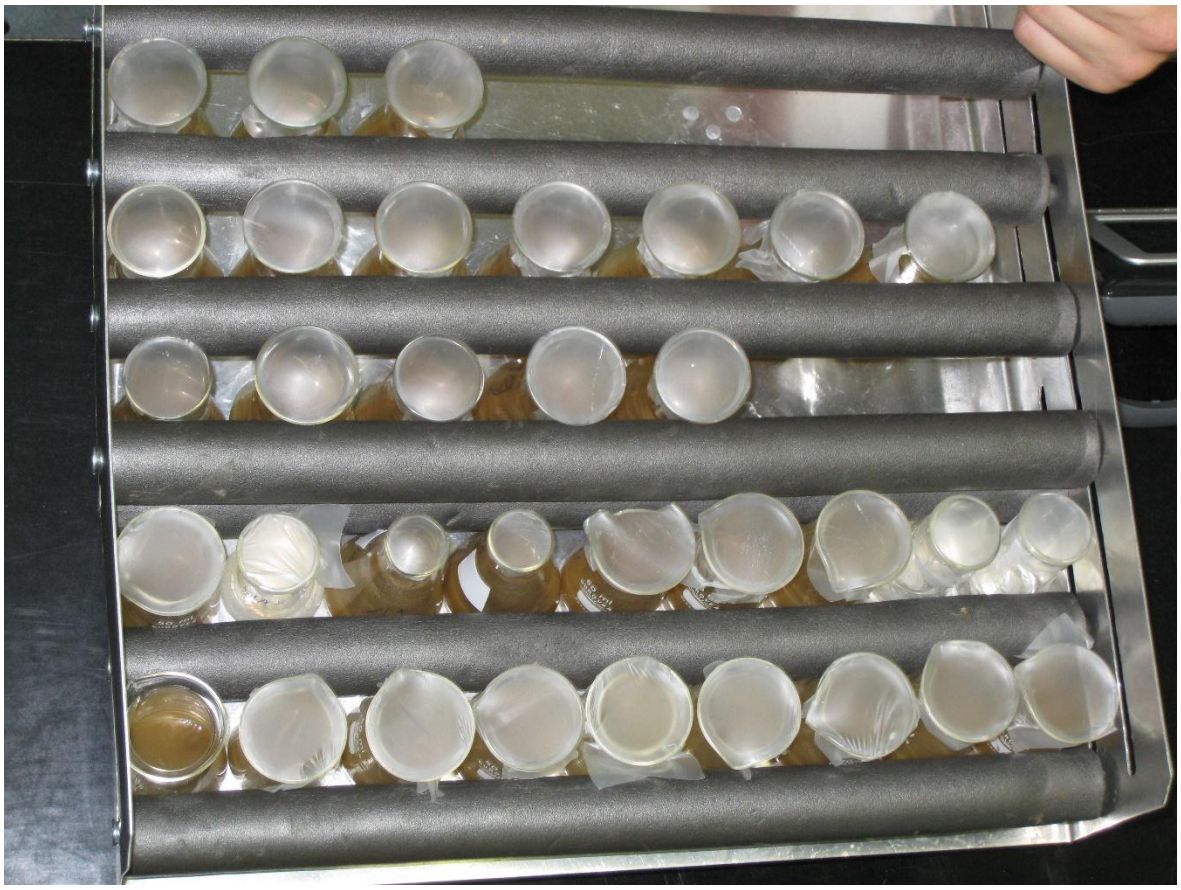
M2: A mezokozmos és talajoszlop kísérleti rendszerek fényképes bemutatása

Mezokozmosz kísérleti rendszer

Talajoszlop kísérleti rendszer

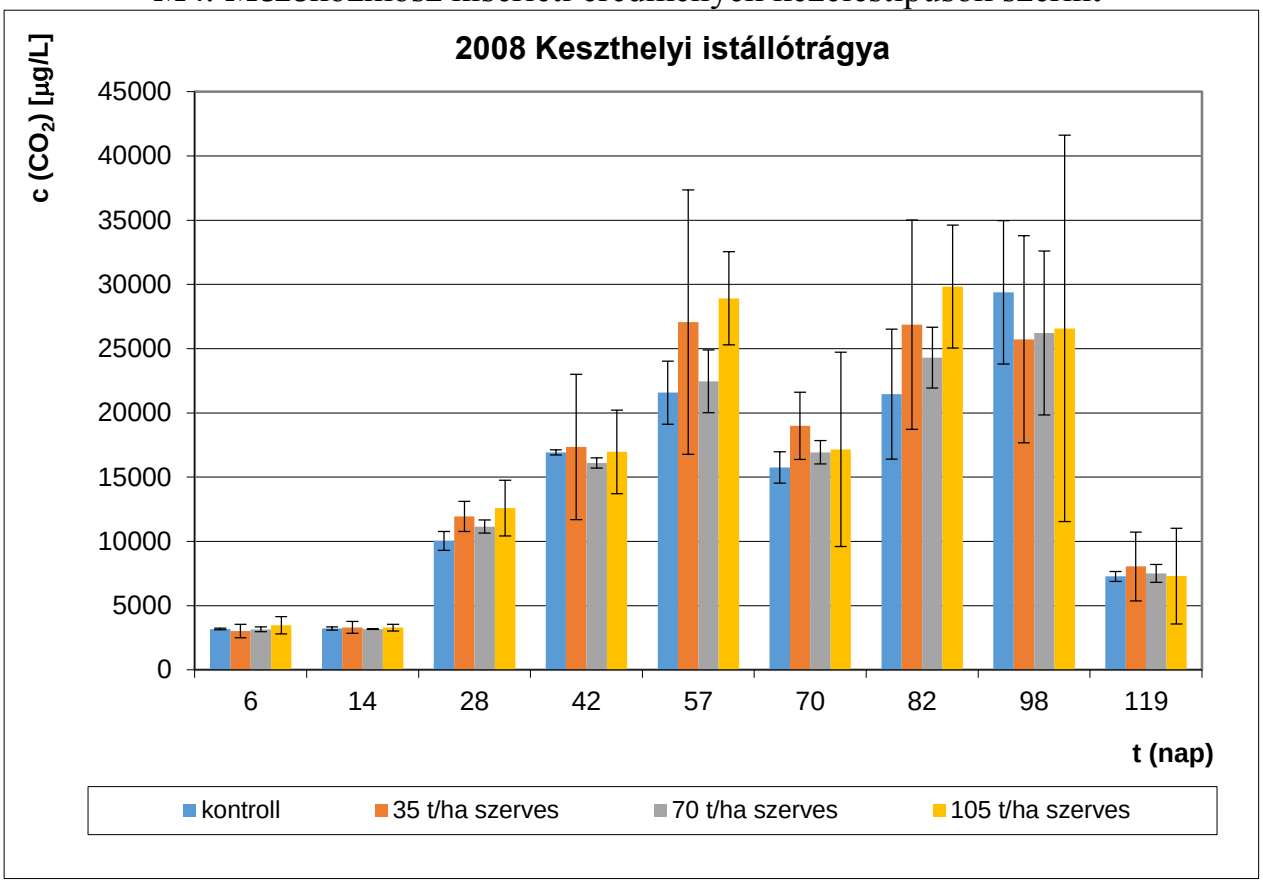
M3: A rázótálca műszaki rajza és fényképe



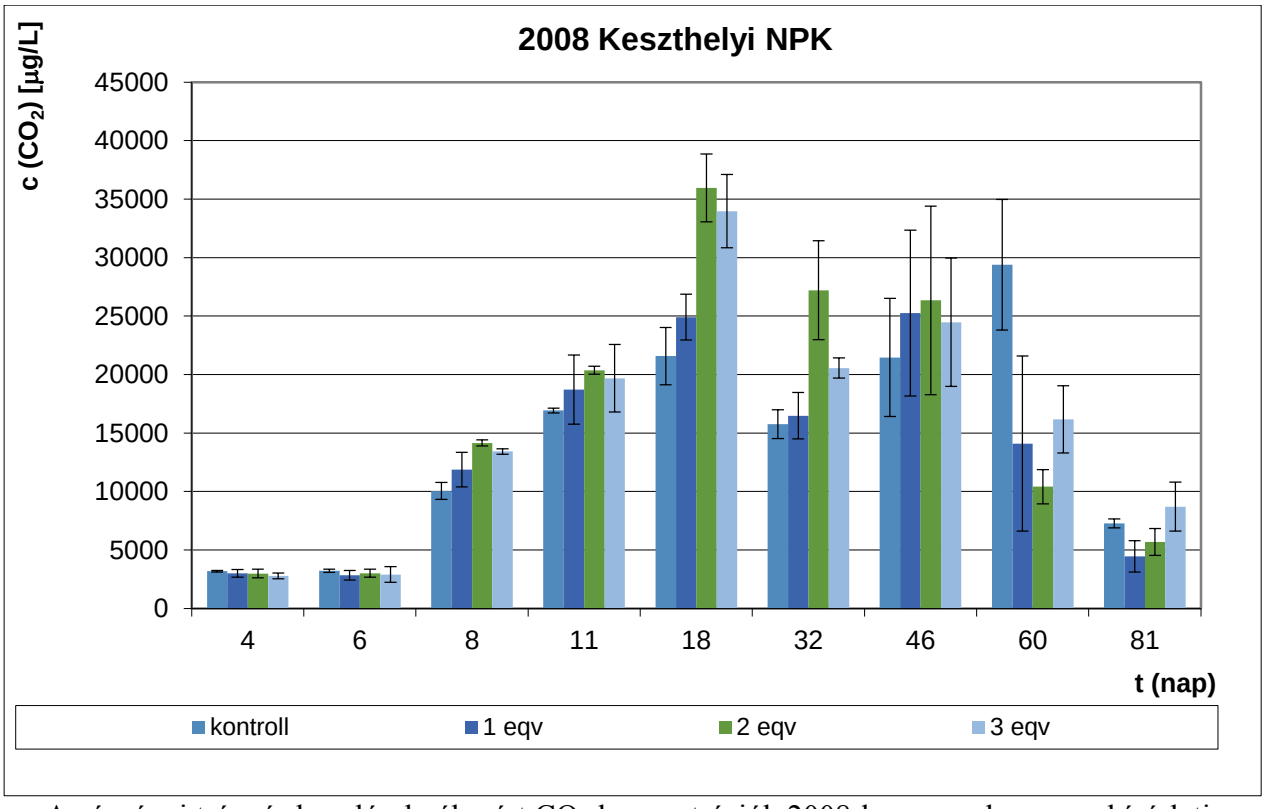


Mot 1/min
80 160 240 320 400 480 560 640 720 800
2m 3m 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 Time /min
Cabon
yellowline OS 5 basic

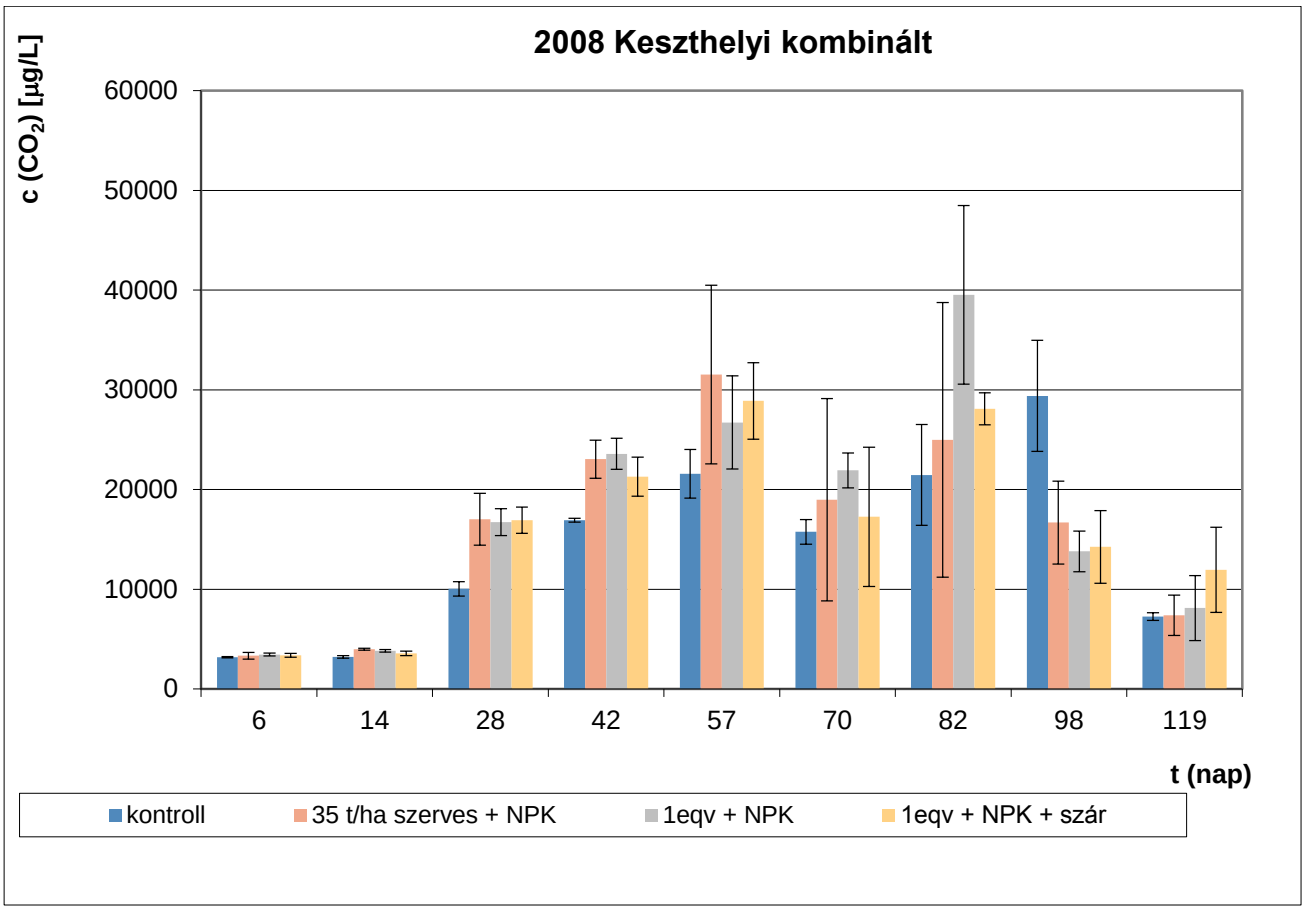
M4: Mezokozmosz kísérleti eredmények kezeléstípusok szerint



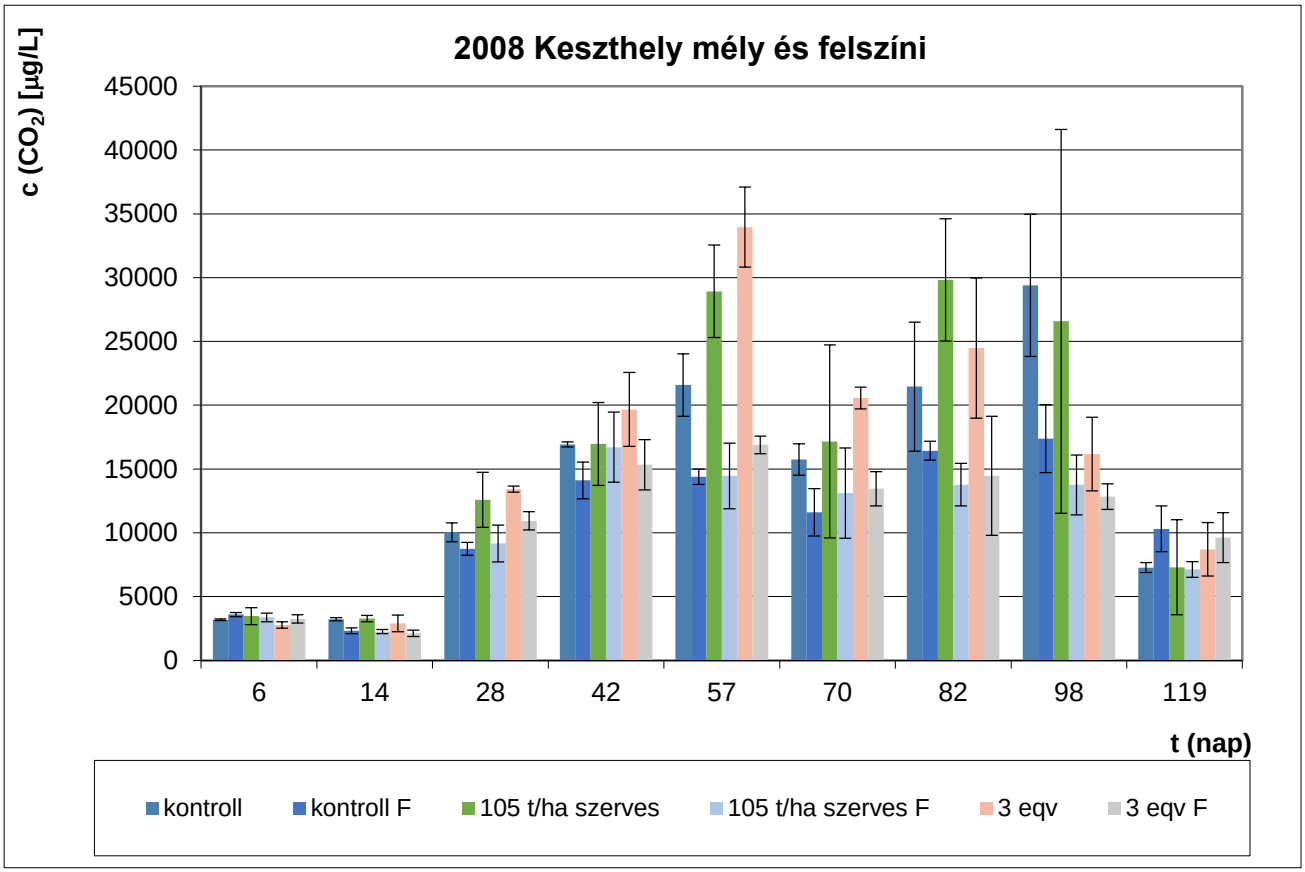
Az istállótrágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerben.



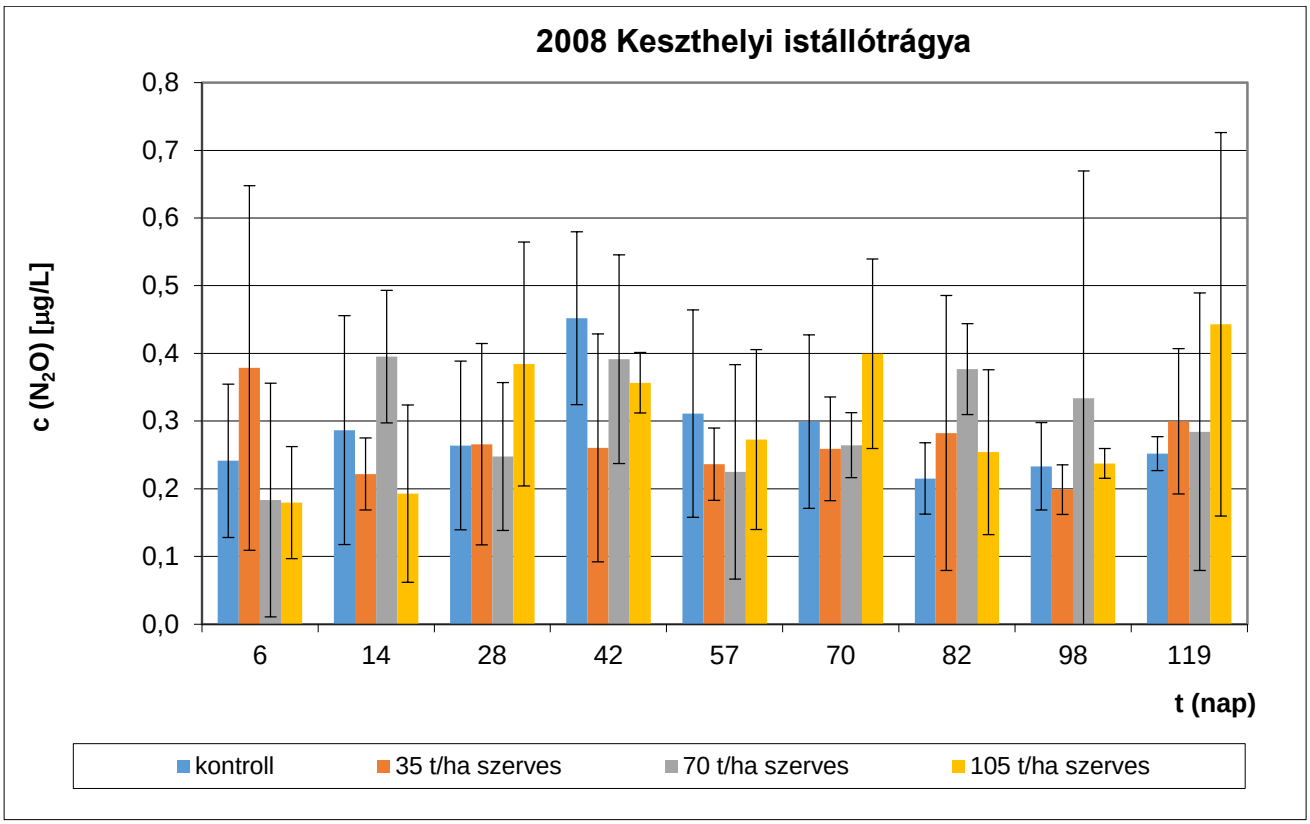
Az ásványi trágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerben.



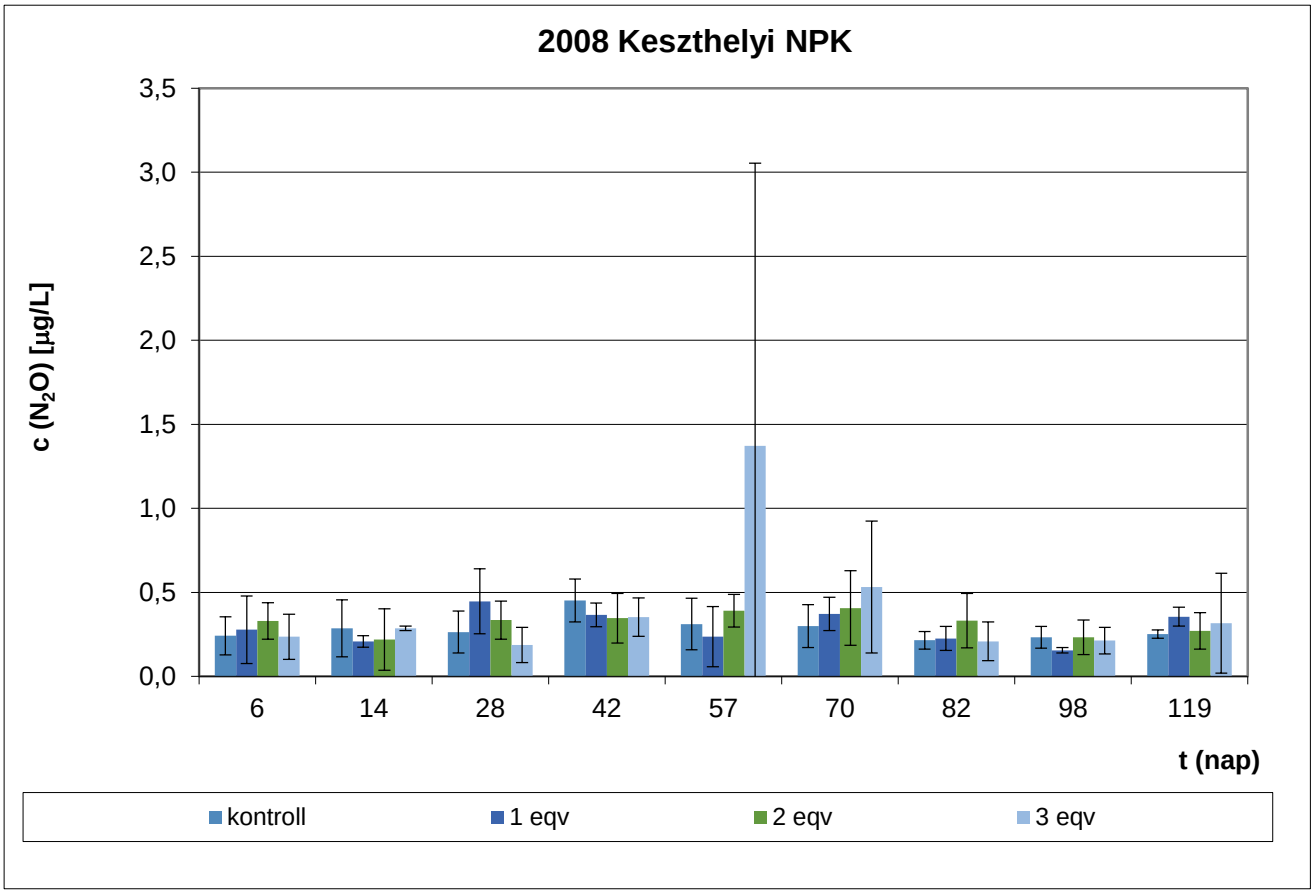
A kombinált (ásványi és szerves) trágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerben.



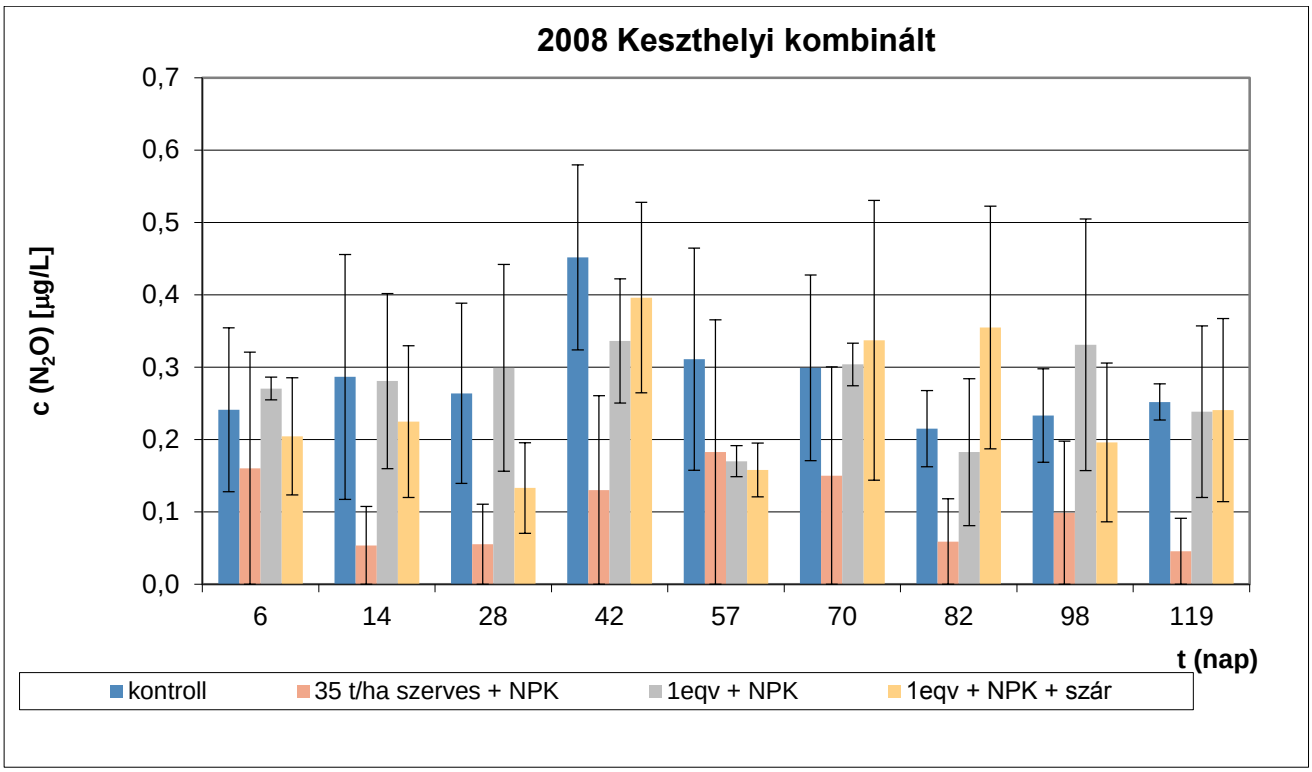
A felszíni (F-el jelölt) és mélységi gázcsapdákban mért CO_2 koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerben.



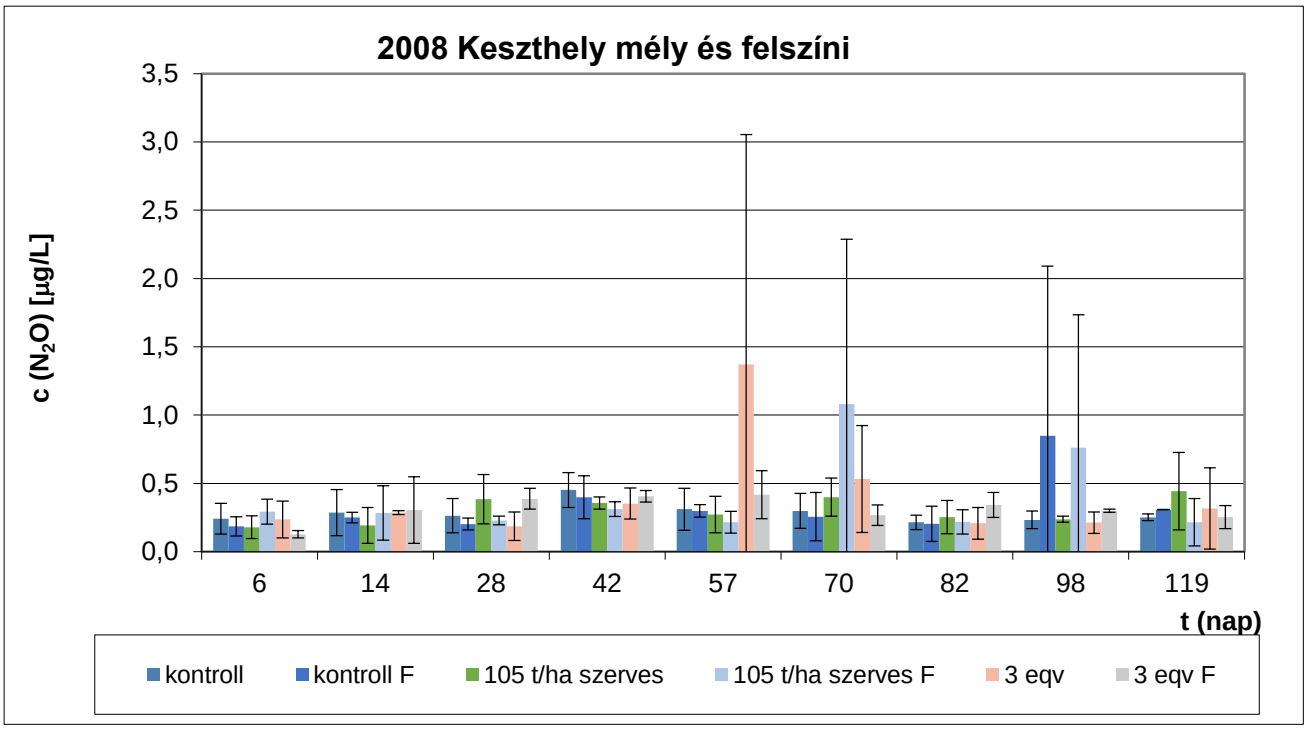
Az istállótrágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerben.



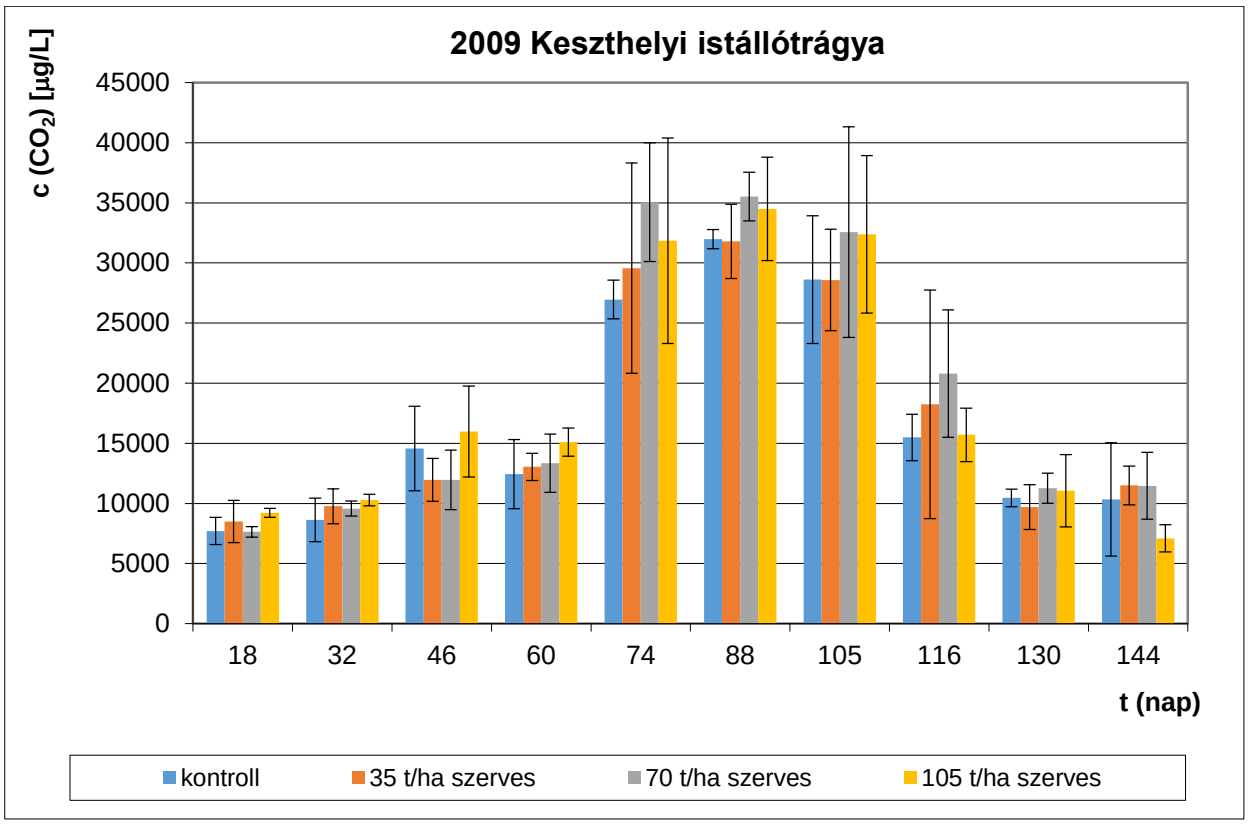
Az ásványi trágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerben.



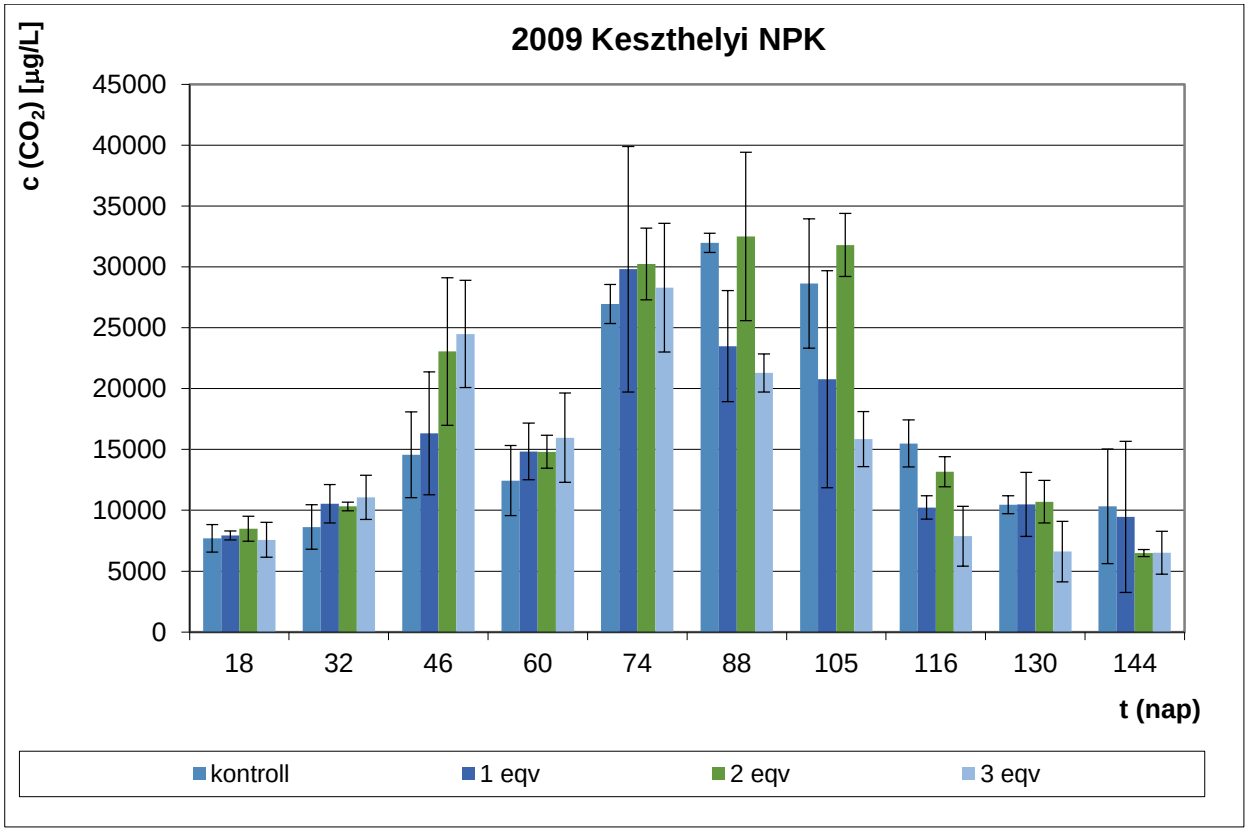
A kombinált (ásványi és szerves) trágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerbe



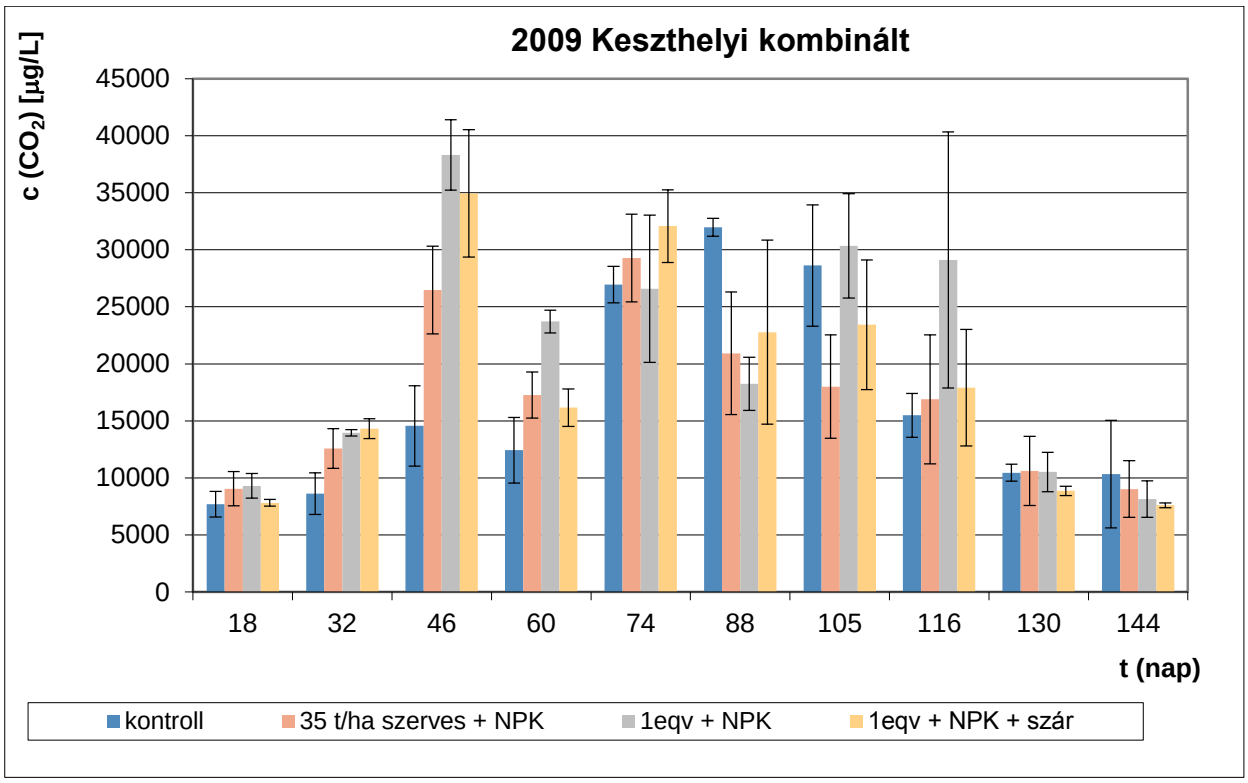
A felszíni (F-el jelölt) és mélységi gázcsapdákban mért N_2O koncentrációk 2008-ban mezokozmosz kísérleti rendszerben.



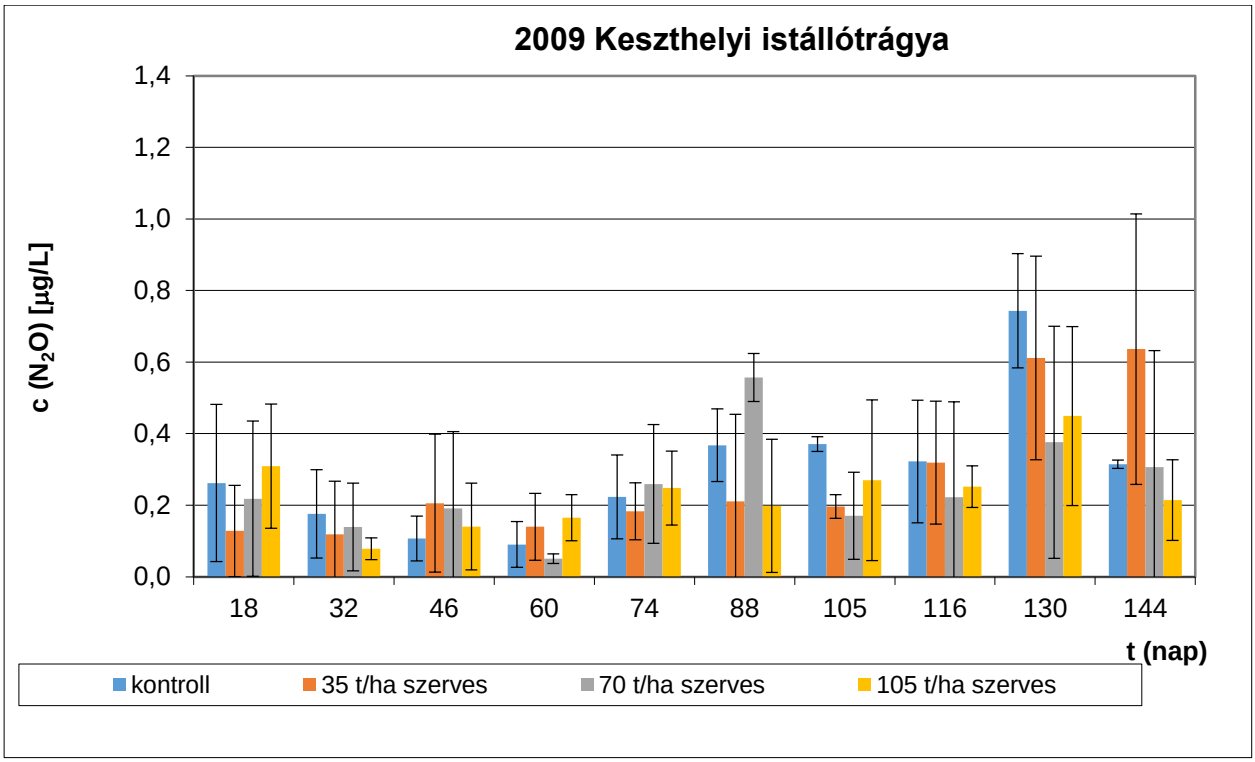
Az istállótrágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2009-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



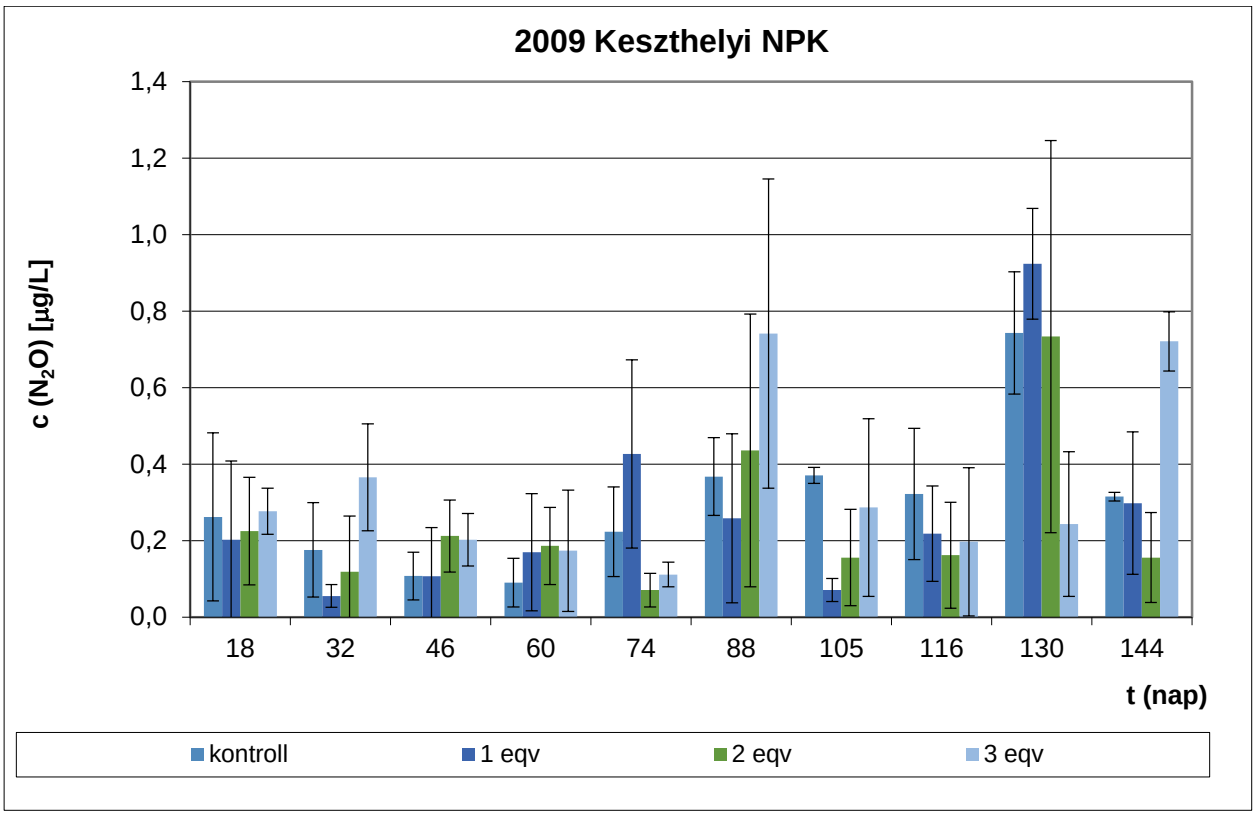
Az ásványi trágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2009-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



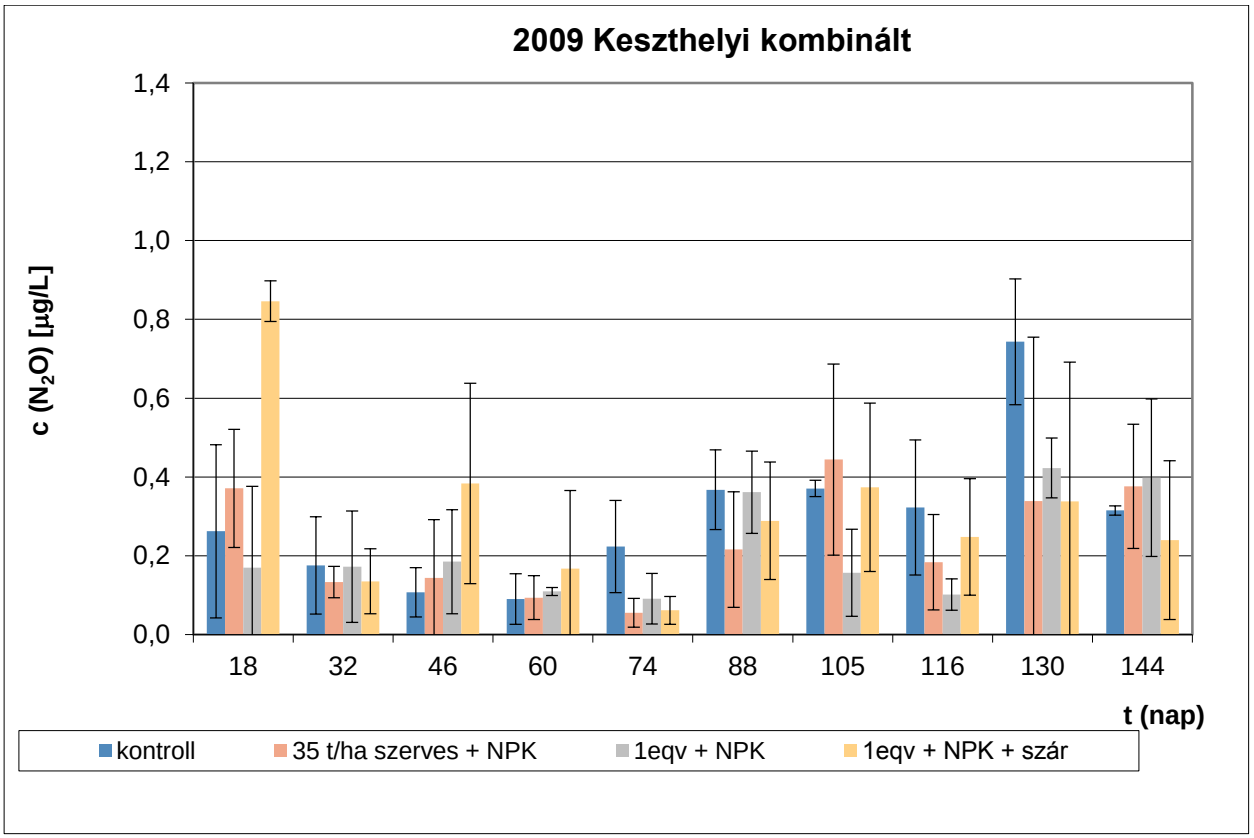
A kombinált (ásványi és szerves) trágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2009-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



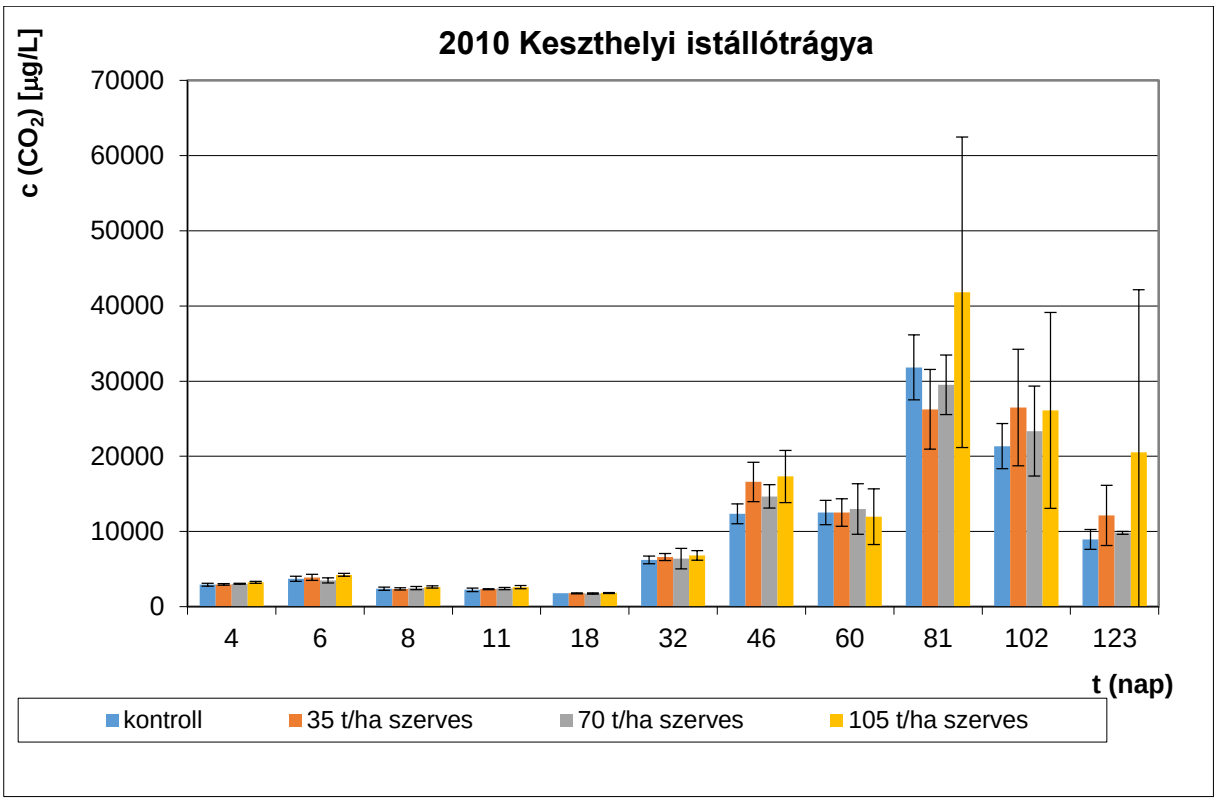
Az istállótrágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2009-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



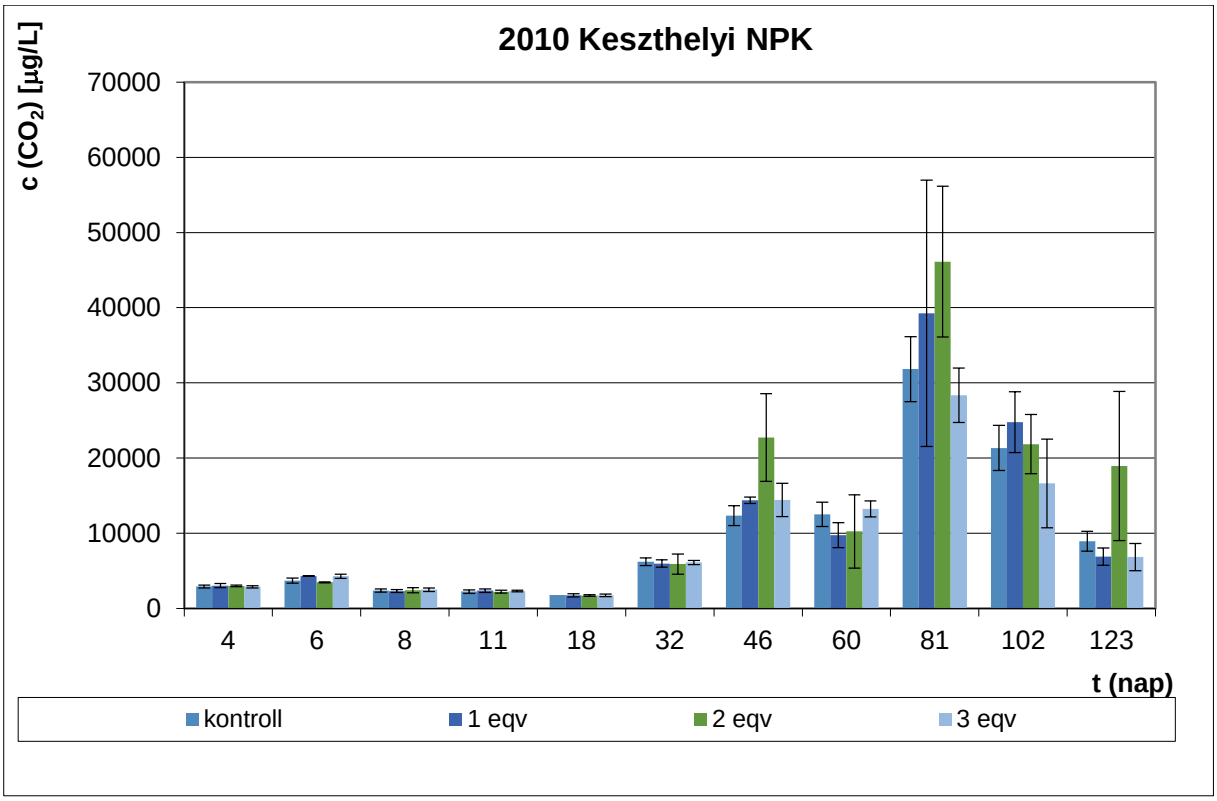
Az ásványi trágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2009-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



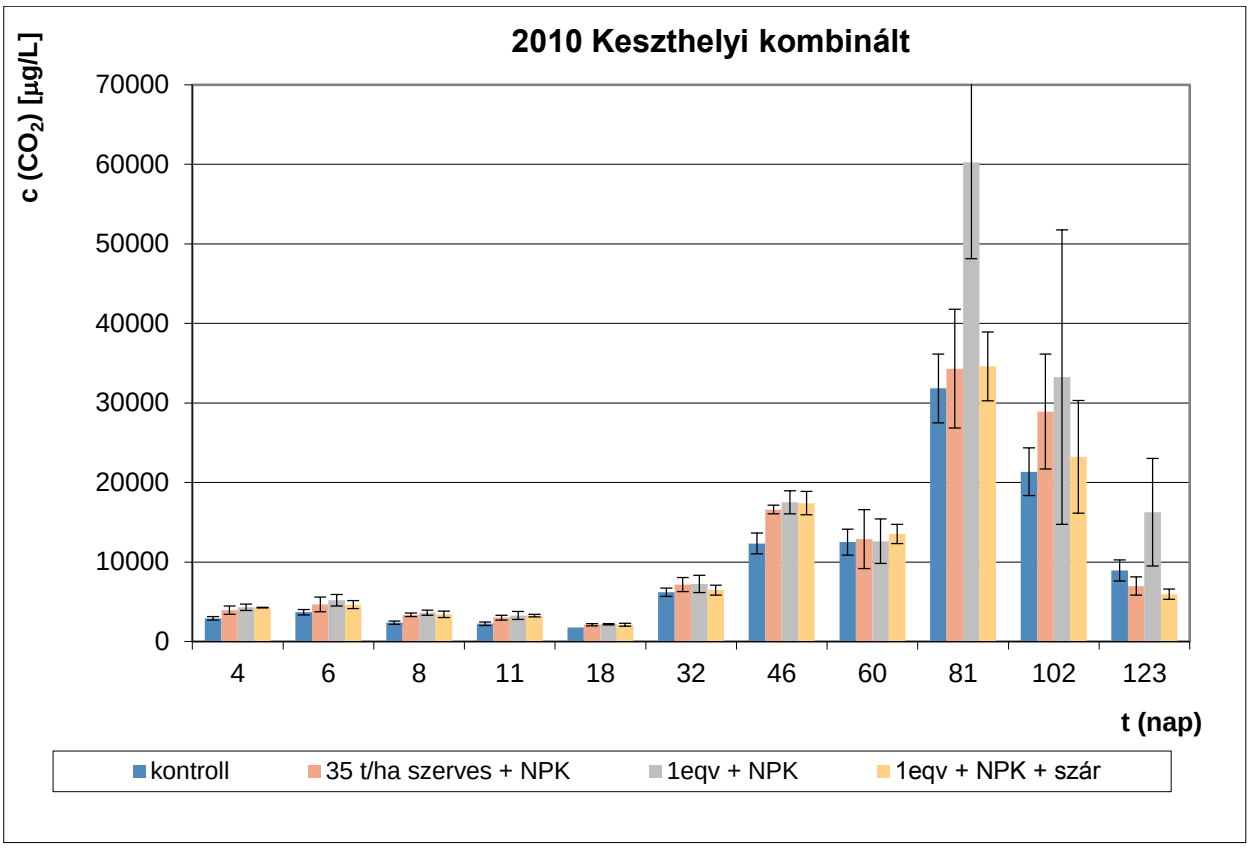
A kombinált (ásványi és szerves) trágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2009-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



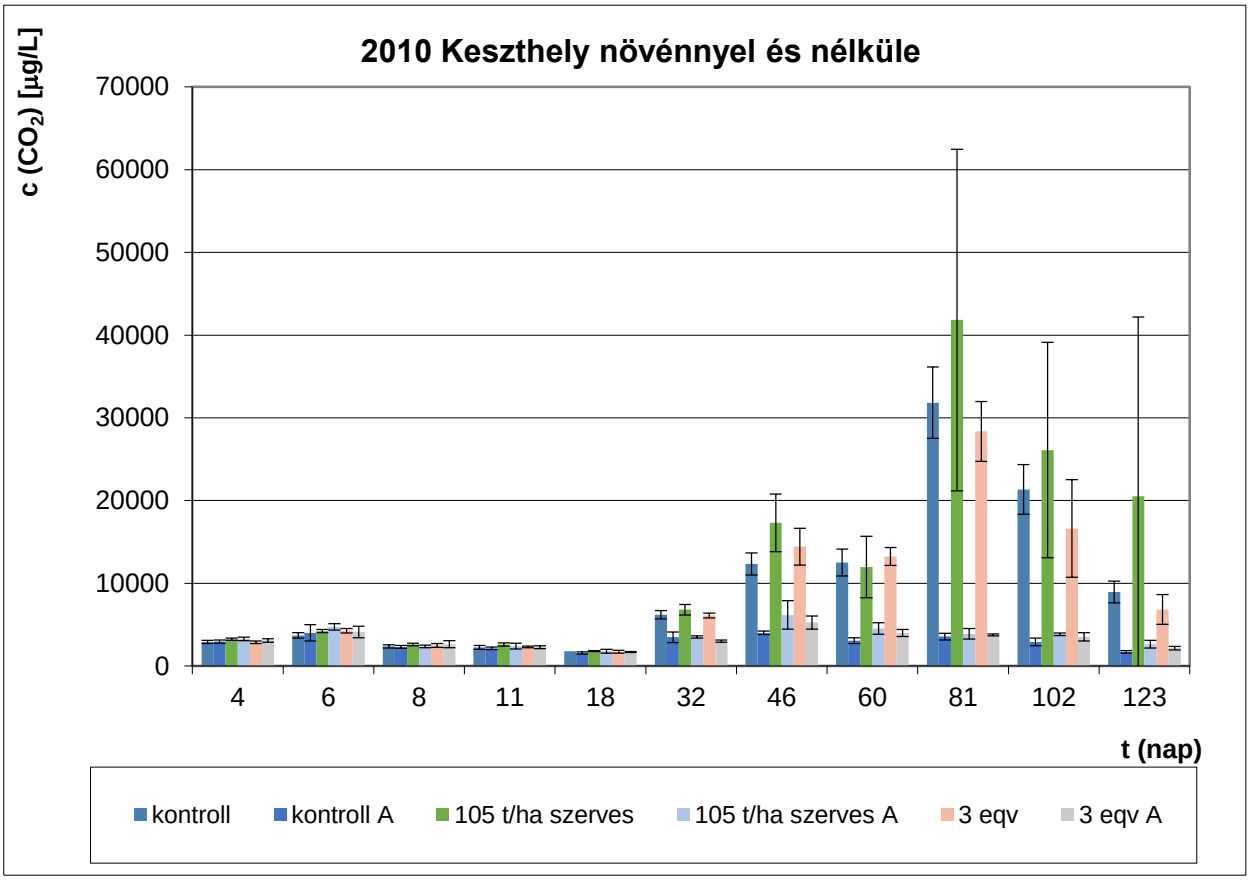
Az istállótrágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



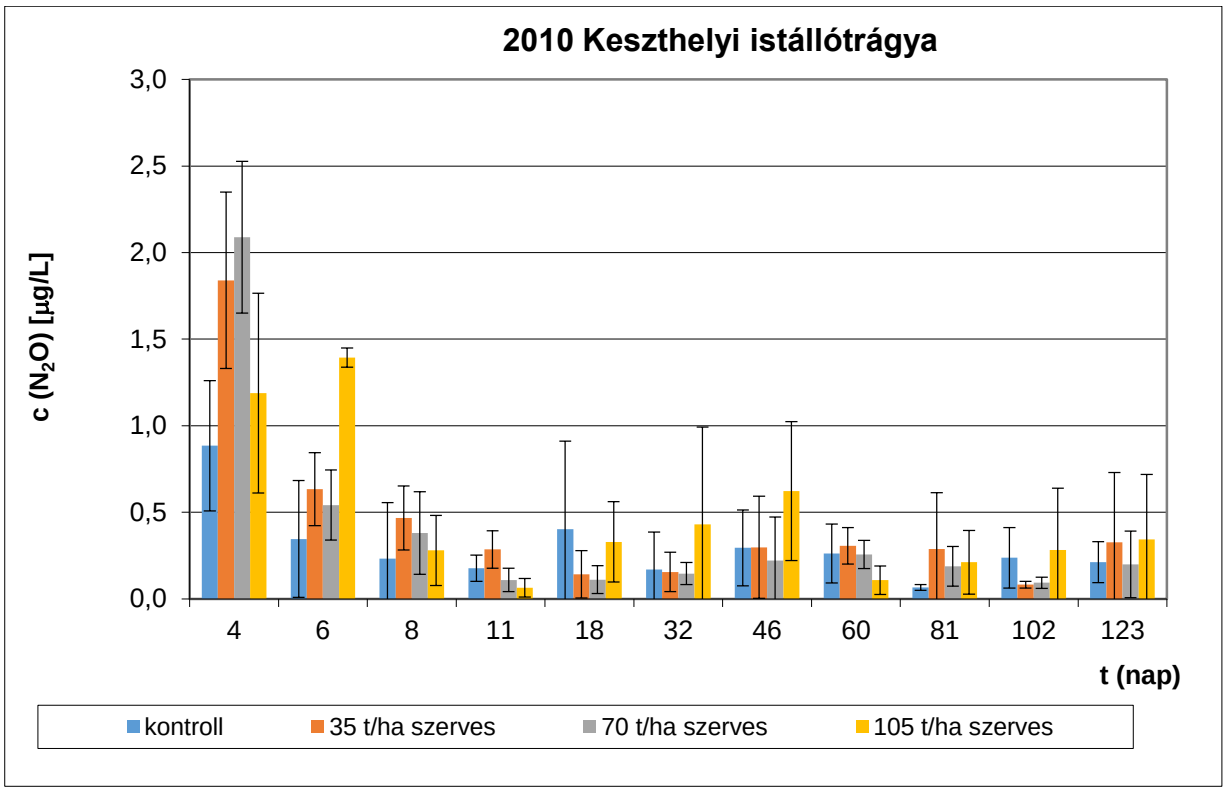
Az ásványi trágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



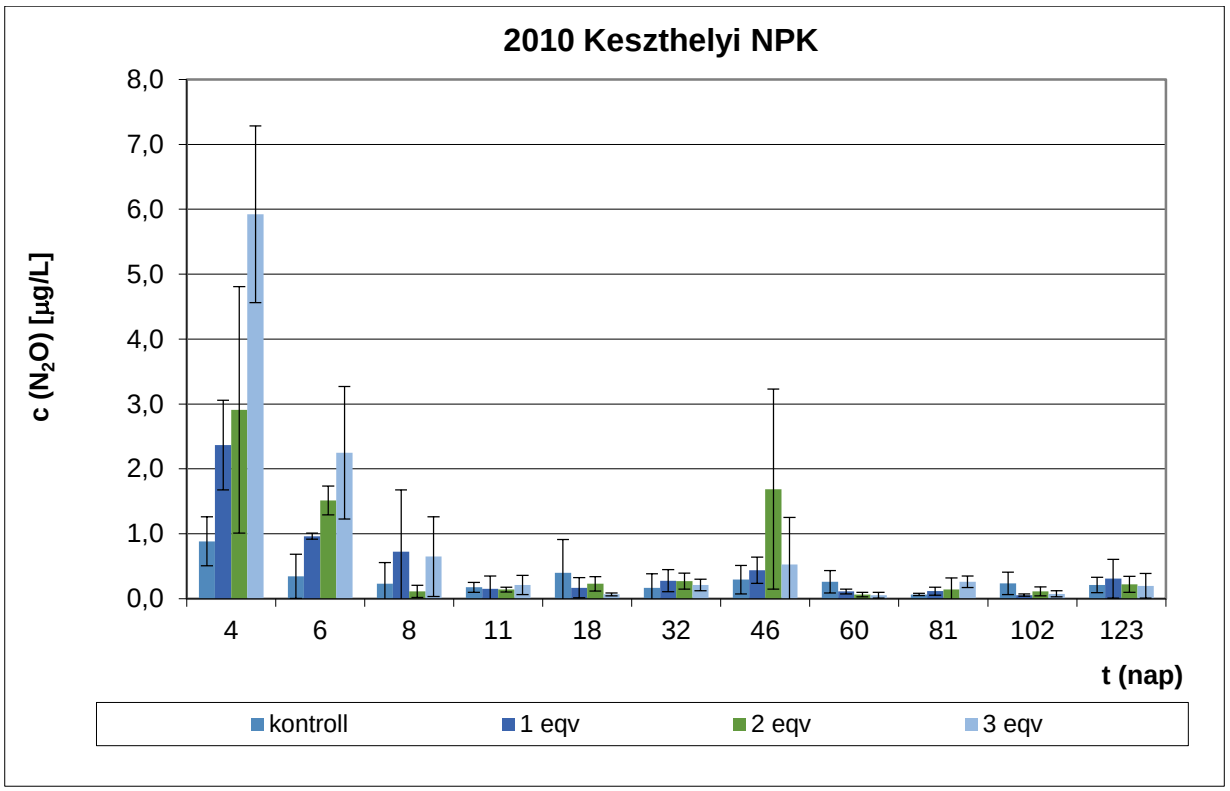
A kombinált (ásványi és szerves) trágyás kezeléseknél mért CO_2 koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



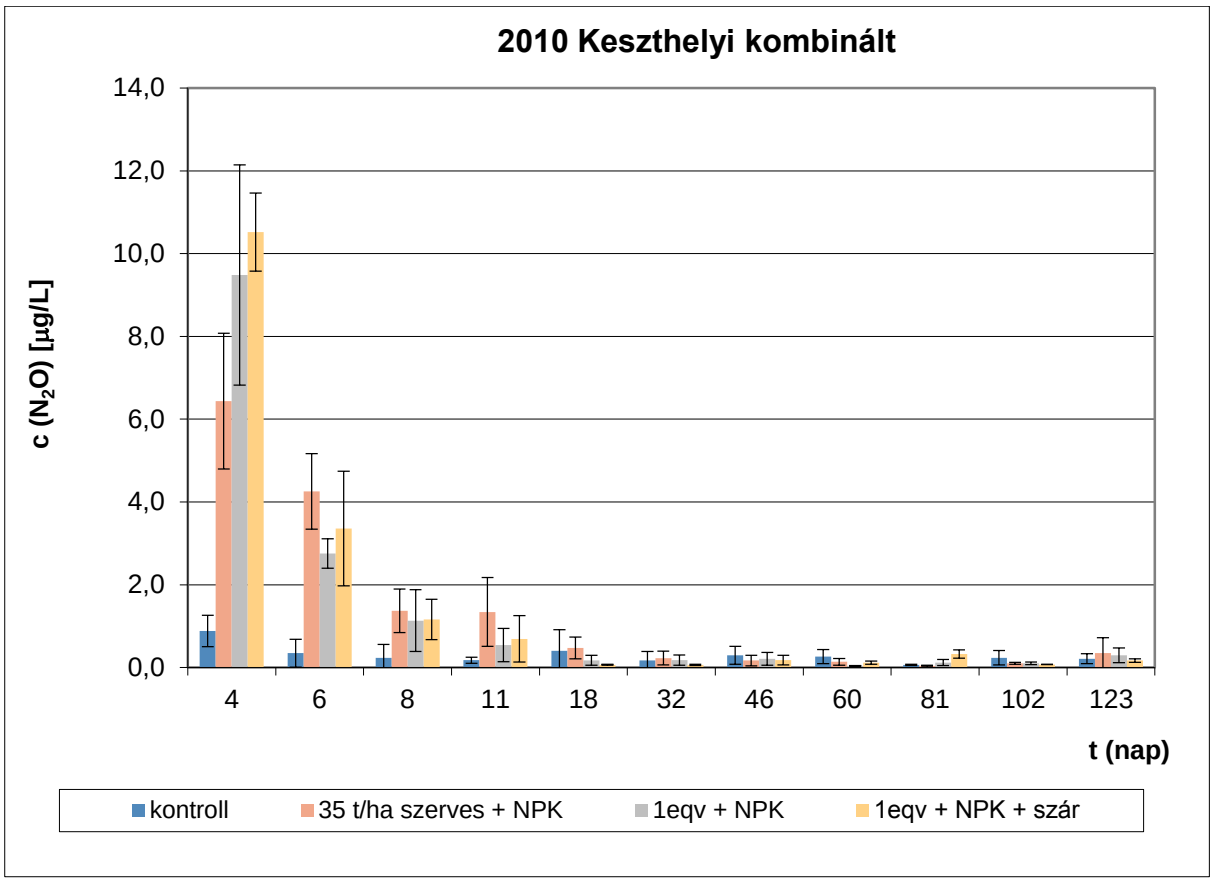
A növényt tartalmazó és a növény nélküli (A-el jelölt) tenyészedényekben mért CO_2 koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben



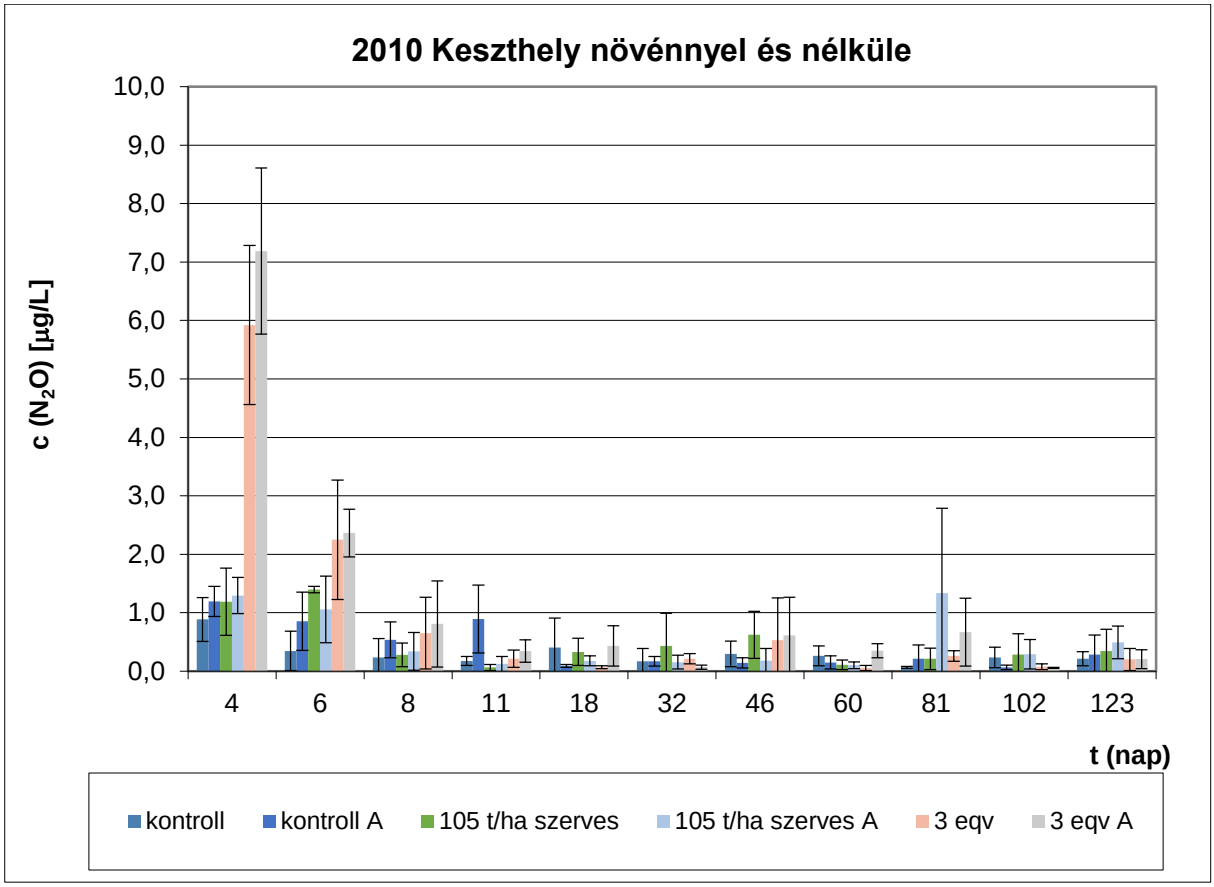
Az istállótrágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



Az ásványi trágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



A kombinált (ásványi és szerves) trágyás kezeléseknél mért N_2O koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.



A növényt tartalmazó és a növény nélküli (A-el jelölt) tenyészedényekben mért N_2O koncentrációk 2010-ben mezokozmosz kísérleti rendszerben.

11. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani valamennyi tanáromnak, munkatársamnak és barátomnak, akik nélkül ez a disszertáció nem készülhetett volna el.
Hálával tartozom témavezetőim odaadásáért **Dr. Heltai György Professzor Úrnak és Dr. Szili-Kovács Tibornak** akik töretlenül bíztatva, nagy türelemmel és szakmai támogatással várták a dolgozatom megszületését.

Munkámat segítették:

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet
Dr. Anton Attila, Villányi Ilona, Aranyos Károly, Radimszky László, Vass Csaba

Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar
Dr. Berecz Katalin, Dr. Debreczeni Béláné, Dr. Hoffmann Sándor, Kovács Marianna

SZIE Kémia Tanszék
Ács Lajosné, Dudás Jánosné, Dr. Kampfl Györgyi, Kristóf Krisztina, Dr. Horváth Márk Kálmán, Kiss Lászlóné, Mérőné Dr. Nótás Erika, Dr. Gyarmati Bernadett Dr. Mészárosné Dr. Bálint Ágnes, Dr. Halász Gábor Endre, Dr. Fülöp László

Más területen munkálkodó barátaim
Varsányi Ádám, Varsányi Zoltán, Illich Ivett

Végül szeretnék köszönetet mondani családomnak, különös tekintettel Laura és Zsófi lányomnak, akik kicsiny koruk ellenére is képesek voltak motiválni és segíteni apát a disszertáció írásában.