

A talaj szén-dioxid emissziója árpa tarlón

Szöllösi Nikolett¹ – Kovács Györgyi² –
Zsembeli József²

Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma,

¹Mezőgazdaságtudományi Kar,

Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék, Debrecen

²Karcagi Kutató Intézet, Karcag

szollosi@gissserver1.date.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt évtizedekben Magyarországon is jelentős mértékben romlott a művelt talajok fizikai és biológiai állapota. A talaj CO₂-termelésének mértéke és intenzitása egyenes összefüggésben van a talaj szerkezeti állapotával és szervesanyag-tartalmával. A karcagi komplex talajművelési kísérletben 2002 óta folynak szabadföldi mérések a talaj CO₂-emissziójának meghatározására. A talajművelési kísérletben hagyományos és redukált művelésű területek CO₂ emisszióját vizsgáltuk. A méréseket az árpa betakarítását követően végeztük, így a gyökérlégzést ki tudtuk zárni a mért értékekből. A mérési terület térbeli lehatárolására egy fémkeretből és egy tálból álló, általunk kifejlesztett szettet használtunk. A vizsgálat adatai alapján megállapítható, hogy a művelések közötti jelentős különbségek a talajművelés hatására bekövetkező szerkezeti változásokra és azok hatására vezethetők vissza.

Kulcsszavak: CO₂-emisszió, talajművelési rendszerek, talajállapot

SUMMARY

In the last decades the physical and biological status of the soils in Hungary significantly decreased. The degree and intensity of CO₂-production of the soil is in close correlation to its structural status and organic matter content. In a complex soil tillage experiment at Karcag in situ measurements have been carried out since 2002 in order to determine the CO₂-emission of the soil. Carbon-dioxide emission of the soil in the cases of conventional tillage and reduced cultivation system was analysed in a long-term cultivation experiment. The measurements were carried out after the harvest of the barley, thus root respiration was excluded. For the spatial delimitation of the measuring area a newly developed frame+ bowl set was used. Based on measurements, significant differences between cultivation systems can be recognized due to the soil structure changes and its effects.

Keywords: CO₂-emission, soil tillage systems, soil state

BEVEZETÉS

Az utóbbi években a melegebbé váló éghajlat miatt a talajban zajló oxidációs folyamatok gyorsulnak, ennek következtében pedig a talaj-bioszféra rendszer nettó szén-dioxid-feltevőből globálisan nettó forrássá válhat (Prentice et al., 2001). Ez jelentősen gyorsíthatja a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedését annak minden veszélyes következményével együtt. A következő évek egyik legnagyobb szakmai kihívása, hogy megpróbáljunk mennyiségi kapcsolatot találni a szén-dioxid-

forgalom és a környezeti paraméterek alakulása között. A talajvédő és kímélő művelés az üvegházhatású gázok (ÜHG) – elsősorban szén-dioxid – csökkentése révén globális méretekben nem csak a termőföld védelmét, hanem a környezetvédelmet is szolgálhatja.

SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az éghajlat talajalakító hatását már a XIX. században felismerték. Az éghajlat által formált zonális talajok fogalmát Dokucsajev vezette be; ezzel megalapozta a talajföldrajz tudományát (Stefanovits, 1975). Az éghajlat és a talaj párhuzamos elemzésével többen is foglalkoztak (Gouide, 1989; Justyák és Szász, 2001), de a talajnak az éghajlatra gyakorolt hatásával inkább csak érintőlegesen (Szász, 1963). Az 1980-as évek óta a talaj időjárás és éghajlat módosító szerepe a részletes kutatások tárgya lett (Robock et al., 1998; Hayden, 1998; Pielke, 1998; Wang és Eltahir, 2000).

Világviszonylatban az összes szén-dioxid kibocsátás 5%-áért tehető felelőssé a mezőgazdasági tevékenység (Cole, 1996). A hazai és a nemzetközi kutatási eredmények (Tracy et al., 1990; Reicosky et al., 1997, 1999; Etana et al., 2001; Giuffrè et al., 2003) egyaránt azt mutatják, hogy a legjelentősebb szén-dioxid veszteséget – talajművelés tekintetében – a talaj rendszeres szántása idézi elő.

A jelenlegi talajállapot kialakulásának összefüggései

Az elmúlt évtizedekben szinte Közép-Európa teljes területén, köztük Magyarországon is jelentős mértékben romlott a művelt talajok fizikai és biológiai állapota. Soane (1985) megállapítása szerint a talajállapot romlása és a szervesanyag csökkenés egyik kísérő jelenségeként az ülepedési, a tömörödési és a porosodási hajlam is növekszik. Magyarországon az intenzív művelésnek köszönhetően megnövekedett a felszíni és a művelés alsó határán kialakuló tömör zárórétegek aránya (Rátonyi, 1999; Birkás, 2000), és az erózióknak kevésbé ellenállni tudó termőtalajok biológiai állapota leromlott (Gyuricza, 2000; Zsembeli, 2006). Emellett ezeken a helyeken a talajok jelentős része eróziótól, deflációtól veszélyeztetett, romlott a talajok szerkezete és szervesanyag mérlege. A talajok állapotára az időjárási szélsőségek (csapadék többlet, aszály) is kedvezőtlen hatással vannak, ugyanakkor a rossz talajállapot is súlyosbítja a klimatikus szélsőségekkel összefüggő gazdasági károkat. A talajok

szervesanyag tartalma az intenzív gazdálkodás következtében mintegy 50%-kal csökkent, ami a természetes talajtermékenység leromlását vonta maga után (Harrod, 1994). Egyes térségekben, a nem megfelelő kultúrállapotú talajokon ezek a problémák hatványozottan jelentkeztek.

Talajlégzés

A talajlégzés, vagyis a talajfelszínen át kibocsátott CO₂ mérése viszonylag egyszerű, jóval problematikusabb annak felbontása gyökér-, rizoszféra- és mikrobiális légzésre (Hanson et al., 2000; Kelting et al., 1998).

A CO₂ talajból légkörbe áramlása a földi anyagforgalom egyik legfontosabb komponense, és elsősorban a talajban zajló mikrobiális lebontó folyamatok, valamint a növényi gyökerek respirációjának következménye (Hanson et al., 2000; Kuzjakov, 2006). Mindössze néhány százaléknnyira tehető a talaj makro- és mezofaunájának CO₂ kibocsátása (Ke et al., 2005). Nagyságrendjét tekintve a talajlégzés évi összegének területi eloszlása Magyarországon 380-470 g C·m⁻²·év⁻¹ értékek között változik (Ács et al., 2005). A talajnak, mint a légköri szén-dioxid pufferének elnyelő vagy kibocsátó szerepe nagyban függ a talaj széntartalmának eredetétől, formájától és stabilitásától. Lényeges a kibocsátott szén eredetének (növényi eredetű CO₂, vagy a talaj szervesanyagából (Soil Organic Matter, SOM) származó CO₂ megállapítása a talaj, illetve az ökoszisztéma szénkészletének jövőbeni sorsát illető előrejelzések szempontjából is (Trumbore, 1997).

Az ökoszisztémák szénmérlegét két nagy (különböző előjelű) áramlás, a bruttó primer produkció és a különböző eredetű légzések összege alakítja. Az utóbbi komponens nagyobbik hányada a talajhoz köthető. A talajlégzésen belül az adott légzési komponens eredete szerint megkülönböztetünk az aktuális asszimilációs rátához erősen kapcsolt gyökér- és rizomikrobiális légzést, továbbá a talaj egyéb szervesanyag tartalmának bomlásához köthető egyéb mikrobiális légzést (Kröel-Dulay et al., 2008). Emellett a komponensek abszolút mennyisége és egymáshoz való aránya is változhat térben és időben (napi időjárástól függően és szezonálisan is). A mikrobiális közösségen belül is eltérő a CO₂ kibocsátás intenzitása és térbeli-időbeli mintázata (Schimel és Gullledge, 1998). A fenti állítást támasztja alá az is, hogy az eukarióták közül a gombák lebontó folyamatai hatékonyabbak, kevesebb szén lélegeznek el az összes biomasszájukhoz képest, mint a baktériumok, azonos körülmények között, egységnyi idő alatt. Természetesen a baktériumok különböző anyagcseréjű csoportjai között is lényeges különbségek vannak a lebontás hatékonyságában.

Talajművelési eljárások hatása a talajra

A termőhely ismerete minden mezőgazdasági beavatkozás elvégzése előtt elengedhetetlen, hiszen a

globális problémákat is csak a lokális megértésével együtt tudjuk értékelni (Tamás, 2001). Ezért kulcsfontosságú, hogy a talaj- és a környezeti adottságoknak megfelelően kerüljenek kialakításra a talajművelési rendszerek. A talajvédő művelés során a növényi maradványok jelentős hányada a felszínen marad és hatékony védelmet jelent a talajerózióval szemben (Harrod és Edwards, 1974; Langdale et al., 1979), továbbá jelentősen csökkenti a talajnedvességvesztést (Buchele et al., 1955; Mielke et al., 1986; Unger, 1984). Az USA Mezőgazdasági Kutatószolgálat (Agricultural Research Service, 1981) értelmezésében talajvédőnek minősül minden olyan művelési rendszer, amelynél a tarlómaradványok legalább 30%-a vetés után is a felszínen marad. A talajművelés újnak számító irányzatait, rendszereit, ellentétben a hagyományos (konvencionális) talajművelési rendszerekkel, alapvetően a forgatómos művelés visszaszorulása, gyakoriságának és mélységének csökkenése jellemzi. Az egyes irányzatokban alkalmazott eljárások sokszor fedik egymást, sőt a fogalmi elhatárolás sem minden esetben egyértelmű, de mindenképpen ezek közé sorolandó a minimális művelés, a csökkentett művelés, a művelés nélküli direktvetés, a mulcsos művelés és a bakhátas művelés (Mannerling és Fenster, 1983).

A szántás előtti felszíni réteg aerob mikrobaközössége a szántás következtében a számára kedvezőtlen alsó réteg anaerob körülményei közé fordítva elpusztul, így a szervesanyag bomlása lelassul. Ezzel egyidőben a szántás előtti alsóbb rétegben megtalálható anaerob mikrobák az oxigéndús környezetben elpusztulnak, ellenben a felszaporodó aerob mikrobák intenzív szervesanyagbontásba kezdenek, csökkentve annak mennyiségét (Szabó, 1992).

A lazítás kíméli a talaj szervesanyagát, nem okoz gyors szervesanyagbontást, mivel a tömörödött talajréteget forgatás nélkül töri át; így intenzíven nem levegőzteti át a talajt.

A tárcsázásra jellemző műveletek a keverés, a porhanyítás, a sekély lazítás, és a durvább keverés; forgató hatása csekély. A szakszerűen végzett tárcsás porhanyítás során a talaj túlzottan nem levegőzik át, így az aerob mikrobák serkentése is visszafogott marad, emiatt gyors szervesanyagbontás sem következik be (Huisz et al., 2006). A lazítás nem forgatja a talajréteget, a tárcsázás pedig csak a talajfelszínt porhanyítja. „A sekély bolygatás miatt a 20 cm alatti talaj bakteriális tevékenysége nem változik meg” (Szabó, 1992).

A hagyományos vetéssel szemben, amely a vetést megelőzően több munkamenetet igényel – így a talaj szerkezetét jobban károsítja –, a direktvetés megmunkálatlan talajba történik, így a szerkezetromboló hatása is kevesebb.

A talajszerkezeti elemek fizikailag és biokémiaiilag védik a bennük található szervesanyagot a lebontással szemben; így meghatározzák a talaj termékenységét, hő- és vízgazdálkodó képességét, szennyező anyagokkal szembeni pufferkapacitását és fizikai

szerkezetességét. Az aggregátumok belsejében és a közöttük lévő tér alkotja a talaj pórusrendszerét. A talajszerkezeti elemek stabilitása biztosítja a pórustér viszonylagos állandóságát, amely alapfeltétele a talajbéli nedvesség és levegő áramlásának (Stefanovits et al., 1999).

A talajművelési rendszerek és a CO₂ kibocsátás összefüggései

Az Egyesült Államokban végzett számítások szerint az elmúlt évek talajvédő technológiáinak elterjedése nyomán mérhetően csökkent a talajból a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyisége (Pautian et al., 1998). Amennyiben Európában a szántóterületeket teljes mértékben talajvédő módszerekkel művelnék meg, az a mezőgazdaság összes emisszióját mérsékelné. Ez az Európában keletkező éves szén-dioxid 4,1%-át, globális méretekben az éves kibocsátás 0,8%-át jelenti.

A fenntartható fejlődés egyik alapeleme Magyarországon, a legfontosabb feltételeken megújuló (megújítható) természeti erőforrásunkat képező talajkészleteink ésszerű hasznosítása, minőségének megóvása és sokoldalú funkcióképességének fenntartása, ami a környezetvédelem és a mezőgazdaság egyik legfontosabb közös feladata (Várallyay, 2000).

A talaj ekével történő rendszeres forgatása a szántóföldek szén-dioxid emisszióját nagymértékben megnöveli. Talajművelés hatására nő a lazultság, megváltozik a levegőellátottság, gyors gázcsere indul meg. A talaj megnövekedő oxigéntartalma intenzív mikrobiális tevékenységet indukál. A szerves anyag lebomlásakor keletkező szén-dioxid pedig a légkörbe távozik, aminek következtében a globális klímaváltozás egyik közvetlen előidézője lehet (Gyuricza, 2007).

A talajművelés intenzitása és a szén-dioxid kibocsátás között közvetlen összefüggés figyelhető meg: minél nagyobb a pórustérfogaton belül a levegőfázis aránya és mélyebben lazított a talaj, annál élénkebb a mikrobiológiai tevékenység, amely a szén-dioxid emisszió fokozódásában nyilvánul meg. A talajok intenzív művelése a szénkészlet 30-50%-os csökkenését idézi elő, amely elsősorban a talaj feltörésével hozható összefüggésbe. A szerves anyag fokozott mineralizációja révén felszabaduló szén-dioxid ilyen módon könnyen a légkörbe távozik (Cole, 1996). Ezzel szemben a talajvédő technológiák (forgatás nélküli eljárások, direktvetés, stb.) alkalmazása révén Gyuricza (2007) szerint a talaj humusztartalma növekedhet.

A művelés utáni lebontó folyamatokat a talaj legfelső 10 cm-es rétegének hőmérséklete befolyásolja leginkább. Tapasztalatok szerint a hőmérséklet emelkedésével a talajban fejlődő CO₂ mennyisége növekszik, 65 °C-nál maximumot ér el, majd 90 °C-ig csökken, és 110 °C-nál hirtelen megnövekszik a CO₂ koncentrációja. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy 65 °C-nál a talaj mikrobiológiai aktivitása maximumot ér el, és ezért nő meg a CO₂ tartalom. 110 °C-nál pedig kémiai

oxidáció okozza a CO₂ tartalom növekedését (Györi, 1984).

A termelődött CO₂ mennyisége arányos az elbontott szénhidrogén mennyiségével, a biológiai oxidáció mértékével, így közvetetten információ kapható a talaj biológiai állapotáról.

Minden egyes tonna szerves szén lebomlásával 3,7 t CO₂ kerül a légkörbe, ugyanakkor kímélő talajhasználat eredményeként 0,77 t/ha-ral növekedhet a széntartalom, ami a szén-dioxid emisszió 2,8 t/ha éves csökkenését jelenti (Brian et al., 1999).

A különböző talajművelési eljárások által generált folyamatok a talajéletet, így a talajlégzést is jelentős mértékben befolyásolják. A talaj CO₂ kibocsátása és a talajművelési rendszerek közötti összefüggéseket kívánjuk feltárni mély humusz rétegű, mélyben szolonyeces réti csernozjom talajokon.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleti terület bemutatása

A vizsgálati terület a Nagykunság kistérségben helyezkedik el. A méréseket a Debreceni Egyetem AMTC Karcagi Kutató Intézet egyik kísérleti területén végeztük szántóföldi körülmények között. A terület talajának típusa mély humusz rétegű, mélyben szolonyeces réti csernozjom. A talajképző kőzet vályogos agyag textúrájú infúziós lösz. A terület átlagos tengerszint feletti magassága 87 m Bf. A terület talajának szelvénye az alábbiak szerint épül fel:

A_{sz} 0-30 cm: sötétbarna, vályog, poliédes szerkezet, sok gyökér, fokozatos átmenet

A₁ 30-50 cm: feketésbarna, agyagos vályog, kifejezettebb poliédes szerkezet, kevesebb gyökér, éles átmenet

B 50-84 cm: világosbarna, vályog, morzsás szerkezet, csökkenő humusztartalom, karbonátos, folyamatos átmenet

BC 84-120 cm: még világosabb szín, agyagos vályog, mészkiválások, kevés gyökér 110 cm-ig, fokozatos átmenet

C 120 cm-: sárgás szín, agyag, vassorsók, nincs gyökér.

A H-1 jelű táblán egy 11 éve beállított komplex talajművelési kísérlet folyik. 2008-ban konvencionális (forgatásra alapozott) és redukált talajművelési rendszerekben vizsgáltuk a talaj CO₂ emisszióját. A területen őszi árpa termesztése folyt, annak betakarítását követően a tarlót az alkalmazott művelési eljárásoknak megfelelően kezeltük: a hagyományos művelés esetében a szármaradványok bebálázva a parcelláról elkerültek, míg a redukált művelés esetében a szalma a talaj felszínén maradt.

A feltalaj kémhatása gyengén savanyú (6-6,3 pH), az A-szintben azonban jelentős hidrolitos aciditást mutat, amely a szénsavas mész megjelenésével a 40-50 cm-es rétegtől megszűnik. Mérhető mennyiségű szóda (0,026%) az 50 cm alatti

rétegekben mutatható ki. Az Arany-féle kötöttségi szám alapján (A_{sz} : 45 K_A) a talaj Stefanovits (1981) osztályozási rendszere szerint a vályog, illetve agyagos vályog textúra-kategóriákba sorolható, e paraméter értékei a szelvényben lefelé haladva fokozatos növekedést mutatnak. Az összes sótartalom (0,04%) a vizsgált szelvényben gyakorlatilag nem változik. A talaj humusztartalma korábban 2,68% volt.

A jelenlegi állapotot tükröző vizsgálatokat a későbbiek folyamán végezzük el.

A térség klímája

A Nagykunság kistérség Magyarország egyik legszárazabb, a hőmérsékleti ingadozásokat tekintve legszélsőségesebb, illetve leginkább kontinentális jellegű területe. A maximum középhőmérséklet 20,8 °C, június és augusztus között jellemző, a minimum középhőmérséklet -2,9 °C, általában januárban mérhető. Meleg, száraz, mérsékelt forró nyarú éghajlati körzetbe esik. Felhőzete csekély. A napsütéses órák évi összege 2000-2100 között változik. A Nagykunság az Alföld és egyben Magyarország legszárazabb tája, az átlagos éves csapadékmennyiség 500 mm körüli. Az alacsony csapadékmennyiségén kívül annak éves eloszlása is kedvezőtlen, de szélsőségesen magas csapadékmennyiségű évjáratok is előfordulnak. A potenciális evapotranszpiráció éves értéke meghaladja a 700-800 mm-t. Az évi vízhiány a kevés csapadék és a meleg nyár miatt itt a legnagyobb az országban. A tájra jellemző uralkodó szélirány az északi, északkeleti.

A szén-dioxid kibocsátás meghatározása

A gázemisszió meghatározására szolgáló módszerek közül a koncentrációkülönbségből számított áramlás meghatározásán alapuló módszert alkalmaztuk. A CO₂-koncentrációkat egy infravörös elven működő, mobil gázanalizátorral, az ANAGAS CD 98 típusú (1. ábra), angol gyártmányú készülékkel mértük.

Magyarországon Tóth és Koós (2006) is kifejlesztett egy saját mérési technikát, mely többé-kevésbé megegyezik a miénkkel, a fő különbség a gáz mintavétel módszerében és vizsgálatában van. Karcagon egy egyedi, speciális eszközt fejlesztettünk ki, mely egy fémkeretből és egy műanyag edényből áll (1. ábra). Az élezett szegélyű fémkeret talajba süllyesztése (8 cm magas, melyből 5,5 cm van a talajban) és a fémkereten kiképzett vályús perem vízzel feltöltése biztosítja a légmentes izolációt. A műanyag edény térfogata 4000 cm³, a fémkeret átmérője 20 cm. Ez a szett már egy korábbi változat továbbfejlesztésével készült, így a tarlón való méréshez jobban megfelelő, könnyen szállítható és kezelhető eszközt kaptunk, mely eredményesen kiváltotta a korábban alkalmazott cilinderes módszert (Zsembeli et al., 2005). Egy-egy mérés alkalmával 3 ismétlésben állítottuk be a szetteket (2. ábra).

1. ábra: A keretből és tálból álló szett és az Anagas CD 98



Figure 1: The frame+bowl set with the Anagas CD 98

2. ábra: Mérés három ismétlésben



Figure 2: The measurement in three replications

A keretek lehelyezését követően megmértük a kezdeti CO₂ értékeket, majd elvégeztük a térbeli lehatárolást. A harminc perces inkubációs idő leteltét követően megmértük a megnövekedett koncentrációt. Ezt követően számítottuk a talaj szén-dioxid emisszióját egységnyi területre és időre vetítve.

Kiegészítő mérések

A talaj CO₂ kibocsátásának mérése során, számos különböző tér- és időléptékű folyamat együttes eredményét mérjük. Ezek a folyamatok a környezet változásaira eltérően válaszolhatnak: pl. az olyan abiotikus tényezőkre, mint a hőmérséklet vagy a talajnedvesség, a gyökérzet élettani folyamatai eltérően reagálhatnak, mint a mikrobáké (Boone et al.,

1998), így nehéz ezekre a folyamatokra, de még közös eredőjükre is adekvát megállapításokat tenni. Ezért lényeges a talaj CO₂ kibocsátás jövőbeni változásainak becsléséhez az adott ökoszisztémában a komponensek arányának ismerete. Az elkülönítés fontos a szénmérleg vizsgálatoknál, a szénallokációs és szénelnyelési kutatásoknál is, mert sok tanulmány szerint a talaj megfigyelt CO₂ kibocsátásának nagy részét a gyökérlégzés teszi ki. Emiatt a méréseket a betakarítást követően kezdtük el, hiszen a betakarítást követően leáll a termesztett növény gyökérlégzése, azonban a talajművelés hatásai kimutathatóak. Így csak azt a CO₂-tartalmat mértük, amely a mikroorganizmusok életműködéséből származott.

A CO₂-koncentráció mérésekkel párhuzamosan kiegészítő méréseket is végzünk. Mérjük a levegő hőmérsékletét, a talaj hőmérsékletét 5 cm, illetve 10 cm mélységben, a talaj nedvességtartalmát a felső 20 cm-es talajrétegben (HydroSense TM típusú talajnedvesség-mérő segítségével). A fenti adatokra a CO₂-emisszió számításához van szükség, továbbá a talaj CO₂ termelése, a talaj és levegő hőmérséklete, valamint a talaj nedvességtartalma közötti összefüggések feltárásához. Ezekon túlmenően a talaj tömörödöttségét is vizsgáltuk elektronikus rétegindikátorral (3T-System).

A talaj szén-dioxid emissziójának számítása

A mérési adatokból egy EXCEL alapú adatbázist hoztunk létre. A CO₂-emissziós értékek meghatározásához a következő képletet alkalmaztuk:

$$F = d \cdot (V/A) \cdot (C_2 - C_1) / t \cdot 273 / (273 + T)$$

ahol

- F = CO₂-emisszió (g m⁻² h⁻¹),
- d = a CO₂ térfogattömege (1,96 kg m⁻³),
- V = a henger talajszint feletti térfogata (m³),
- A = a mérési felület (m²),
- C_1 = a kezdeti CO₂-koncentráció (m³ m⁻³),
- C_2 = az inkubáció utáni CO₂-koncentráció (m³ m⁻³),
- t = inkubációs idő (h),
- T = a levegő hőmérséklete (°C).

EREDMÉNYEK

A talaj CO₂-emissziója

A szakirodalmi leírásokkal összecsengően a talaj bolygatása fokozott emissziós értékeket indukált, legmagasabb CO₂-kibocsátása a hagyományosan, forgatásra alapozott műveléssel kialakított parcella talajának volt a betakarítást követően. Ez a legmagasabb érték nem maradt meg a vizsgált időszakban, ami arra enged következtetni, hogy a levegősebb körülményeket előidéző bolygatás után a nagyobb szervesanyag tartalmú (a területen hagyott növényi maradványok miatt) redukált művelésű talaj fokozott mikrobiológiai aktivitása dominált a későbbi időszakban (3. ábra).

3. ábra: A talaj szén-dioxid emissziója a két művelési rendszerben

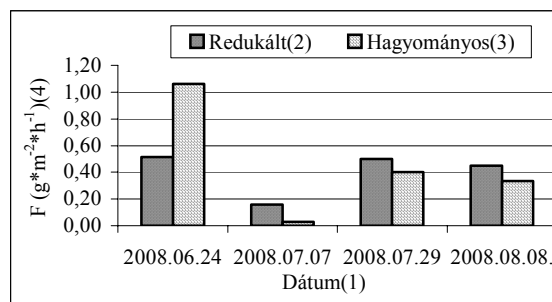


Figure 3: CO₂ emission of the soil in both tillage systems
Date(1), Reduced tillage(2), Conventional tillage(3), Flux(4)

A legnagyobb szén-dioxid kibocsátást a betakarítást követően a szántásos művelés után tapasztaltuk, míg a felszíni lezárás miatt ez az érték jelentősen lecsökkent (2008.07.07). A forgatásos művelésű területeken tárcsa+gyűrűhengerezés, míg a redukált művelésű területeken mulcstillerezést hajtottak végre. Nyári napokon végzett forgatás esetén kitüntetett szerepe van az azonnali, lehetőleg a műveléssel azonos menetben végrehajtott elmunkálásnak. A felszín hengerrel történő lezárása csökkenti a párolgást, valamint a szerves anyagok lebomlását, és a szén-dioxid légkörbe távozását.

A második és harmadik mérés közötti időszakban jelentős mennyiségű csapadék (több mint 30 mm) esett, ami a vizsgált területre nem jellemző a nyári időszakban. Ez biztosította, hogy meglehetősen magas CO₂-emissziós értékeket mértünk, az eső okozta megnövekedett biológiai aktivitásnak köszönhetően a redukált (0,5 g*m⁻²*h⁻¹) és hagyományosan művelt (0,4 g*m⁻²*h⁻¹) területeken.

A negyedik mérést megelőzően nem volt jelentős csapadék mennyiség (15 mm), tartósan meleg és száraz idő volt. Míg az abszolút értékek nem csökkentek jelentősen, a talajművelési kezelésekből származó különbségek mindvégig megmaradtak, azaz a kezeléshatás kimutatható. A kapott eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a talajművelés intenzitása és a szén-dioxid kibocsátás között közvetlen összefüggés figyelhető meg.

Talajtömörödés

A talajban képződő CO₂ mennyiségét többek között a talaj ellenállása is befolyásolja. Talajtömörödés a természetben is előfordul a kevés szerves és szervesetlen kolloidokat tartalmazó talajokban. Tömörödnek a talajok vízvesztés, kiszáradás, valamint a csapadék tömege, vagy hosszabb vízborítás hatására is. Az emberi tevékenység által okozott tömörödés folyamata során a talaj háromfázisos rendszeréből mechanikai stressz hatására a levegő kiszorul, és térfogata csökken (Birkás, 2002).

A talaj tömörödött, ha az összes pórustérfogat 40% alatt van, és a térfogattömeg értéke pedig 1,6-1,7 g*cm³. Az elektronikus rétegindikátoros (penetrométeres) talajvizsgálat segítségével információt kapunk a talaj mechanikai állapotáról, melyet talajellenállás görbék segítségével szemléltetünk (4. ábra).

A 4. ábrán a hagyományos művelés esetén a legkisebb a talajellenállás, annál nagyobb a redukált művelésű területen, míg természetesen a legmagasabb értéket a mezőgazdasági gépek kerekeinek nyomvályúiban kaptuk. A taposási kár a talaj felső 170 mm-ig erősen tömöríti a talajt. A keréknyomban 280 mm-es mélységben éri el a talajellenállás a 3 MPa értéket, ami tömör talajra utal. Hagyományos művelés esetén a felső 400 mm-es rétegben 3 MPa alatt maradnak végig a mért értékek, azonban 310 mm-es mélységben és az alatt már 2,9 MPa a talajellenállás, ami szinte már a tömörödött talajra jellemző. A redukált művelésű területen a 3 MPa-os határértéket a 380 mm-es talajmélységben mértük. A redukált és hagyományos művelésű területek talajainak tömörsége 300 mm mélyen egyezik meg, így a két művelés közti talajszerkezeti különbségek e mélységig mutathatóak ki egyértelműen. 300-370 mm mélyen a szántott terület tömörödöttsége nagyobb (itt valószínűsíthető az eketalp réteg), míg 370 mm-en és az alatt a redukált művelésű területek talajellenállása nagyobb.

4. ábra: A talaj penetrációval szembeni ellenállása különböző talajművelésű területeken és a taposási kár

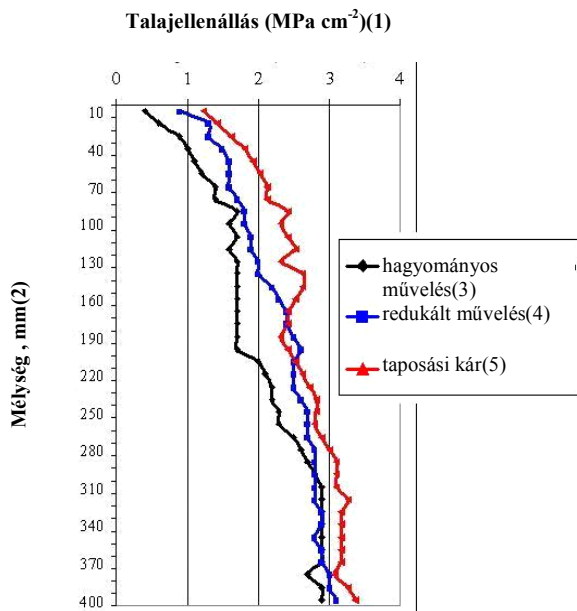


Figure 4: The penetration resistance of the soil in different cultivation systems and the wheel compaction Penetration resistance(1), Depth(2), Conventional tillage(3), Reduced tillage(4), Wheel compaction(5)

Az egyes kezelések hatását a talaj ellenállására párosított t-próbával is megvizsgáltuk (1. táblázat).

1. táblázat

Párosított t-próba

	Szignifikancia(1)
Redukált művelés-taposási kár(2)	0,000
Hagyományos művelés-taposási kár(3)	0,000
Redukált művelés-hagyományos művelés(4)	0,000

Table 1: Paired Samples Test

Sig. (2-tailed)(1), Reduced tillage-wheel compaction(2), Conventional tillage-wheel compaction(3), Reduced tillage-conventional tillage(4)

A hagyományos és redukált művelés, valamint a mezőgazdasági gépek talajellenállásra gyakorolt hatása szignifikánsan eltér (95%-os megbízhatóság mellett). Megállapítható, hogy a művelési rendszerek befolyásolják a talaj szerkezeti állapotát.

Vizsgálataink szerint minél mélyebben lazított a talaj, annál élénkebb a mikrobiális tevékenység, amely a szén-dioxid emisszió fokozódásában nyilvánul meg.

A talaj- és levegőhőmérséklet összefüggései

A talaj nedvességtartalma a redukáltan művelt területeken a betakarítást követően mért értékeket leszámítva végig magasabb volt (5. ábra).

5. ábra: Hőmérsékleti adatok

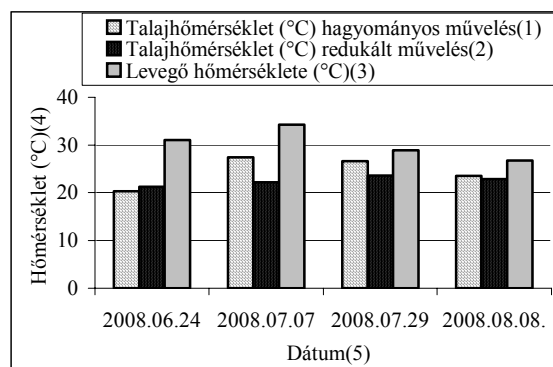


Figure 5: Temperature data

Temperature of the soil-conventional tillage(1), Temperature of the soil-reduced tillage(2), Air temperature(3), Temperature(4), Date(5)

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A talaj CO₂ kibocsátása a hőmérséklet emelkedésével növekszik. Ennek hatására növekszik az ÜHG-k koncentrációja a légkörben, az további hőmérséklet emelkedést indukál, ami pozitív visszacsatolási folyamat a természetben.

Szlávik és Csete (2004), valamint Láng (2003) munkáját alapul véve az üvegházhatású gázok (pl. természeti-környezeti indikátorokon belül az üvegházhatású gázok kibocsátása), jelen esetben a szén-dioxid abszolút értéke és változási tendenciája is jelentős információkat hordoz, mint

fenntarthatósági indikátor. Emiatt figyelemreméltó eredményeket kaptunk a talajállapot és a CO₂-emisszió összefüggéseivel kapcsolatban a különböző módon megművelt földterületeken történt beavatkozások hatását illetően. A talaj CO₂-termelésének mértéke és intenzitása egyenes összefüggésben van a talaj szerkezeti állapotával és szervesanyag-tartalmával. Ezért a talaj termékenységének egyik mutatója, mérésével így közvetlenül a talaj mezőgazdasági szempontból legfontosabb jellemzőjét számszerűsíthetjük.

A mérések eredményeinek feldolgozásával hozzájárulhatunk a talajból származó CO₂ környezetterhelésének feltáráshoz is, ennek tükrében pedig a jövő mezőgazdálkodása egy környezetkímélőbb művelés irányában fejlődhet tovább, ami a minimális művelés, a csökkentett művelés, a művelés nélküli direktvetés, a mulcsos művelés és a bakhátas művelés széleskörű alkalmazását segítheti elő.

A redukált művelés a fenntartható növénytermesztés hatékony gyakorlati eszköze, hisz a kevesebb bolygatás révén kiegyensúlyozottabb

talajélet alakul ki, mivel a talajok általános kondíciójának javítása nem csak gazdasági, hanem környezetvédelmi szempontból is kívánatos.

A kiegészítő mérések közül a talajellenállás vizsgálata alapján megállapítható, hogy az alternatív művelési rendszerek megoldást jelenthetnek a talajdegradációs folyamatok megakadályozására és a talajszerkezet javulását eredményezik hosszabb távon.

A talajhőmérséklet vizsgálat adatai alapján megállapítható, hogy az intenzív szén-dioxid kibocsátás egyik oka feltehetőleg a magas talajhőmérséklet, ugyanakkor a művelések közötti jelentős különbségek a biológiai aktivitásra, a talajművelés hatására bekövetkező szerkezeti változásokra, valamint a felszínen hagyott és részben bedolgozott mulcs, avagy szármaradvány jótékony hatásainak tudható be. Azonban az eredményeink pontosításához és megbízhatóbb következtetések levonásához további vizsgálatok szükségesek.

A tarlómaradványok talajfelszínén hagyásának köszönhetően, a redukált művelésű területeken mért talajhőmérsékleti értékek alacsonyabbak voltak, mint a szántásra alapozott területeken.

IRODALOM

- Ács F.-Breuer H.-Tarczay K.-Druca M. (2005): A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. *Agrokémia és Talajtan* 54. 3-4: 257-274.
- Birkás M. (2000): A talajtömörödés kialakulása Magyarországon; Következményei, megelőzésének és enyhítésének lehetőségei. Akadémiai doktori értekezés, Gödöllő.
- Birkás M. (2002): Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Szent István Egyetem, Gödöllő.
- Boone, R. D.-Nadelhoffer, K. J.-Canary, J. D.-Kaye, J. P. (1998): Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature*. 396: 570-572.
- Brian, M.-Chang, B.-Padbury, G.-Lindwall, W. (1999): Carbon sequestration and direct seeding. *Semiarid Prairie Agric. Res. Centre*, 155-164.
- Buchele, W. F.-Collins, E. V.-Lovely, W. G. (1955): Ridge farming for soil and water control. *Agric. Eng.* 36: 324-329.
- Cole, C. V. (1996): Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions IPCC Working Group 11, Chapter 23, Washington, D.C.
- Etana, A.-Hakansson, I.-Zagal, E.-Bucas, S. (2001): Effects of tillage depths on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils.
- Giuffrè, L.-Heredia, O.-Pascuale, C.-Cosentino, D.-Conti, M.-Schnug, E. (2003): Land use and carbon sequestration in arid soils of northern Patagonia (Argentina). *Landbauforschung Völknerode*. 53: 13-18.
- Gouide, A. (1989): *The Nature of the Environment*. 2nd ed. Basil Blackwell, Cambridge, Massachusetts.
- Györi D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 254.
- Gyuricza Cs. (2000): Az értékkörző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásainak értékelése. Doktori (Ph.D) értekezés, SZIE Gödöllő.
- Gyuricza Cs. (2007): Környezetkímélő termesztési módszerek vizsgálata a talaj-növény rendszerben. Habilitációs dolgozat. Gödöllő. 28.
- Hanson, P. J.-Edwards, N.-Garten, C. T.-Andrews, J. A. (2000): Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry*. 48: 115-146.
- Harrod, T. R. (1994): Runoff, soil erosion and pesticide pollution in Cornwall. In: Rickson, R. J. (ed.) 1994. *Conserving soil resources*, CABI, Oxford, U.K.
- Harrod, L. L.-Edwards W. M. (1974): No-tillage system reduces erosion from continuous corn watersheds. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 17, 414-416.
- Hayden, B. P. (1998) Ecosystem feedbacks on climate at the landscape scale. *Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B*. 353. 5-18.
- Huisz A.-Sleutel S.-Tóth T.-Hofman G.-de Neve, S.-Németh T. (2006): Talajművelési rendszerek hatása a szervesanyag eloszlásra a talaj különböző szemcseméretű frakcióiban három év tapasztalatai alapján. *Agrártudományi Közlemények*, 2006/22. Különszám.
- Justyák J.-Szász G. (2001): Az éghajlat, a növényzet, és a talaj övezetes elrendeződése a Földön. Kossuth Egyetemi Kiadó. Debrecen.
- Ke, X.-Winter, K.-Filser, J. (2005): Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter: a microcosm experiment. *Soil Biol. Biochem.* 37: 731-738.
- Kelting, D. L.-Burger, J. A.-Edwards, G. S. (1998): Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 30: 961-968.
- Kröel-Dulay Gy.-Kalapos T.-Mojzes A. (szerk.) (2008): Talaj-vegetáció-klima kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet. MTA ÖBKI, Vácrátót. 135-146.
- Kuzyakov, Y. (2006): Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biol. Biochem.* 38: 425-448.
- Langdale, G. W.-Barnett, A. P.-Leonard, R. A.-Fleming, W. G. (1979): Reduction of soil erosion by the no-till system in the Southern Piedmont. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 22. 82-86: 92.

- Láng I. (2003): A fenntartható fejlődés Johannesburg után. AGROINFORM Kiadóház, Budapest. 1-147.
- Manning, J. V.-Fenster, C. R. (1983): What is conservation tillage? Special ed. on Conservation Tillage. *J. Soil and Water Cons.* 38: 141-143.
- Mielke, L. N.-Doran, J. W.-Richards, K. A. (1986): Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Till. Res.* 7: 355-366.
- Pautian, K.-Cole, C. V.-Sauerbeck, D.-Sampson, N. (1998): CO₂ mitigation by agriculture: An overview, *Climatic Change* 40. 1: 135-162.
- Pielke, R. A. (1998): Climate prediction as an initial value problem. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 79. 2743-2746.
- Prentice, I. C.-Farquhar, G. D.-Fasham, M. J. R.-Goulden, M. L.-Heimann, M.-Jaramillo, V. J.-Khashgi, H. S.-Le Quéré, C.-Scholes, R. J.-Wallace, D. W. R. (2001): The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. In: Houghton, J. T.-Ding, Y.-Griggs, D. J.-Noguer, M.-Van Der Linden, P. J.-Dai, X.-Maskell, K.-Johnson, C. (eds.): *A Climate Change 2001 - The Scientific Basis, Contribution of WG I to the 3rd Assessment Report of IPCC.* 183-237. Cambridge University Press, Cambridge. New York.
- Rátonyi T. (1999): A talaj fizikai állapotának penetrométeres vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. PhD (doktori) értekezés, Debrecen.
- Reicosky, D. C.-Dugas, W. A.-Torbert, H. A. (1997): Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. *Soil Till. Res.* 41: 105-118.
- Reicosky, D. C.-Reeves, D. W.-Prior, S. A.-Runion, G. B.-Rogers, H. H.-Raper, R. L. (1999): Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. *Soil Till. Res.* 52: 153-165.
- Robock, A.-Schlosser, C. A.-Vinnikov, K. Y.-Speranskaya, N. A.-Entin, J. K. (1998): Evaluation of AMIP soil moisture simulations. *Global Planet. Change.* 19: 181-208.
- Schimel, J. P.-Gulledge, J. (1998): Microbial community structure and global trace gases. *Global Change Biol.* 4: 745-758.
- Soane, B. D. (1985): Traction and transport systems as related to cropping systems. *Proc. Int. Conf. Soil Dynamics, Auburn,* 5: 863-935.
- Stefanovits P. (1975): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Stefanovits P. (1981): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Stefanovits P.-Filep Gy.-Füleky Gy. (1999): Talajtan. 4. kiadás átdolg. változata. (Szerk.: Stefanovits P.). Mezőgazda Kiadó. Budapest. 131-49.
- Szabó I. M. (1992): A mikroorganizmusok aktivitásának szabályozása. A talajművelési eljárások, trágyázási és növénytermesztési rendszerek célszerű kombinációjával. In: Szabó I. M.: *Az általános talajtan biológiai alapjai.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 325-335.
- Szász G. (1963): A vízháztartás klimatikus tényezőinek vizsgálata Magyarországon. Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei. 49-71. Debrecen.
- Szlávik J.-Csete M. (2004): A fenntarthatóság érvényre jutása és mérhetősége települési-kisregionális szinten. *Gazdálkodás, XLVIII.* 4: 10-28.
- Tamás J. (2001): *Precíziós Mezőgazdaság.* Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- Tóth, E.-Koós, S. (2006): Carbon dioxide emission measurements in a tillage experiment on chernozem soil. *Cereal Research Communications.* 34. 1: 331-334.
- Tracy, P. W.-Westfall, D. G.-Elliott, E. T.-Peterson, G. A.-Cole, C. V. (1990): Carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 457-461.
- Trumbore, S. E. (1997): Potential responses of soil organic carbon to global environmental change. *Colloquium Paper in Proc. Nat. Acad. Sci.* 94: 8284-8291.
- Unger, P. W. (1984): Tillage and residue effects on wheat, sorghum, and sunflower grown rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 885-891.
- Várallyay Gy. (2000): Talajfolyamatok szabályozásának tudományos megalapozása. In: „Székfoglalók”. Magyar Tudományos Akadémia. Budapest. 1-32.
- Wang, G.-Eltahir, L. A. B. (2000): Ecosystem dynamics and the Sahel drought. *Geophys. Res. Lett.* 27: 795-798.
- Zsembeli J. (2006): Fizikai és biológiai talajállapot-javítás. In: *Földművelés és földhasználat (szerk: Birkás M.) Mezőgazda Kiadó, Budapest.* 284-289. ISBN 963 286 2384.
- Zsembeli, J.-Tuba, G.-Juhász, Cs.-Nagy, I. (2005): CO₂-measurements in a soil tillage experiment. *Cereal Research Communications* 33. 1: 137-140.
- Agricultural Research Service (1981): Report of the Soil Erosion-Soil Productivity Research Planning Workshop, Fayette, Indiana. U.S. Dept. Agr., Washington D. C.