

**TERMÉSZETES ÉS ANTROPOGÉN HATÁSOK VIZSGÁLATA A TALAJ SZÉN- ÉS
NITROGÉNFORGALMÁRA**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

DENCSŐ MÁRTON

Témavezetők:

Dr. Barcza Zoltán
egyetemi docens

Hubainé Dr. Tóth Eszter
tudományos főmunkatárs

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Környezettudományi Doktori Iskola
Környezetkémia Program

Doktori Iskola vezető: Dr. Turányi Tamás, egyetemi tanár

Doktori Program vezető: Dr. Turányi Tamás, egyetemi tanár



ELTE
EÖTVÖS LORÁND
TUDOMÁNYEGYETEM

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar
Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék



Agrártudományi Kutatóközpont,
Talajtani Intézet, Talajfizikai és Vízgazdálkodási Osztály

Budapest
2023

1. Bevezetés

A földtörténet során a légköri üvegházhatású gázok koncentrációja változó volt, és kölcsönhatásban állt a mindenkori éghajlattal. Az emberi tevékenység hatására az ipari forradalom után a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄) és a dinitrogén-oxid (N₂O) légköri koncentrációja gyors ütemben emelkedni kezdett, és emiatt a természetes egyensúly felborult a globális biogeokémiai ciklusokban (elsősorban a szén- és nitrogénciklusban). A biogeokémiai ciklusok módosulása éghajlatváltozást indukált, ami az általános melegedés mellett különböző éghajlati anomáliákat (pl. szélsőségesen száraz időszakokat, vagy extrém csapadékeseményeket) okozott és fog okozni a világ számos területén (Ciais et al., 2013).

A téma relevanciája miatt számos kutatás foglalkozik a légköri üvegházhatású gázok forrásaival és nyelőivel, aktuális légköri mennyiségével, illetve a jövőbeli csökkentésüket illetve stabilizálódásukat célzó mitigációs lehetőségekkel (Xu és Shang, 2016; Haszpra et al., 2018; Barcza et al., 2020; Friedlingstein et al., 2020; Balogh et al., 2022). Az éghajlati rendszer jövőjének megértéséhez elengedhetetlenül fontos a globális és lokális szén- és nitrogénmérlegek becslése, illetve a folyamatok háttérben álló okok megértése. Emiatt ez a tudományterület manapság kiemelten fontos kutatási téma világszerte.

A mezőgazdasági talajok szén- és nitrogén mérlegét az emberi tevékenység befolyásolhatja a földhasználat váltás és a különböző talajművelési, trágyázási és egyéb agronómiai technikák alkalmazásával (Post és Kwon, 2000; Francioni et al., 2019). Ezeket a mérlegeket, illetve a talajeredetű kibocsátásokat igen nehéz becsülni, mivel az igen változatos éghajlati övek és talajtípusok nagyban befolyásolják a helyi kibocsátásokat és nyelőket. A bizonytalanságból fakadó ellentmondásokat minél több és minél hosszabb mérési adatsorral tudjuk feloldani, illetve a matematikai modellszámítások fejlesztésével tudunk a jövőre vonatkozó becsléseket adni (Hidy et al., 2022).

A különféle modellekkel előállított klímaszcenáriók alapján a közeljövőre valószínűsíthető a Kárpát-medence éghajlatának további változása (Bartholy et al., 2008). A jövőben a hőmérsékleti és csapadék extrémumok számának növekedésére lehet számítani a globális klímaváltozás miatt (Heim, 2015), az extrém időjárási események közül valószínűleg az aszályos időszakok megnövekedett száma lesz a legnagyobb hatással a szárazföldi szénciklusra (Frank et al., 2015). A változó éghajlat a mezőgazdasági termelést is befolyásolhatja, illetve ez által az alkalmazott agrotechnikák is módosulhatnak idővel. A szabadföldi vizsgálatok fontos részét képezik a folyamatok megértésének, és a jövőbeni lehetséges adaptációk kereséséhez is segítséget nyújthatnak a mezőgazdaságban.

2. Célkitűzések

Munkám során csernozjom talajokon beállított tartamkísérletekben vizsgáltam a talaj üvegházhatású gáz kibocsátását több évet átölelő talajrespiráció (CO₂ kibocsátás), illetve talaj N₂O emisszió mérések segítségével. A józsefmajori tartamkísérletben a fő cél **a hagyományos szántás és kétféle talajkímélő kezelés hatásának vizsgálata volt a CO₂ és N₂O kibocsátás vonatkozásában**, kiegészítve talajfizikai és -kémiai, illetve biomassza mérésekkel. Martonvásáron a fő cél **a szerves, illetve műtrágyázás hatásának számszerűsítése volt a talaj CO₂ és N₂O kibocsátására, a trágyázás nélküli referencia mérés figyelembe vételével**. Ugyancsak célkitűzés volt kontrollált laboratóriumi körülmények között egyfaktoros kísérleteket végezni talajoszlopokon az egyes **környezeti hatások vizsgálatára**.

3. Anyagok és módszerek

3.1. Kísérleti területek bemutatása

A józsefmajori talajművelési tartamkísérletet 2002-ben állította be prof. Dr. Birkás Márta. A kísérlet talajtípusa erdőmaradványos csernozjom, WRB szerint Haplic Kastanozem (Aric, Pantoloamic, Pachic, Bathycalcic). A dolgozatban a 28-30 cm művelési mélységű **szántás**, illetve a talajkímélő 18-20 cm művelési mélységű **sekély kultivátor**, valamint a nem művelt **direktvetés** kezelések egy-egy parcelláját vizsgáltam 2015 óta. A területen vetésforgót alkalmaznak, a műtrágyázás dózisát pedig a vetett növények igényei szerint állítják be. A vetett növények 2015 és 2021 között rendre őszi búza, kukorica, őszi zab, szója, őszi búza, őszi zab, napraforgó voltak.

A martonvásári 1.6-os trágyázási tartamkísérletben szerves trágyát (szarvasmarha istállótrágyát), NPK műtrágyát és ezek kombinációját alkalmazzák azonos talajművelés (szántás) mellett 1955 óta. A kísérlet talaja kilúgzott csernozjom, WRB szerint Endocalcic Chernozem (Aric, Pantoloamic, Pachic, Bathyglyeyic). Dolgozatomban 2020 óta vizsgáltam a trágyázás nélküli **kontroll**, a **szerves** trágyázott, az NPK **műtrágyázott**, valamint a **szerves és műtrágyázott** kezelések három-három parcelláját. A parcellákon a műtrágya dózisa egységesen 160 kgN ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹ foszfor és 80 kg ha⁻¹ kálium (K), a szervestrágya dózisa pedig 35 kg ha⁻¹. A vetett növény mindkét vizsgálati évben kukorica volt.

3.2. A kísérletek felépítése

A szabadföldi józsefmajori vizsgálataim során (2015-2021) monitorozásra került a **talajhőmérséklet és talajnedvesség-tartalom** négy mélységben 0-45 cm között talajművelési kezelésként egy ismétlésben. Emellett kéziműszeres mérésekkel 0-10 cm mélységben területileg több ismétlésben is elvégeztem a vizsgálatokat az ÜHG mérési pontokban is. Az aratás és talajművelés után 2020-ban a területen **maradt szármaradványok száraz tömegének** vizsgálatát is elvégeztem parcellánként kilenc ismétlésben. A **talaj szerves szén, teljes nitrogén, ammónium-nitrogén és nitrát-nitrogén** tartalmát rendszeres mérésekkel követtem nyomon 0-10 cm mélységben, illetve vertikális heterogenitás vizsgálatot is végeztem 0-20 cm mélységben. Alkalmi mérések segítségével meghatároztam a vizsgált talajművelési kezeléseknél mérhető **pH**-értéket és **CaCO₃** tartalmát. A **talajrespirációs** méréseket heti rendszerességgel végeztem, míg a **N₂O kibocsátás** kétheti-havi szinten, illetve csapadékeseményekhez köthetően mértem. Laboratóriumban talajoszlopokon vizsgáltam a **talajművelés, a műtrágyázás** dózisének és a **szármaradványok** kibocsátásokra való hatását, illetve a kibocsátások hőmérséklet- és talajnedvesség-függését. Ezekben a kísérletekben a szántásból és a direktvetésből származó talajminták bolygatatlan szerkezetűek voltak és a szabadföldre jellemzően a talajnedvesség-tartalmuk eltért egymástól. Azonos talajnedvesség-tartalomra beállított megőrölt és átszitált mintákkal is beállítottam egy mikrokozmosz kísérletet a talajszerkezetben és talajnedvesség-tartalomban fellépő különbségek kiküszöbölése céljából.

A martonvásári szabadföldi kísérletben (2020-2021) kéziműszeres mérésekkel 0-10 cm mélységben területileg több ismétlésben vizsgáltam a **talajhőmérsékletet és talajnedvesség-tartalmat** az ÜHG mérési pontokban a gázmérésekkel párhuzamosan. Emellett rendszeres talajmintavétel után meghatároztam a már említett **szén és nitrogén ciklushoz köthető kémiai paramétereket**, illetve alkalmi **pH** és **CaCO₃** méréseket is végeztem a területen. A **talajrespirációs és N₂O kibocsátás mérések** jellemzően kétheti rendszerességgel, illetve csapadékeseményekhez köthetően történtek.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. A talaj ÜHG kibocsátásának környezeti paraméterekkel való összefüggése

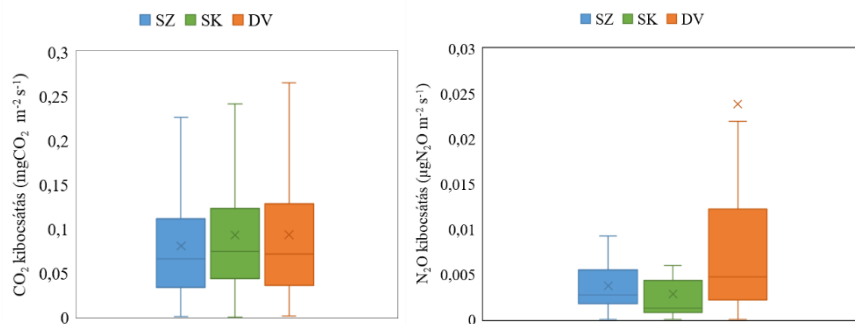
A józsefmajori talajművelési és martonvásári trágyázási kezelések szabadföldi CO₂ kibocsátásának menete követte a talajhőmérséklet éves menetét, és közepesen erős kapcsolat volt detektálható a mennyiségek között ($r^2 \geq 0,37$, exponenciális modell). Ezzel szemben a korreláció erőssége a kibocsátás és a talajhőmérséklet között laboratóriumban erős volt ($r^2 \geq 0,92$; exponenciális modell). Ez azért lehetséges, mert szabadföldön úgynevezett látszólagos talajhőmérséklet-függés mérhető, ami azt jelenti, hogy a CO₂ emissziót a vetett növények gyökérlégzése is befolyásolja más környezeti tényezők mellett. A növény nélküli időszakokban jobb volt a talajrespiráció talajhőmérséklet-függése ($r^2 \geq 0,67$; exponenciális modell), mint a vegetációs időszakokban ($r^2 \geq 0,20$; exponenciális modell), mivel ekkor a növények nem befolyásolták a kibocsátások hőmérsékleti érzékenységét. Az őszi vetésű években a vegetációs időszak közepe-vege felé csökkent a talajrespiráció a júniusban tovább növekvő talajhőmérséklet ellenére. Ez a csökkenő növényi aktivitással (és a talajnedvesség-tartalom párhuzamos csökkenésével) magyarázható. Az aratás után egyes években ugrásszerűen megnőtt a talajrespiráció, ami a növényi szármagadányok talajhőmérsékletre, talajnedvesség-tartalomra, és ezen keresztül a mikrobiológiai közösségre való hatásának, illetve akár a talajfelszín mulcstakarójának saját mikrobiológiai aktivitásának következménye volt. A talajrespiráció talajnedvesség-függését szabadföldi körülmények között nem sikerült kimutatni ($r^2 \geq 0,01$; lineáris modell), ami azzal magyarázható, hogy az egyéb környezeti tényezők dominánsabbak voltak, mint a nedvesség időbeli hatása. Laboratóriumi körülmények között a biotikus és egyéb abiotikus hatások kizárásával sikerült erős pozitív összefüggést kimutatni a talajnedvesség és a kibocsátás között ($r^2 \geq 0,96$; talajművelési kezeléstől függően exponenciális és kvadratikus modellek alapján).

A talaj N₂O kibocsátása és a talajhőmérséklet között szabadföldön nem lehetett kimutatni kapcsolatot, viszont laboratóriumban egyfaktoros kísérletek alapján közepes és erős összefüggések voltak a két paraméter között ($r^2 = 0,42-0,99$; lineáris és kvadratikus modellek alapján). Ezzel szemben a talaj N₂O kibocsátása szabadföldi és kontrollált körülmények között is függött a talajnedvesség-tartalomtól ($r^2 \geq 0,38$ és $r^2 \geq 0,87$; exponenciális és kvadratikus modellek alapján). Szabadföldön a csapadékosabb tavaszi és őszi időszakok alatt lehetett nagyobb mértékű kibocsátási eseményeket mérni a vizsgált területeken. Józsefmajorban 40 V/V%-os nedvességállapot felett sok esetben nagyságrendekkel megugrott a kibocsátások

mértéke, ami az oxigénben szegényebb körülmények miatti denitrifikációs folyamatok dominanciájára utal. Szabadföldi és laboratóriumi kísérleteim alapján a nagy talajnedvességtartalom szükséges, de nem elégséges feltétele volt a N₂O kibocsátásnak. A trágyázás, azaz a talaj teljes nitrogén, nitrát-nitrogén tartalma és annak növekedése ugyancsak fontos faktora a kibocsátásoknak.

4.2. A talajművelési kezelések ÜHG kibocsátásának különbsége

Szabadföldi körülmények között a talajkímélő direktvetésben nagyobb volt a talajrespiráció és a dinitrogén-oxid kibocsátás a hagyományos szántáshoz képest, és ez a kezelésbeli különbség laboratóriumi körülmények között az eredeti többszörösére nőtt (Dencső et al., 2021; Gelybó et al., 2022). A sekély kultivátor talajrespirációs szempontból a direktvetés kezeléséhez, míg a N₂O kibocsátást tekintve a szántáshoz hasonlított szabadföldi vizsgálataim alapján (1. ábra).



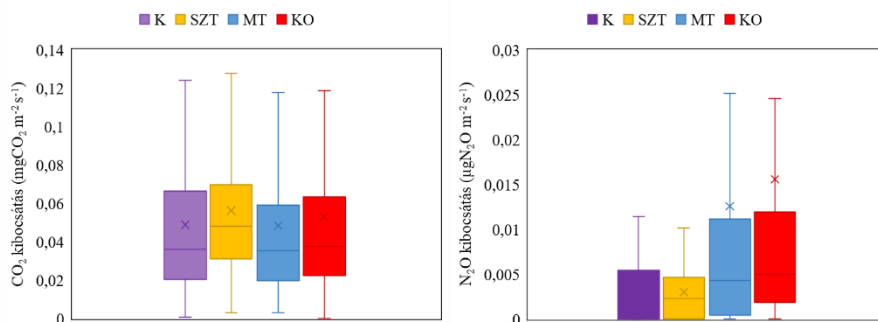
1. ábra: A szántás (SZ), sekély kultivátor (SK) és direktvetés (DV) kezelések átlag talajrespirációja és N₂O kibocsátása szabadföldön

A sekély kultivátor és direktvetés kezelések szántáshoz képest nagyobb talajrespirációját a talaj nagyobb szerves szén tartalmával lehet magyarázni, ami tápanyagot biztosít a CO₂ kibocsátásért felelős mikrobák számára. További magyarázat az aratás és művelés után megfigyelhető szántáshoz képest nagyobb mulcstakaró ezekben a kezelésekben, ami a mikrobióta közösség szerkezetét befolyásolhatta. A legtöbb évben a sekély kultivátorban lehetett mérni a legnagyobb termésátlagot (a dolgozat eredményei ezt nem tartalmazzák; az elektronikus mellékletben olvasható), mely a szakirodalom szerint korrelál a gyökérabundanciával és -tömeeggel, így az ebben a kezelésben megfigyelt nagyobb talajrespiráció háttérében a nagyobb gyökérlégzés is állhat. Az eredmények szerint hangsúlyosabb volt a kezelés hatás a tavaszi, mint az őszi vetésű években (Gelybó et al., 2022). Ez rávilágít a növényfaj fontosságára és a vizsgálati hossz megfelelő megválasztására.

A direktvetés másik két kezeléshez képest nagyobb N_2O kibocsátása az ebben a kezelésben mérhető legnagyobb átlagos talajnedvesség-tartalommal és a talaj legnagyobb teljes nitrogén és nitrát-nitrogén tartalmával lehet magyarázni. A nagy talajnedvesség-tartalom oxigénben szegényebb állapotokat indukál, a nagyobb nitrogén készlet pedig tápanyagot biztosít a denitrifikációs folyamatokhoz. Egy másik fontos kémiai paraméter a talaj pH értéke, ami a direktvetésben volt a legkisebb. A pH-érték eltérése szintén magyarázza a kezelések közötti különbségeket. A mikrokozmosz kísérlet szerint a direktvetéssel azonos talajnedvesség-tartalom esetén a sekély kultivátor kezelésben is megnő a N_2O kibocsátás, míg a szántásban nem történik nagyobb mértékű változás az eredeti szabadföldi kibocsátáshoz képest. A sekély kultivátor viselkedését nagyobb talajnedvesség-tartalom során a közepes nitrogéntartalmával lehet magyarázni. Fontos megemlíteni, hogy ebben a kísérletben beállított nedvességállapot a szántás és sekély kultivátor kezelésekre vonatkozóan irreális szabadföldi körülmények között.

4.3. A trágyázási kezelések ÜHG kibocsátásának különbsége

Összességében a szerves trágyázott kezelésben nagyobb volt az átlagos talajrespiráció a műtrágyázott kezeléshez képest, viszont a két évet külön vizsgálva ellentmondó talajrespirációs eredmények rámutatnak a mérések hosszának fontosságára. A két éves átlag N_2O kibocsátás egyértelműen a műtrágyázott és kombinált szerves és műtrágyázott kezeléseknél nagyobb volt a szerves trágyázott és kontroll kezelésekhez képest (2. ábra).



2. ábra: A trágyázás nélküli kontroll (K), a szerves trágyázott (SZT), NPK műtrágyázott (MT), valamint szerves és műtrágyázott (KO) kezelések átlag talajrespirációja és N_2O kibocsátása szabadföldön

A műtrágyázott kezelés átlagosan kisebb talajrespirációját nem lehet magyarázni a talaj szerves szén-készletének különbségével, viszont a műtrágya talaj pH-értékét csökkentő hatásával igen.

A műtrágyázott és kombinált kezelések nagyobb N_2O kibocsátásait, az ezeken a parcellákon mérhető nagyobb átlagos nitrát-nitrogén tartalommal, a talaj kisebb C:N és pH-értékével lehet

magyarázni, mely paraméterek mind kedveznek a nitrifikációs és denitrifikációs folyamatoknak.

5. Az értekezés tézisei

A hagyományos és a talajkímélő kezelések összehasonlítása:

1. Kiemelkedően nagy számú, 18 állomás-év (*site-year*) adatsor segítségével rámutattam arra, hogy egy csernozjom talajú tartamkísérlet beállítása után 20 évvel a talajkímélő kezelések alatt álló parcellák $0,093 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ átlagos talajrespirációja magasabb a hagyományos szántás $0,081 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ átlagkibocsátásához képest, ami ezen parcellák esetén a feltalaj nagyobb szerves széntartalmával magyarázható elsősorban.
2. Kimutattam, hogy a talajkímélő direktvetés alatt álló parcellában $0,024 \text{ } \mu\text{gN}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ átlagkibocsátást lehet megfigyelni, ami hatszor nagyobb volt a szántás vagy sekély kultivátor kezelések $0,003\text{-}0,004 \text{ } \mu\text{gN}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ kibocsátásához képest, az itt mérhető nagyobb talajnedvesség- és nitrogéntartalom, illetve kisebb pH-érték miatt. A magyarázó tényezők a denitrifikációs folyamatok dominanciájára utalnak a direktvetés kezelésben.
3. Kísérleteim alapján a laboratóriumi eredmények alátámasztják a szabadföldi megfigyeléseinket, viszont a kezeléshatás nagyobb volt kontrollált körülmények között. A direktvetés CO_2 kibocsátása szabadföldön 1,2-szer nagyobb volt a szántáshoz képest, míg ez az érték laboratóriumban 1,9-2,5 volt. A direktvetés N_2O kibocsátása szabadföldön 6-szor nagyobb volt a szántáshoz képest, míg laboratóriumban 14-26-szoros különbség adódott.
4. A mérési eredmények alapján a vizsgált Józsefmajori területen a sekély kultivátor művelési mód ajánlható, mivel a hagyományos szántáshoz képest itt nagyobb a talaj szénraktározása, viszont a direktvetéshez képest kisebb a N_2O kibocsátás.

A szerves és műtrágyázás összehasonlítása:

5. A martonvásári tartamkísérletekben végzett kamrás mérések segítségével kimutattam, hogy csernozjom talajon műtrágyázás esetén négyszer nagyobb a dinitrogén-oxid kibocsátás (éves átlaga $0,014\text{-}0,017 \text{ } \mu\text{gN}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a szerves trágyázáshoz képest ($0,003 \text{ } \mu\text{gN}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), amit a talaj nagyobb nitrogéntartalma és kisebb C:N aránya, illetve pH-értéke magyaráz.
6. A Martonvásáron végzett terepi mérések eredményei alapján az üvegházhatású gáz kibocsátás szempontjából megfontolandó lehet a szerves trágyázás preferálása a műtrágyázással szemben, mivel alkalmazása során jóval kisebb N_2O kibocsátással lehet számolni.

Környezeti paraméterek vizsgálata:

7. A szabadföldi és laboratóriumi mérésekkel bebizonyítottam, hogy a CO_2 kibocsátását inkább a talajhőmérséklet, míg a N_2O kibocsátást a talajnedvesség-tartalom és a műtrágyázás határozta meg. A szabadföldi kísérletek tapasztalatai alapján a N_2O

kibocsátás túlnyomó része a vizsgált területeken a denitrifikációhoz köthető, míg a nitrifikáció szerepe lényegesen kisebb lehet.

6. A dolgozathoz kapcsolódó publikációk

1. Gelybó, G., Barcza, Z., **Dencső, M.**, Potyó, I., Kása, I., Horel, Á., Pokovai, K., Birkás, M., Kern, A., Hollós, R., Tóth, E. (2022). Effect of tillage and crop type on soil respiration in a long-term field experiment on chernozem soil under temperate climate. *Soil and Tillage Research*, 216, 105239. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105239>
2. Hidy, D., Barcza, Z., Hollós, R., Dobor, L., Ács, T., Zacháry, D., Filep, T., Pásztor, L., Incze, D., **Dencső, M.**, Tóth, E., Merganičová, K., Thornton, P., Running, S., Fodor, N. (2022). Soil-related developments of the Biome-BGCMuSo v6.2 terrestrial ecosystem model. *Geoscientific Model Development*, 15(5), 2157-2181. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2157-2022>
3. **Dencső, M.**, Horel, Á., Bogunovic, I., Tóth, E. (2021). Effects of environmental drivers and agricultural management on soil CO₂ and N₂O emissions. *Agronomy*, 11(1), 54. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010054>
Tóth, E., Gelybó, G., **Dencső, M.**, Kása, I., Birkás, M., Horel, Á. (2018). Chapter 19 - Soil CO₂ Emissions in a Long-Term Tillage Treatment Experiment. In M. Á. Muñoz & R. Zornoza (Eds.), *Soil Management and Climate Change* (pp. 293-307). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812128-3.00019-7> (referált könyvfejezet)

Egyéb, a témakörhöz köthető publikációk

1. Tóth, E., **Dencső, M.**, Horel, Á., Pirkó, B., Bakacsi, Zs. (2022). Influence of pig slurry application techniques on soil CO₂, N₂O, and NH₃ emissions. *Sustainability*, 14 (17), 11107. <https://doi.org/10.3390/su141711107>
2. Tóth, E., Kisić, K., Galic, M., Telak, L., Brezinscak, L., Dugan, I., **Dencső, M.**, Gelybó, Gy., Bakacsi, Zs., Horel, Á., Bogunovic, I. (2021). Spatial mapping of soil respiration using auxiliary variables. A small scale study. *Journal of Central European Agriculture*, 22(3) 657-668. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.3.3227>
3. Tóth, E., **Dencső, M.**, Pirkó, B., Bakacsi, Zs., Koós, S. (2020). A talaj ammónia kibocsátásából adódó környezetterhelés és annak monitorozási, mérési lehetőségei. *Agrokémia és Talajtan* 69(1-2), 107-126. <https://doi.org/10.1556/0088.2020.00062>
4. Horel, Á., Tóth, E., Gelybó, Gy., **Dencső, M.**, Farkas, Cs. (2019). Biochar amendment affects soil water and CO₂ regime during Capsicum Annuum plant growth. *Agronomy* 9(2), 58. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020058>
5. Horel, Á., Tóth, E., Gelybó, Gy., **Dencső, M.**, Potyó, I. (2018). Soil CO₂ and N₂O emission drivers in a vineyard (*Vitis vinifera*) under different soil management systems and amendments. *Sustainability* 10(6), 1811. <https://doi.org/10.3390/su10061811>
6. **Dencső, M.**, Tóth, E., Gelybó, Gy., Kása, I., Horel, Á., Rékási, M., Takács, T., Farkas, Cs., Potyó, I., Uzinger, N. (2017). Komposzt illetve műtrágya bioszén kezeléssel mutatott együttes hatásának vizsgálata karbonátos homoktalaj nedvességtartalmára és talajlégzésére. *Agrokémia és Talajtan* 66(1), 79-93. <https://doi.org/10.1556/0088.2017.66.1.5>

Hivatkozások

- Balogh, J., Pintér, K., Fóti, S., De Luca, G., Mészáros, Á., Bouteldja, M., Insaf, M., Gajda, G., & Nagy, Z. (2022). Szántóföldi szénmérleg egy közép-magyarországi mintaterületen. *Agrokémia és Talajtan*, 71(2), 273-288. <https://doi.org/10.1556/0088.2022.00125>
- Barcza, Z., Kern, A., Davis, K. J., & Haszpra, L. (2020). Analysis of the 21-years long carbon dioxide flux dataset from a Central European tall tower site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290, 108027. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108027>
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, G., & Szabó, P. (2008). Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using the PRUDENCE results. *Idojaras*, 112, 249-264.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S., & Thornton, P. (2013). *Carbon and Other Biogeochemical Cycles*. (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Issue. C. U. Press.
- Dencső, M., Horel, Á., Bogunovic, I., & Tóth, E. (2021). Effects of Environmental Drivers and Agricultural Management on Soil CO₂ and N₂O Emissions. *Agronomy*, 11(1), 54. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010054>
- Francioni, M., D'Ottavio, P., Lai, R., Trozzo, L., Budimir, K., Foresi, L., Kishimoto-Mo, A. W., Baldoni, N., Allegrezza, M., Tesei, G., & Toderi, M. (2019). Seasonal Soil Respiration Dynamics and Carbon-Stock Variations in Mountain Permanent Grasslands Compared to Arable Lands. *Agriculture*, 9(8), 165. <https://doi.org/10.3390/agriculture9080165>
- Frank, D., Reichstein, M., Bahn, M., Thonicke, K., Frank, D., Mahecha, M. D., Smith, P., van der Velde, M., Vicca, S., Babst, F., Beer, C., Buchmann, N., Canadell, J. G., Ciais, P., Cramer, W., Ibrom, A., Miglietta, F., Poulter, B., Rammig, A., . . . Zscheischler, J. (2015). Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts. *Global Change Biology*, 21(8), 2861-2880. <https://doi.org/10.1111/gcb.12916>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S., Aragão, L. E. O. C., Arneeth, A., Arora, V., Bates, N. R., . . . Zaehle, S. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269-3340. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
- Gelybó, G., Barcza, Z., Dencső, M., Potyó, I., Kása, I., Horel, Á., Pokovai, K., Birkás, M., Kern, A., Hollós, R., & Tóth, E. (2022). Effect of tillage and crop type on soil respiration in a long-term field experiment on chernozem soil under temperate climate. *Soil and Tillage Research*, 216, 105239. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105239>
- Haszpra, L., Hidy, D., Taligás, T., & Barcza, Z. (2018). First results of tall tower based nitrous oxide flux monitoring over an agricultural region in Central Europe. *Atmospheric Environment*, 176, 240-251. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.12.035>
- Heim, R. R. (2015). An overview of weather and climate extremes – Products and trends. *Weather and Climate Extremes*, 10, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.11.001>
- Hidy, D., Barcza, Z., Hollós, R., Dobor, L., Ács, T., Zacháry, D., Filep, T., Pásztor, L., Incze, D., Dencső, M., Tóth, E., Merganičová, K., Thornton, P., Running, S., & Fodor, N. (2022). Soil-related developments of the Biome-BGCMuSo v6.2 terrestrial ecosystem model. *Geoscientific Model Development*, 15(5), 2157-2181. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2157-2022>
- Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6(3), 317-327. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
- Xu, M., & Shang, H. (2016). Contribution of soil respiration to the global carbon equation. *Journal of Plant Physiology*, 203, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.08.007>