

## Szántóföldi szénmérleg egy közép-magyarországi mintaterületen

<sup>1</sup>BALOGH János, <sup>2</sup>PINTÉR Krisztina, <sup>1,2</sup>FÓTI Szilvia, <sup>1</sup>DE LUCA Giulia, <sup>1</sup>MÉSZÁROS  
Ádám, <sup>1</sup>BOUTELDTJA Meryem, <sup>1</sup>INSAF Malek, <sup>3</sup>GAJDA Gábor, <sup>1,2</sup>NAGY Zoltán

<sup>1</sup>MATE Növénytermesztési-tudományok Intézet, Gödöllő, Magyarország;  
<sup>2</sup>MTA-MATE Agroökológiai Kutatócsoport, Magyarország;  
<sup>3</sup>Gödöllői Tangazdaság Zrt., Kartal, Magyarország

(Beérkezett: 2022.04.19.; Elfogadva: 2022.09.20.)  
(Online megjelent: 2022.10.20.)

### Bevezetés

Hazánk területének 45%-át szántóföldek borítják (KSH, 2021), emiatt szénforgalmi szempontból ezek a legfontosabb ökológiai rendszerek, ismernünk kell működési jellemzőiket. Tekintélyes mennyiségű szén raktároznak, így a mezőgazdasági CO<sub>2</sub> kibocsátás-csökkentési eljárások (LAL et al., 2011), valamint a széntartalmat fenntartó/növelő technikák kidolgozása egyaránt kiemelkedő fontosságú (EASAC, 2018) kezelésükben. Ezt olyan vizsgálatokkal lehet megalapozni, melyek a szántóföldi rendszerek változó klimatikus események melletti szénmérlegének megismerését célozzák. Az utóbbi években hosszú távú globális mérőhálózatok szerveződtek, igazolva az igényt az ilyenfajta mérési adatokra (SMITH et al., 2016). A talajbeli széntartalom változásai a CO<sub>2</sub> gázcsere és a növényi produkció mérése alapján nagy időbeli felbontással követhetők nyomon (PHILLIPS et al., 2016).

Az ökológiai rendszerek szénforgalma különböző irányú áramokból tevődik össze: az atmoszférából a felszín felé irányuló, a felszín felől az atmoszféra felé irányuló áramokból, illetve oldalirányú (laterális) áramokból. Ezeket az áramokat különféle módszerekkel lehet nyomon követni. Az ökológiai rendszer és légkör közötti CO<sub>2</sub> áram a nettó ökoszisztéma gázcsere (net ecosystem exchange, NEE) formájában határozható meg például eddy(örvény)-kovariancia (eddy-covariance, EC) mérések segítségével (BALDOCCHI, 2003). Az NEE több időléptékben is értelmezhető. Jellemzően hosszútávú (szezónális, éves) szénmérlegek meghatározására használják az elvitt (exportált) és behozott (importált) szénmennyiségekkel kiegészítve (KUTSCH et al., 2010). A szántóföldi rendszerek esetében a kutatások többsége alapján az európai szántóföldek szénmérlege veszteségesnek tekinthető (FUCHS et al., 2016; KUTSCH et al., 2010; SCHRUMPF et al., 2011). A veszteség oka a jelentős szén-export, ami a betakarított termés és származék formájában elszállított szénmennyiség miatt áll elő. Hagyományos gazdálkodásban így a szántóföldek éves szén-importja az eddigi tapasztalatok alapján nem éri el a szerves széntartalom fenntartásához szükséges kritikus mennyiséget (WANG et al., 2016). EMMEL et al. (2018) hosszútávú mérési adatai alapján pedig az

\*Levelező szerző: BALOGH JÁNOS, MATE Növénytermesztési-tudományok Intézet, Növényélettan és Növényökológia Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.  
E-mail: balogh.janos@uni-mate.hu

integrált növénytermesztési rendszer részét képező szántóföldek szénelnyelése sem tűnik elegendőnek ehhez. Mindemellett a globális klímaváltozás hatására emelkedő hőmérséklet és változó csapadékeloszlás újabb szénvesztést generálhat az elkövetkezendő évtizedekben (CROWTHER et al., 2016). Bár a Kárpát-medencében a modellek alapján nem várható lényeges változás az éves csapadékösszegben (PONGRÁCZ et al., 2014), a hőmérséklet emelkedése és a csapadékeloszlás megváltozása jelentős hatással lesz az ökológiai rendszerek működésére (GELYBÓ et al., 2018), így azok szénelnyelő képességére is.

Az elmúlt évtizedekben az EC mérések használata világszerte és hazánkban is jelentős mértékben megnőtt (HASZPRA, 2011). A szénmérleg meghatározására vonatkozó mérések és kutatások száma nő, mindazonáltal ezek elsősorban erdőkre (ETZOLD et al., 2010; TURNER et al., 1995; ZIELIS et al., 2014), illetve gyepekre (AMMANN et al., 2007; BALOGH et al., 2011; NAGY et al., 2007) koncentrálnak. Hazai szántóföldek szénforgalmával kapcsolatban egyelőre kevés mérési adat áll rendelkezésünkre. NEE adatok csak a hegyhátsági magas EC torony által mért területekre vonatkozóan (BIRKÁS et al., 2018; HASZPRA et al., 2005; TÓTH et al., 2011) érhetők el.

A szántóföldi művelés alatt álló területek esetében a betakarítás során elszállított biomassa, illetve a tápanyagutánpótlás, valamint talajtermékenység fenntartása érdekében kijuttatott szerves trágya formájában megjelenő laterális fluxusok igen nagy befolyást gyakorolnak az ökoszisztéma szénmérlegére. Az eddy-kovariancia módszer azonban nem képes számszerűsíteni ezt a fajta széntranszportot, ebből következően kiegészítő mérésekre van szükség a laterális fluxusok, s ennek megfelelően a nettó ökoszisztéma szénmérleg (net ecosystem carbon balance, NECB) meghatározásához (EMMEL et al., 2018; KUTSCH et al., 2010).

Az eddigi európai kutatási eredmények alapján feltételezhető, hogy hazai szántóföldjeink szénmérlege is veszteséges, a magyarországi talajok széntartalom-változásának mérését célzó vizsgálatok azonban eddig ezt nem igazolták egyértelműen. Tartamkísérletek adatai alapján valószínűsíthető a szénvesztés azokban a rendszerekben, ahol csak műtrágyázás révén történik tápanyagutánpótlás (KISMÁNYOKY, 2018). Nagyobb léptékben, a szerveszén-tartalom változásának különböző térképi adatbázisok alapján végzett elemzése nem vezetett eredményre a mérési módszerek különbözőségéből fakadó bizonytalanság miatt (TÓTH et al., 2015). SZATMÁRI et al. (2019) talajminta-analízisen és modellezésen alapuló vizsgálata alapján viszont a hazai szántóföldek szerves széntartalma nem mutatott változást az utóbbi 30 évben.

Méréseink célja a szántóföldi szénmérleg számszerűsítése volt gázcsere mérések és gazdálkodási adatok alapján. A kutatás legfontosabb kérdése az volt, hogy a jelenlegi művelési rendszerben (konvencionális nagytáblás gazdálkodás) van-e szénvesztés. Amennyiben igen, akkor felmerül a kérdés, hogy milyen mértékben kellene növelni a szénfelvételt az egyensúly eléréséhez.

## Anyag és módszer

### *Vizsgálati helyszín*

A vizsgálati terület Közép-Magyarországon, Kartalon (47,658°N, 19,532°E, 153 m tszf.) található, a Gödöllői Tangazdaság Zrt. művelésében álló szántóföldön. Az átlagos éves középhőmérséklet 10,42°C, az átlagos éves csapadékösszeg 568 mm (OMSZ adatbázis, 1991–2021 közötti időszakra vonatkozó átlagok). A vizsgálati időszak 2017 októberétől 2021 októberéig tartott. Növényállományok: 2017–2018 őszi búza, 2018–2019 repce, 2019 szemes cirok, 2019–2020 őszi búza, 2021 napraforgó. A talaj barna erdőtalaj, enyhén savas pH értékkel (6,27 pH KCl) és átlagosnak tekinthető szerves széntartalommal (1,6%), a kötöttsége alapján agyagos vályog ( $K_A = 43$ ). A talajra kijuttatott N hatóanyag mennyisége a vizsgálati időszak alatt átlagosan 87 kg ha<sup>-1</sup> év<sup>-1</sup> volt. A gazdálkodás módja hagyományos talajforgatásos művelés, a gazdálkodási adatokat (talajművelési adatok, műtrágyázás, vetés és betakarítás) a gazdálkodó biztosította a kutatás számára.

### *Szénforgalmi mérések*

Az eddy-kovariancia módszer különböző nyomanyagok nettó árama, vagyis a mérési síkon lefelé, illetve felfelé áthaladó anyagmennyiség eredője mérhető (PINTÉR, 2009). Az EC módszer alapja a szélesség 3 komponensének, a hőmérsékletnek, valamint a szén-dioxid és a vízgőz koncentrációjának nagyfrekvenciás (10–50 Hz, azaz másodpercenként 10–50 adat) mérése. Ilyen gyakori mérésekre szónikus anemométerrel és infravörös gázanalizátorral van lehetőség. A kartali mérőállomáson CSAT3B (Campbell Scientific Inc., Egyesült Királyság) típusú szélmérőt és Li-7500 (LI-COR Environmental, Egyesült Államok) gázanalizátort használunk (*I. ábra*). A nyers, 10 Hz-es adatokból a félórás áramok számítása az EddyPro® szoftverrel (LI-COR Biosciences, Egyesült Államok) történik. Az EddyPro® szoftverben elérhető opciók közül a nyers (10 Hz) adatok szűrésére a VICKERS & MAHRT (1997) által kidolgozott módszertant választottuk, míg a fluktuációk számításánál 2 dimenziós forgatást és lineáris trendszűrést alkalmaztunk. A környezeti tényezők alakulásának a szén-dioxid és a vízgőz koncentrációra gyakorolt hatása miatt a nyers kovarianciákat WEBB et al. (1980) szerint korrigáltuk. Az EddyPro szoftverben választható spektrális korrekciók közül a MONCRIEFF et al. (2004) által leírt felüláteresztő, valamint a MONCRIEFF et al. (1997) által bevezetett aluláteresztő szűrőket használtuk.

Az áramszámítás eredménye – többek között – a CO<sub>2</sub> nettó árama, mely negatív, ha az ökoszisztéma az adott félórában CO<sub>2</sub>-ot vett fel (jellemzően nappal), illetve pozitív, ha CO<sub>2</sub>-ot veszített (éjjel, illetve szárazság vagy tarló esetén akár nappal is). A félórás adatsor azonban nem folytonos részben elektromos áramellátási okokból (a vizsgált időszakban napelemlről történt az állomás áramellátása, ami főleg a téli időszakban jelentős adathiányokhoz vezetett), részben pedig az adatok minőségbiztosítása miatti adatszűrés következtében. A CO<sub>2</sub> áramok adatainak pótlása a hőmérséklettel, illetve besugárzással alkotott nemlineáris kapcsolatokon, valamint átlagos napi menetek alapján történik. Munkánk során egy standardizált módszertant (REICHSTEIN et al., 2005a; WUTZLER et al., 2018) alkalmaztunk. A hosszú téli

adathiányokat ez a módszer nem kezeli, így ezen időszakokban a napi NEE összeg adatsort az adathiányt megelőző és követő 15–15 nap átlagával pótoltuk.



1. ábra

Az eddy-kovariancia mérőállomás csirkák állományban. A főműszerek (szónikus szélmérő és infravörös gázanalizátor) láthatók

#### *A NECB számítása:*

Az eddy-kovariancia mérések alapján, illetve a gazdálkodási adatok felhasználásával (laterális fluxusok, pl. a betakarítás során elszállított biomassza széntartalma) számítható előjeles összegként a nettó szénmérleg (NECB) a különböző időszakok (eltérő növényállományok) esetében:

$$NECB = -NEE + E + I$$

1. egyenlet

ahol *NECB* a nettó ökoszisztéma szénmérleg, *NEE* a mért nettó ökoszisztéma gázcseré félórás átlagokból kumulált összege, *E* az exportált szénmennyiség (negatív, veszteség) és *I* az importált szén mennyisége (pozitív, nyereség), minden érték  $\text{g C m}^{-2}$ -ben megadva.

A növényi részek (termés, szalma) széntartalmának számításához figyelembe vettük a termények aratáskori átlagos szárazanyagtartalmát, a széntartalmat ez alapján számítottuk a szárazanyag átlagosan 42,4%-os széntartalmát feltételezve (MA et al., 2018). Az export esetében az elszállított termés és a szalma széntartalmát,

illetve az import esetében a vetőmaggal bevitt szénmennyiséget a gazdálkodási napló adatai alapján számítottuk a táblára vonatkozó átlagokból, szintén a fenti széntartalmat feltételezve.

A szakirodalomban az előjeles összegzésben a felszín felé irányuló áramokat (szénelnyelés, import) jellemzően negatív előjellel veszik számításba, míg a szénkibocsátás pozitív előjelű (légzés, export) (EMMEL et al., 2018; KUTSCH et al., 2010; REICHSTEIN et al., 2005b). Emiatt az NEE értéke negatív, ha a felvett szénmennyiség meghaladja a szénkibocsátás mértékét. A teljes szénmérleg értelmezésének megkönnyítéséhez az NECB számítása során (*1. egyenlet*) az NEE negatív előjellel szerepel, azaz a felvett szénmennyiség pozitív irányba tolja a szénmérleget (nyereség), a kibocsátások pedig negatív irányba. Azaz, az NECB pozitív, ha az ökoszisztémában tárolt szénmennyiség/ az ökoszisztéma (területegységre vetített) szénmennyisége növekedett a mérleg-készítés időszakában.

## Eredmények

### *A vizsgálati időszak időjárása*

A vizsgált időszakban majdnem minden év középhőmérséklete meghaladta az utóbbi 30 év átlagát (10,4 °C), az évi középhőmérséklet 2019-ben volt a legmagasabb 11,7 °C (*1. táblázat*). Az éves csapadékösszeg két évben volt alacsonyabb az átlagnál (599 mm), 2020-ban 555,5 mm volt, 2021-ben pedig 490,9 mm (*1. táblázat*), a többi évben némileg meghaladta az átlagot (forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat, Meteorológiai Adattár). Ennek ellenére a vizsgálati időszakban több csapadékhányos periódus is volt, ami meghatározta a növényállományok fejlődését, így a szénforgalmukat is.

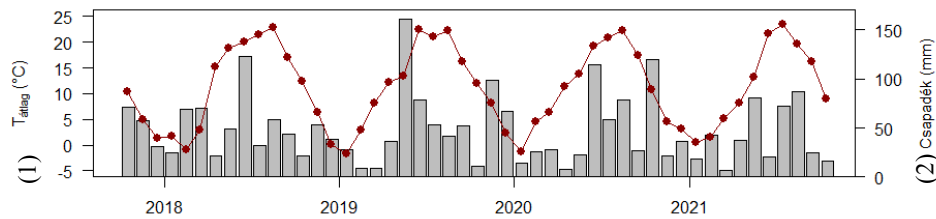
### *1. táblázat*

Évi középhőmérsékletek és éves csapadékösszegek a vizsgálati időszakban Kartalon (forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat, Meteorológiai Adattár)

	évi középhőmérséklet (°C) (1)	éves csapadékösszeg (mm) (2)
2017	10,5	659,9
2018	11,6	605,2
2019	11,7	645,4
2020	11,1	555,5
2021	10,4	490,9

A 2018-as vízhiányos őszi-téli időszak jelentősen visszavetette az akkor vetett repce kelését és fejlődését. Az alacsony borítás miatt így 2019. április végén a repcét betárcsázták és helyére május elején szemescirkot vetettek, ami a május-júniusi magas csapadékösszegek hatására már megfelelően fejlődött. A két őszi búza állomány fejlődését is a csapadék mennyisége határozta meg: míg a 2017/18-as állomány jól fejlődött a jónak mondható tavaszi (M-Á-M) csapadékmennyiség mellett (összesen 140,9 mm, *2. ábra*), addig a 2019/20-as állomány fejlődése visszaesett a tavaszi hónapok alacsony csapadékösszege miatt (összesen 58,9 mm).

Összehasonlításképpen a tavaszi hónapok átlagos csapadékmennyisége 142,6 mm volt az utóbbi 30 évben.



2. ábra

Havi átlaghőmérséklet és havi csapadékösszeg a vizsgált időszakban Kertalon (forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat, Meteorológiai Adattár)

### NEE

CO<sub>2</sub> áramok szempontjából a rendszer elnyelő volt mind a négy évet tekintve, tehát a szántóföld csökkentette az atmoszférikus CO<sub>2</sub> koncentrációt, az átlagos NEE  $-69,6 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  volt. A vizsgálati időszakban tapasztalt csapadékhiányos periódusok viszont jelentős változékonyságot okoztak az NEE időbeli menetében.

Ha a teljes éves mérlegeket vizsgáljuk (januártól-decemberig), akkor összesen 3 évet tudunk összehasonlítani (2. táblázat), ezek közül 2020-ban mértük a legnagyobb elnyelő aktivitást ( $-111,1 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ ).

2. táblázat

Az NEE, import, export és NECB összegek évek szerinti bontásban  $\text{g C m}^{-2}$ -ben megadva

év (1)	NEE	import	export	NECB
2018	-79,3	-0,1	303,1	223,7
2019	-105,5	-8,1	298,3	184,8
2020	-111,1	0,0	220,1	109,0

A növényállományok közül a legnagyobb mértékű CO<sub>2</sub> elnyelést a 2019-es szemescirok állomány esetében mértük, ez összesen  $-284 \text{ g C m}^{-2}$  volt. Ehhez hasonló elnyelést mutatott a 2017/18-as őszi búza állomány ( $-282 \text{ g C m}^{-2}$ ). A szemescirok esetében ez az elnyelés 149 nap alatt történt, míg az őszi búza esetében 276 nap alatt (3. ábra), azaz egységnyi időre vonatkoztatva már jelentős a különbség. Meg kell még jegyeznünk, hogy az első őszi búza állomány esetében a mérések a vetést követő 10. napon indultak el, így – figyelembe véve, hogy a szántó a csírázás és kelés időszaka alatt mindenképpen szénforrásként működik – a teljes mérleg ennél valamivel kevésbé negatív lehet. Összehasonlításképpen, a 2019-es búza állomány esetében a vetés utáni 10 nap mérlege  $\sim 20 \text{ g C m}^{-2}$  volt.

A további növényállományok esetében (őszi búza 2019/20, napraforgó 2021) a kumulált NEE szintén negatív volt (szénelnyelés), kivéve a 2018/19-es repce állományt, ami  $144 \text{ g C m}^{-2}$ -es veszteséget mutatott. A két őszi búza állomány

kumulatív NEE értékei között jelentős különbséget tapasztaltunk ( $\sim 150 \text{ g C m}^{-2}$  különbség, 3. táblázat).

Az éves mérleget nagyban meghatározták az ugar időszakok, amelyek különböző hosszúságúak voltak a 4 év során (58, 13, 260, 40 nap, 2018–2021, 3. ábra), de kibocsátásuk jelentős volt (124, 30, 168 és  $80 \text{ g C m}^{-2}$ ). Az ugar időszakok teljes hossza valamivel több, mint egy évnek megfelelő periódust, összesen 371 napot tett ki a 4 év alatt, ezalatt összesen  $401 \text{ g C m}^{-2}$  volt a veszteség, azaz éves átlagban  $100 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ .

### 3. táblázat

Az NEE, import, export és NECB összegek az egyes termények esetében  $\text{g C m}^{-2}$ -ben megadva

növényállományok (1)	NEE	import	export	NECB
őszi búza 2017/18 (a)	-282,4	6,5	-303,1	-14,3
repcé 2018/19 (b)	144,3	0,1	-	-144,2
szemescirok 2019 (c)	-283,5	0,3	-298,3	-14,5
őszi búza 2019/20 (a)	-131,9	7,7	-220,1	-80,2
napraforgó 2021 (d)	-126,2	0,2	-142,2	-15,9

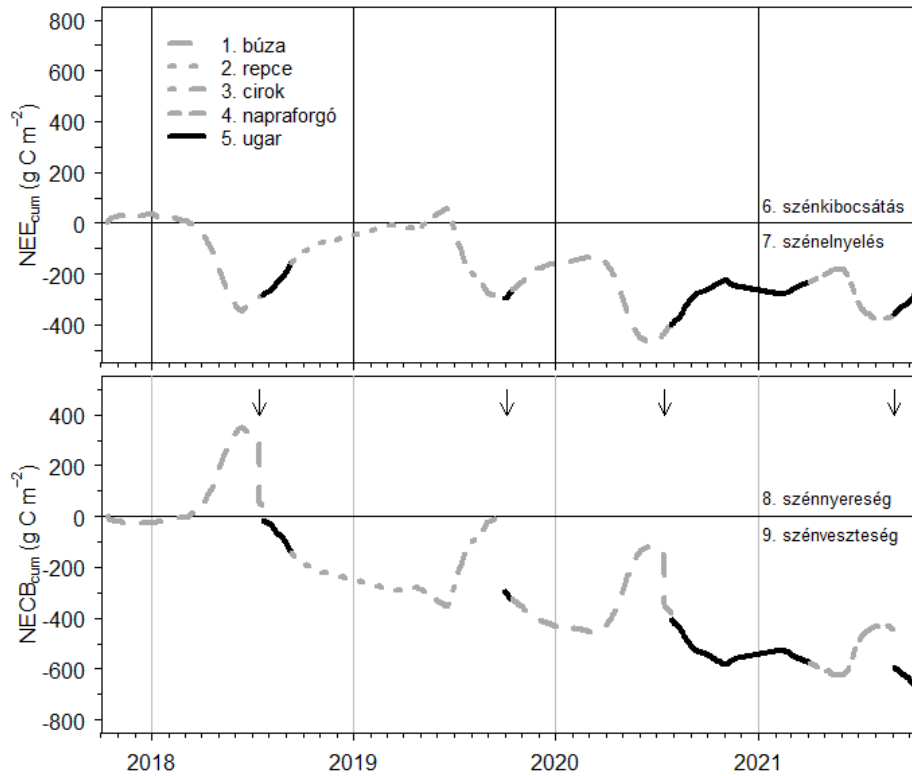
### NECB (teljes szénmérleg)

Az NEE értékeket kiegészítve a laterális áramokkal (export és import) már minden növényállomány esetében veszteséges a mérleg. A legkisebb veszteség a 2017/18-as őszi búza állomány esetében keletkezett, míg a legnagyobb deficitet a repcénél mértük (3. táblázat), annak ellenére, hogy ezt az állományt nem aratták le, így ebben az esetben nem volt laterális export.

Jelentős eltérést tapasztaltunk a két őszi búza állomány esetében, bár a különbség nagyobb az NEE értékek között, mint az NECB értékek között ( $\sim 150$  és  $66 \text{ g C m}^{-2}$  az előbbi, illetve az utóbbi esetben, 3. táblázat). Ezt a változást a betakarítás során elvitt (exportált) szénmennyiség okozza, ennek értéke a 2017/18-as állomány esetében sokkal magasabb volt. A terménnyel elszállított szénmennyiség a két őszi búza esetében nemcsak a szemtermés széntartalmát, hanem a bebálázott és elszállított szalma mennyiségét is magában foglalja. Az elszállított szalma széntartalma  $-58 \text{ g C m}^{-2}$  volt az első állomány esetében, míg  $-26 \text{ g C m}^{-2}$  a másodiknál, ennek megfelelően a szalma széntartalma 23%-a és 13%-a volt a teljes exportnak.

A 2021-es napraforgó állomány NECB értéke szintén közel esik a 0-hoz ( $-15,9 \text{ g C m}^{-2}$ ), annak ellenére, hogy ebben az évben ismét jelentős volt a vízhiány a napraforgó vegetációs időszaka alatt. Ebben az időszakban visszaesett a szénfelvétel, viszont a szárazság miatt a termés mennyiség is lecsökkent, így az exportált szénmennyiség is arányosan kisebb volt, mint a többi növényállomány esetében (3. táblázat).

Az ugar időszakok NECB értéke megegyezik az NEE értékével, hiszen ezekben az időszakokban laterális áramok (import és export) nem történtek.



3. ábra

Az NEE és az NECB kumulált értékei a vizsgálati időszakban. Az egyes szakaszok eltérő színezése és vonalstílusa jelzi az egyes növényállományokat. A nyilak a betakarítás időpontját mutatják

### Az eredmények értékelése

#### NEE

Az eredmények alapján a szántóföldi művelés szénelnyelő volt minden vizsgált év vonatkozásában, az esetenkénti vízhiányos körülmények és a hosszabb ugar időszakok ellenére is. A termesztett növények jellemzően gyors növekedése és nagy szervesanyag-produkciója ellensúlyozta és meghaladta a kibocsátásokat. Ez szénforgalmi szempontból mindenképpen kedvező, hiszen ez alapján egy átlagos hazai szántóföld szénelnyelőnek tekinthető. A mért éves összegekhez ( $-79,3 - -111,1 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ , 2. táblázat) képest nagyobb éves elnyelést találunk a szakirodalomban, így pl. európai szántóföldeken  $-34 - -193 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  (OSBORNE et al., 2010),  $-147 - -652 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  (KUTSCH et al., 2010) tartományokban közöltek adatokat. Ez az eltérés elsősorban a vízhiányos időszakok során lecsökkent felvételnek köszönhető. Hasonló szénelnyelést találunk EMMEL et al. (2018)



munkájában, ahol a mért őszi búza állományok átlagos NEE értéke  $-284 \text{ g C m}^{-2}$  volt, hasonlóan a 2017/18-as kartali őszi búza állományéhoz ( $-292 \text{ g C m}^{-2}$ ).

Az ugar időszakok alatt összesen  $401 \text{ g C m}^{-2}$  volt az NEE összege, de az időszakok hossza és ezzel a kibocsátás mértéke is jelentős eltéréseket mutatott az egyes években. Itt meg kell említenünk, hogy a leghosszabb ugar időszak (260 nap 2020/2021-ben) a tábla gyomosodása és az árvakelés miatt az őszi-téli-tavaszi időszakban kismértékű szénfelvételt mutatott (3. ábra). Amennyiben az őszi búza után takarónövény vetésére került volna sor, az bizonyára csökkentette volna a szénvesztést (EMMEL et al., 2018; LUGATO et al., 2015), bár valószínűleg csak az őszi alacsonyabb hőmérséklet és több csapadék mellett lehetett volna eredményes a vetés, azaz az árvakeléshez és gyomosodáshoz hasonlóan csak néhány hónap elteltével fordult volna nyelő aktivitásba a szántó. Mégis, a vetett takarónövény esetében feltehetően nagyobb szénfelvételre számíthatunk volna, ami néhány 10 g-os eltérést (vesztésg-csökkenést) okozott volna a mért mérleghez képest.

### NECB

A teljes mérleg alapján a szántóföld szerves széntartalma csökkent. Szénvesztést mértünk minden növényállomány esetében a vizsgált időszakban, ennek átlagos éves értéke  $-168 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  volt ( $-1,68 \text{ t C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ). Ez nagyobb veszteség, mint az EMMEL et al. (2018) által svájci szántóföldön 13 év átlagaként mért  $-129 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ , illetve mint a különböző európai szántókon mért átlagosan  $-95 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  (KUTSCH et al., 2010), de kisebb mint SCHMIDT et al. (2012) által őszi búza állományokban mért  $-201 - -246 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ . Ennek a veszteségnek az oka részben a laterális fluxusok (szén export) mértéke, ami átlagosan  $-240 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  volt, amivel szemben az import elhanyagolható mértékű (átlagosan  $3,7 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ ). A szénimport kizárólag a vetőmag formájában érkezett a területre, szerves tápanyagutánpótlás nem volt.

A veszteség másik oka a vízhiány volt, ami elsősorban a tavaszi és őszi időszakokban gátolta a növekedést. Jól mutatja a különbséget a két őszi búza állomány: a nedvesebb évben tavasszal (2018) 144 mm csapadék hullott, míg a szárazabb évben (2020) 57 mm. Ez a felvett szénmennyiségben 150 g eltérést okozott, és jelentősen csökkentette az aratáskor elszállított mennyiséget is (3. táblázat) összesen mintegy  $66 \text{ g C m}^{-2}$  különbséget okozva az teljes szénmérlegben (NECB).

Felvetődik a kérdés, hogy lehet-e mérsékelni ezt a szénvesztést a szántóföldeken, és esetleg nyereségessé lehet-e tenni a szénmérleget. Ennek lehetőségeivel számos tanulmány foglalkozott (LUGATO et al., 2015; PAUSTIAN et al., 2016; ZOMER et al., 2017), a hazai talajokra és klímára vonatkozóan azonban kevesebb forrás áll rendelkezésre.

Az egyik lehetőség a takarónövények használata. EMMEL et al. (2018) vizsgálatában az ugaron hagyott és a takarónövényvel fedett terület szénmérlegében  $11-163 \text{ g C m}^{-2}$  különbség volt (modelleredmények alapján). Hasonló eredményeket mutattak más vizsgálatok is, ahol az ugar időszakok veszteségeit eredményesen csökkentették a takarónövények (CHENU et al., 2019). Hazai tartamkísérletek eredményei is a takarónövények talaj széntartalomra gyakorolt pozitív hatását

mutatják a szervestrágya nélküli kezelésekhez képest (KISMÁNYOKY, 2018), valószínűsítve az enyhén pozitív, vagy legalábbis egyensúlyi mérleget szalmatrágya és zöldtrágya kombinációban. További pozitív hatás lehet a zöldtrágyázás eredményeként a talajaggregátumok stabilitásának növekedése (DUNAI & TÓTH, 2015).

CHI et al. (2016) vizsgálatában a csökkentett talajművelés (no tillage) és a hagyományos talajművelés hatását hasonlították össze eddy-kovariancia mérések segítségével. Eredményeik alapján jelentős ( $\sim 100 \text{ g C m}^{-2}$ ) különbség az NEE értékekben volt a kétféle talajművelés között, ugyanakkor a bruttó primer produkcióban (teljes felvett szénmennyiség) nem volt eltérés, azaz a különbség a kibocsátás csökkenésére vezethető vissza. Hasonló különbség mutatkozott a teljes szénmérlegben is. Hazai talajokon végzett vizsgálatok alapján is feltételezhető, hogy a csökkentett talajművelés kisebb talaj  $\text{CO}_2$  kibocsátással (talajlégzés), azaz kevesebb szénvesztéssel jár (BIRKÁS et al., 2018), bár ez nem minden esetben igazolt (TÓTH et al., 2018).

Modelleredmények alapján (LUGATO et al., 2015) a növényi maradványok talajba dolgozása önmagában kb. 10 g-os veszteség-csökkenést okozott a mérlegben, míg csökkentett talajműveléssel kombinálva (reduced tillage) ennek kb. a dupláját. Kartalon a 4 év alatt a két őszi búza állomány esetében szállították el a növényi maradványt (szalmát), az első esetben  $-58 \text{ g C m}^{-2}$ , a másodikban  $-28 \text{ g C m}^{-2}$  mennyiségben. Ez az exportált mennyiség átlagosan  $-21 \text{ g C m}^{-2}$ -t jelent a négy év vonatkozásában, azaz éves szinten ennyivel csökkenhet a veszteség, amennyiben a szalma a talajba, esetleg mulcsként a talaj felszínére (BIRKÁS et al., 2008, 2021) kerül.

A szervestrágyázás során is jelentős mennyiségű szenet juttatunk a talajba, ez azonban a legtöbb szántóföldi kultúra esetében nem elérhető, elsősorban a nagy mennyiségi igény és az állatállomány csökkenése, valamint a műtrágyázáshoz képest nehezebb kijuttatás miatt.

A veszteség csökkentése nemcsak a kibocsátás, vagy export csökkentésével, hanem a felvett szénmennyiség növelésével is lehetséges. Ez egyrészt megvalósítható olyan fajták használatával, amelyek toleránsabbak a szárazságstresszel szemben (VARGA et al., 2017), illetve olyan módszerekkel (pl. növénykondicionálás), amelyek növelik a stresszel szembeni ellenállóképességet.

### Következtetések

Vizsgálatunkban egy átlagos hazai szántóföld szénmérlegét követtük nyomon 4 éven keresztül. Ha pusztán a légkör és a felszín közötti szénkeresét vizsgáljuk, akkor a szántóföld szénelnyelő volt minden évben, annak ellenére, hogy több csapadékhiányos időszak is kialakult a 4 év alatt, ami jelentősen befolyásolta a szénfelvételt. Az eredmények alapján valószínűsíthető, hogy a hazai szántóföldek atmoszférikus szempontból nagyüzemi intenzív gazdálkodás mellett is szénelnyelők. Ha azonban a gázcseremérések eredményeit kiegészítjük a laterális áramokkal (export és import), akkor azt tapasztaljuk, hogy a szántóföld teljes szénmérlege veszteséges, mivel az aratás során elszállított szénmennyiség minden növényállomány esetében meghaladta a kumulált NEE értékét. Ez természetesen nem

azt jelenti, hogy az exportált szénmennyiség meghaladta az összes felvett mennyiséget, hiszen az NEE az összes felvétel (bruttó primer produkció) és az összes atmoszféra felé irányuló kibocsátás (ökoszisztéma légzés) összege, ahol a legnagyobb áram a bruttó primer produkció. A szénvesztesség a talajból származik, elsősorban a talaj CO<sub>2</sub> kibocsátása (talajlégzés) révén.

A talaj szerves széntartalmának csökkenése általános jelenség az európai szántóföldeken a szakirodalom alapján. A szénvesztesség csökkentésére alkalmazott eljárások között nincs olyan, ami önmagában elégséges lehet az egyensúly eléréséhez, lehetőség szerint ezeknek az eljárásoknak a kombinációjára van szükség. A mért eredmények és a szakirodalmi adatok alapján pl. az őszi búza állomány után a szármaradványok (szalma) talajba juttatása és takarónövények vetése több 10 g-os eltérést (vesztesség-csökkenést) okozott volna a mért mérleghez képest, ami kevésbé vízhiányos években elegendő lehet az egyensúly eléréséhez. A talajba juttatott szervesanyagok a talaj víztartó képességének növeléséhez is hozzájárulhatnak, ami a jövőben várhatóan gyakoribbá váló szélsőséges időjárási eseményekhez (extrém csapadékesemények, aszályok és hóhullámok) való alkalmazkodásban is fontos eszköz lehet.

### Összefoglalás

2017. októberétől 2021. októberéig terjedő időszakban vizsgáltuk egy közép-magyarországi szántóföld szénforgalmát gázcseremérések segítségével. A mért nettó ökoszisztéma gázcsere (NEE) adatokból kumulált összegeket számoltunk éves bontásban, illetve az egyes növényállományok és ugar időszakok szerint. Gazdálkodási adatok segítségével számoltuk a területre behozott (import) és onnan elvitt (export) szénmennyiségeket, valamint az NEE, az import és az export áramokat összesítve szénmérleget (NECB) számítottunk az NEE összegekhez hasonló bontásban.

Az eredmények alapján a szántóföld minden évben szénelnyelőnek bizonyult, annak ellenére, hogy a vizsgált időszak során több vízhiányos periódus is hátráltatta a növények megfelelő fejlődését és ezzel a szénfelvételt. A mért éves átlagos NEE összeg  $-69,6 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  volt. Ezzel szemben a teljes – laterális áramokat is tartalmazó – szénmérleg minden évben és minden növényállomány esetében veszteségesnek bizonyult, átlagosan  $-168 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  volt a szénvesztesség mértéke. Ennek a deficitnek a jelentős része a vízhiányos időszakok alatti lecsökkent szénfelvételnek köszönhető, ezt jól mutatja a két őszi búza állomány szénmérlege közötti  $66 \text{ g C m}^{-2}$ -es különbség, ahol az első állomány jó vízellátás mellett, a második pedig vízhiányos időszak alatt fejlődött. Nedvesebb időszakban vélhetően kevésbé jelentős a szénvesztesség mértéke.

A szakirodalom alapján nincs olyan módszer, amellyel önmagában kompenzálni lehet egy ilyen mértékű veszteséget, azonban több olyan eljárás is létezik, amelyek kombinációjával jó eredményeket lehet elérni. Fontos lenne a hazánkban jól alkalmazható módszerek feltárása és azok szénmérlegben játszott szerepének számszerűsítése.

**Kulcsszavak:** szénmérleg, szántóföld, talaj szerves széntartalom, nettó ökoszisztéma gázcsere

### Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Gödöllői Tangazdaság Zrt.-nek, hogy biztosította a kutatási helyszínt és a gazdálkodási adatokat.

### Irodalom

- AMMANN, C., FLECHARD, C. R., LEIFELD, J., NEFTEL, A., FUHRER, J., 2007. The carbon budget of newly established temperate grassland depends on management intensity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **121**. (1–2) 5–20.
- BALDOCCHI, D. D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biology*. **9**. (4) 479–492.
- BALOGH, J., PINTÉR, K., FÓTI, S., CSERHALMI, D., PAPP, M., NAGY, Z., 2011. Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter, and CO<sub>2</sub> uptake in dry grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*. **43**. (5) 1006–1013.
- BIRKÁS, M., BALLA, I., GYURICZA, C., KENDE, Z., KOVÁCS, G. P., PERCZE, A., 2021. Hátráltató és előrevívő tényezők a hazai talajművelésben. *Agrokémia és Talajtan*. **70**. (2) 155–170.
- BIRKÁS, M., JUG, D., KENDE, Z., KISIC, I., SZEMÓK, A., 2018. Soil tillage responses to the climate threats – Revaluation of the classic theories. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. **83**. (1) 1–9.
- BIRKÁS, M., STINGLI, A., SZEMOK, A., KALMAR, T., BOTTLIK, L., 2008. Soil Condition and Plant Interrelations in Dry Years. *Cereal Research Communications*. **36**. (M1) 15–18.
- CHENU, C., ANGERS, D. A., BARRÉ, P., DERRIEN, D., ARROUAYS, D., BALESSENT, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*. **188**. (April 2018.) 41–52.
- CHI, J., WALDO, S., PRESSLEY, S., O'KEEFFE, P., HUGGINS, D., STÖCKLE, C., PAN, W. L., BROOKS, E., LAMB, B., 2016. Assessing carbon and water dynamics of no-till and conventional tillage cropping systems in the inland Pacific Northwest US using the eddy covariance method. *Agricultural and Forest Meteorology*. **218–219**. 37–49.
- CROWTHER, T. W., TODD-BROWN, K. E. O., ROWE, C. W., WIEDER, W. R., CAREY, J. C., MACHMULLER, M. B., SNOEK, B. L., FANG, S., ZHOU, G., ALLISON, S. D., BLAIR, J. M., BRIDGHAM, S. D., BURTON, A. J., CARRILLO, Y., REICH, P. B., CLARK, J. S., CLASSEN, A. T., DIJKSTRA, F. A., ELBERLING, B., ... BRADFORD, M. A., 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*. **540**. (7631) 104–108.
- DUNAI, A., TÓTH, Z., 2015. Szerves- és műtrágyázás tartam hatása a talajaggregátumok stabilitására agyagbemosódásos barna erdőtalajon. *Agrokémia és Talajtan*. **64**. (1) 29–52.
- EASAC, 2018. Opportunities for soil sustainability in Europe (Issue September). [www.easac.eu](http://www.easac.eu)

- EMMEL, C., WINKLER, A., HÖRTNAGL, L., REVILL, A., AMMANN, C., D'ODORICO, P., BUCHMANN, N., EUGSTER, W., 2018. Integrated management of a Swiss cropland is not sufficient to preserve its soil carbon pool in the long term. *Biogeosciences*. **15**. (17) 5377–5393.
- ETZOLD, S., BUCHMANN, N., EUGSTER, W., 2010. Contribution of advection to the carbon budget measured by eddy covariance at a steep mountain slope forest in Switzerland. *Biogeosciences*. **7**. 2461–2475.
- FUCHS, R., SCHULP, C. J. E., HENGEVELD, G. M., VERBURG, P. H., CLEVERS, J. G. P. W., SCHELHAAS, M.-J., HEROLD, M., 2016. Assessing the influence of historic net and gross land changes on the carbon fluxes of Europe. *Global Change Biology*. **22**. (7) 2526–2539.
- GELYBÓ, G., TÓTH, E., FARKAS, E., HOREL, Á., KÁSA, I., BAKACSI, Z., 2018. Potential impacts of climate change on soil properties. *Agrokémia és Talajtan*. **67**. (1) 121–141.
- HASZPRA, L., 2011. Atmospheric greenhouse gases: the Hungarian perspective. Springer.
- HASZPRA, L., BARCZA, Z., DAVIS, K. J., TARCZAY, K., 2005. Long-term tall tower carbon dioxide flux monitoring over an area of mixed vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*. **132**. (1–2) 58–77.
- KISMÁNYOKY, T., 2018. A talaj humusztartalmának változása különböző trágyázási rendszerekben kukorica tartamkísérletben. *Növénytermelés*. **67**. (3) 35–50.
- KSH, 2021. Mezőgazdaság. <https://www.ksh.hu/mezogazdasag>
- KUTSCH, W. L., AUBINET, M., BUCHMANN, N., SMITH, P., OSBORNE, B., EUGSTER, W., WATTENBACH, M., SCHRUMPF, M., SCHULZE, E. D., TOMELLERI, E., CESCHIA, E., BERNHOFER, C., BÉZIAT, P., CARRARA, A., DI TOMMASI, P., GRÜNWARD, T., JONES, M., MAGLIULO, V., MARLOIE, O., ... ZIEGLER, W., 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **139**. (3) 336–345.
- LAL, R., DELGADO, J. A., GROFFMAN, P. M., MILLAR, N., DELL, C., ROTZ, A., 2011. Management to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation*. **66**. (4) 276–282.
- LUGATO, E., BAMPA, F., PANAGOS, P., MONTANARELLA, L., 2015). Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global Change Biology*. **20**. (11) 3557–3567.
- MA, S., HE, F., TIAN, D., ZOU, D., YAN, Z., YANG, Y., ZHOU, T., HUANG, K., SHEN, H., FANG, J., 2018. Variations and determinants of carbon content in plants: A global synthesis. *Biogeosciences*. **15**. (3) 693–702.
- MONCRIEFF, J. B., MASSHEDER, J. M., DE BRUIN, H., ELBERS, J., FRIBORG, T., HEUSINKVELD, B., KABAT, P., SCOTT, S., SOEGAARD, H., VERHOEF, A., 1997. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. *Journal of Hydrology*. **188**. 589–611.
- MONCRIEFF, J., CLEMENT, R., FINNIGAN, J., MEYERS, T., 2004. Averaging, detrending, and filtering of eddy covariance time series. In *Handbook of micrometeorology*. Springer. pp. 7–31.
- NAGY, Z., PINTÉR, K., CZÓBEL, S., BALOGH, J., HORVÁTH, L., FÓTI, S., BARCZA, Z., WEIDINGER, T., CSINTALAN, Z., DINH, N. Q., GROSZ, B., TUBA, Z., 2007. The carbon budget of semi-arid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **121**. (1–2) 21–29.

- OSBORNE, B., SAUNDERS, M., WALMSLEY, D., JONES, M., SMITH, P., 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **139**. (3) 293–301.
- PAUSTIAN, K., LEHMANN, J., OGLE, S., REAY, D., ROBERTSON, G. P., SMITH, P., 2016. Climate-smart soils. *Nature*, **532**. (7597) 49–57.
- PHILLIPS, C. L., BOND-LAMBERTY, B., DESAI, A. R., LAVOIE, M., RISK, D., TANG, J., TODD-BROWN, K., VARGAS, R., 2016. The value of soil respiration measurements for interpreting and modeling terrestrial carbon cycling. *Plant and Soil*. **413**. 1–25
- PINTÉR, K., 2009. Fátlan természetes vegetáció szénmérlegének meghatározása eddy-kovariancia módszerrel éves skálán Doktori értekezés. Szent István Egyetem.
- PONGRÁCZ, R., BARTHOLY, J., KIS, A., 2014. Estimation of future precipitation conditions for Hungary with special focus on dry periods. *Időjárás*. **118**. (4) 305–321.
- REICHSTEIN, M., FALGE, E., BALDOCCHI, D., PAPALE, D., AUBINET, M., BERBIGIER, P., BERNHOFFER, C., BUCHMANN, N., GILMANOV, T., GRANIER, A. A., GRÜNWARD, T., HAVRÁNKOVÁ, K., ILVESNIEMI, H., JANOUS, D., KNOHL, A., LAURILA, T., LOHILA, A., LOUSTAU, D., MATTEUCCI, G., ... VALENTINI, R., 2005. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: Review and improved algorithm. *Global Change Biology*. **11**. (9) 1424–1439.
- REICHSTEIN, M., SUBKE, J. A., ANGELI, A. C., TENHUNEN, J. D., 2005. Does the temperature sensitivity of decomposition of soil organic matter depend upon water content, soil horizon, or incubation time? *Global Change Biology*. **11**. (10) 1754–1767.
- SCHMIDT, M., REICHENAU, T. G., FIENER, P., SCHNEIDER, K., 2012. The carbon budget of a winter wheat field: An eddy covariance analysis of seasonal and inter-annual variability. *Agricultural and Forest Meteorology*. **165**. 114–126.
- SCHRUMPF, M., SCHULZE, E. D., KAISER, K., SCHUMACHER, J., 2011. How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences*. **8**. 1193–1212.
- SMITH, P., HOUSE, J. I., BUSTAMANTE, M., SOBOCKÁ, J., HARPER, R., PAN, G., WEST, P. C., CLARK, C. J., ADHYA, T., RUMPEL, C., PAUSTIAN, K., KUIKMAN, P., COTRUFO, M. F., ELLIOTT, J. A., MCDOWELL, R., GRIFFITHS, R. I., ASAKAWA, S., BONDEAU, A., JAIN, A. K., MEERSMANS, J., PUGH, T. A. M., 2016. Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*. **22**. 1008–1028.
- SZATMÁRI, G., PIRKÓ, B., KOÓS, S., LABORCZI, A., BAKACSI, Z., SZABÓ, J., PÁSZTOR, L., 2019. Spatio-temporal assessment of topsoil organic carbon stock change in Hungary. *Soil and Tillage Research*. **195**. (September) 1–12.
- TÓTH, E., BARCZA, Z., BIRKÁS, M., GELYBÓ, G., ZSEMBELI, J., BOTTLIK, L., DAVIS, K. J., HASZPRA, L., KERN, A., KLJUN, N., KOÓS, S., KOVÁCS, G., STINGLI, A., FARKAS, C., 2011. Arable Lands. In L. HASZPRA (Ed.), *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective*. Springer. pp. 157–197.
- TÓTH, E., GELYBÓ, G., DENCSÓ, M., KÁSA, I., BIRKÁS, M., HOREL, Á., 2018. Soil CO<sub>2</sub> Emissions in a Long-Term Tillage Treatment Experiment. In M. MUNOZ & R. ZORNOZA (Eds.), *Soil Management and Climate Change: Effects on Organic Carbon, Nitrogen Dynamics, and Greenhouse Gas Emissions*. Academic Press. pp. 293–307

- TÓTH, G., HENGL, T., HERMANN, T., KOCSIS, M., TÓTH, B., MAKÓ, A., BERÉNYI ÜVEGES, J., 2015. Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary). EC, Joint Research Centre
- TURNER, D. P., KOERPER, G. J., HARMON, M. E., LEE, J. J., 1995. A Carbon Budget for Forests of the Conterminous United States. *Ecological Applications*. **5**. (2) 421–436.
- VARGA, B., VIDA, G., VARGA-LÁSZLÓ, E., HOFFMANN, B., VEISZ, O., 2017. Combined Effect of Drought Stress and Elevated Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentration on the Yield Parameters and Water Use Properties of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*. **203**. (3) 192–205.
- VICKERS, D., MAHRT, L., 1997. Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. **14**. (3) 512–526.
- WANG, G., LUO, Z., HAN, P., CHEN, H., XU, J., 2016. Critical carbon input to maintain current soil organic carbon stocks in global wheat systems. *Scientific Reports*. **6**.(December 2015.) 1–8.
- WEBB, E. K., PEARMAN, G. I., LEUNING, R., 1980. Correction of Flux Measurements for Density Effects Due to Heat and Water-vapor Transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. **106**. (447) 85–100.
- WUTZLER, T., LUCAS-MOFFAT, A., MIGLIAVACCA, M., KNAUER, J., SICKEL, K., ŠIGUT, L., MENZER, O., & REICHSTEIN, M., 2018. Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc. *Biogeosciences*. **15**.(16) 5015–5030.
- ZIELIS, S., ETZOLD, S., ZWEIFEL, R., EUGSTER, W., HAENI, M., BUCHMANN, N., 2014. NEP of a Swiss subalpine forest is significantly driven not only by current but also by previous year's weather. *Biogeosciences*. **11**.(6) 1627–1635.
- ZOMER, R. J., BOSSIO, D. A., SOMMER, R., VERCHOT, L. V., 2017. Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Scientific Reports*. **7**.(1) 1–8.

### Carbon balance of a cropland site in Middle-Hungary

<sup>1</sup>János BALOGH, <sup>2</sup>Krisztina PINTÉR, <sup>1,2</sup>Szilvia FÓTI, <sup>1</sup>Giulia DE LUCA, <sup>1</sup>Ádám MÉSZÁROS, <sup>1</sup>Meryem BOUTELDJA, <sup>1</sup>Malek INSAF, <sup>3</sup>Gábor GAJDA, <sup>1,2</sup>Zoltán NAGY

<sup>1</sup>MATE Institute of Agronomy, Gödöllő, Hungary; <sup>2</sup>MTA-MATE Agroecology Research Group, Hungary; <sup>3</sup>Gödöllői Tangazdaság Zrt., Kartal, Hungary

### Summary

Cropland carbon balance was studied from October 2017 to October 2021 in Middle-Hungary by measuring the net ecosystem exchange (NEE) of carbon dioxide (eddy-covariance system). The measured NEE was separated by the different crops (winter wheat, rapeseed, sorghum, sunflower) and fallow periods. We used management data (amount of seeds sown, harvested grain and straw) for calculating lateral fluxes (export and import) of carbon and we calculated net ecosystem carbon balance (NECB) as a sum of NEE, import and export for the different periods.

According to the results, the cropland was a sink of carbon dioxide in each year and in each crop period in spite of the water shortage occurred several times during the study period. The measured mean NEE was  $-69.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ . However, the full carbon balance including the lateral fluxes (NECB) showed carbon loss in each period, the mean carbon loss was  $-168 \text{ g C m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ . Periods of water shortage caused drop in carbon sequestration and decreased plant development, one of the crops (rapeseed) was failed in 2019 and the field was resown (sorghum). We observed  $66 \text{ g C m}^{-2}$  difference in NECB between the two winter wheat vegetation periods (2017/2018, 2019/2020) highlighting the effect of water shortage on carbon balance. This difference was caused by the decreased  $\text{CO}_2$  uptake due to the dry spring period in 2020. We suppose that carbon loss could be less significant in periods with normal precipitation distribution.

This amount of carbon loss could be effectively decreased or compensated only by combining different management practices. There is a strong need for accounting the effectiveness of these methods (reduced tillage, mulching, residue management) at regional scale.

**Keywords:** carbon balance, cropland, soil organic carbon, net ecosystem exchange

### Tables and figures

*Table 1* Mean annual temperatures and annual sums of precipitation at the study site (Kartal, Hungary) during the study period (source: Repository of the Hungarian Meteorological Service). (1) mean annual temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), (2) annual sum of precipitation (mm).

*Table 2* NEE, import, export and NECB values by the years in  $\text{g C m}^{-2}$ . (1) year.

*Table 3* NEE, import, export and NECB sums for the different crops in  $\text{g C m}^{-2}$ . (1) crops, (a) winter wheat, (b) rapeseed, (c) sorghum, (d) sunflower.

*Figure 1.* The eddy-covariance station over sorghum. The main instruments (sonic anemometer and infrared gas analyzer) can be seen above meteorological sensors.

*Figure 2.* Mean monthly temperatures and monthly precipitation sums at the study site (Kartal, Hungary) during the study period (source: Repository of the Hungarian Meteorological Service). (1) mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), (2) precipitation (mm).

*Figure 3.* Cumulative NEE and NECB during the study period. Line styles and color show the different crops. The arrows show the time of harvest. (1) winter wheat, (2) rapeseed, (3) sorghum, (4) sunflower), (5) fallow periods, (6) Carbon emission, (7) carbon uptake, (8) Carbon gain, (9) carbon loss.

---

**Open Access nyilatkozat:** A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID\_1)

---