

Húszt éves avarmanipulációs kísérlet hatásai barna erdőtalaj szén tartalmára és vízkapacitására: Síkfőkút DIRT Project

¹FEKETE István, ²BÉNI Áron, ³JUHOS Katalin, ³*KOTROCZÓ Zsolt

¹Nyíregyházi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Nyíregyháza, Magyarország,
²Debreceni Egyetem, Agrokémiai és Talajtani Intézet, Debrecen, Magyarország,
³Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrárkörnyezettani Tanszék, Budapest, Magyarország

(Beérkezett: 2022.08.12.; Elfogadva: 2022.10.19.)
(Online megjelent: 2022.11.07.)

Bevezetés

A talajok – közvetlenül az óceánok után – Földünk második legnagyobb természetes szén (C) elnyelői (HOUGHTON, 2007), szén tárolási kapacitásuk meghaladja a növényzetét. Az autotróf élőlények által a szárazföldön megkötött légköri szén-dioxid (CO₂) jelentős része végső soron bennük raktározódik. Mindezekből következik, hogy a talajok globálisan is a szénforgalom fontos résztvevői, amelyek körülbelül két és félszer annyi szenet tartalmaznak, mint amennyi a vegetációban található (és többet, mint a növényzet és a légkör együttesen) (FIELD & RAUPACH, 2004; LAL, 2004; OELKERS & COLE, 2008). A szénáramlás a talajok és a légkör között igen jelentős. A talaj légzése által a légkörbe kerülő CO₂ mennyisége csaknem 10-szerese mint amennyi a fosszilis tüzelőanyagok égetésével keletkezik (RAICH & SCHLESINGER, 1992; BODEN et al., 2009). Így a talaj szerves szén (SOC) forgalmának változása jelentősen befolyásolhatja a globális C ciklust.

A talajokban történő lebontó, illetve a SOC felhalmozódását befolyásoló folyamatok vizsgálata segíti annak megértését és előre jelzését, hogy a különböző eredetű változások, hogy alakítják a talajok szerves anyag, illetve részben ehhez kötődően a tápelem raktározó képességét. Továbbá azt, hogy a talajokban raktározott szerves eredetű szén, mennyire aktívan vesz részt a szénkörforgalomban, illetve ennek révén milyen gyorsan kerül vissza a légkörbe. Rendkívül fontos lenne mélyrehatóbban megismerni azokat a kapcsolódási pontokat, melyek befolyásolják az éghajlatnak, a növényzetnek és a talajoknak az egymásra hatását, viszonyrendszerét.

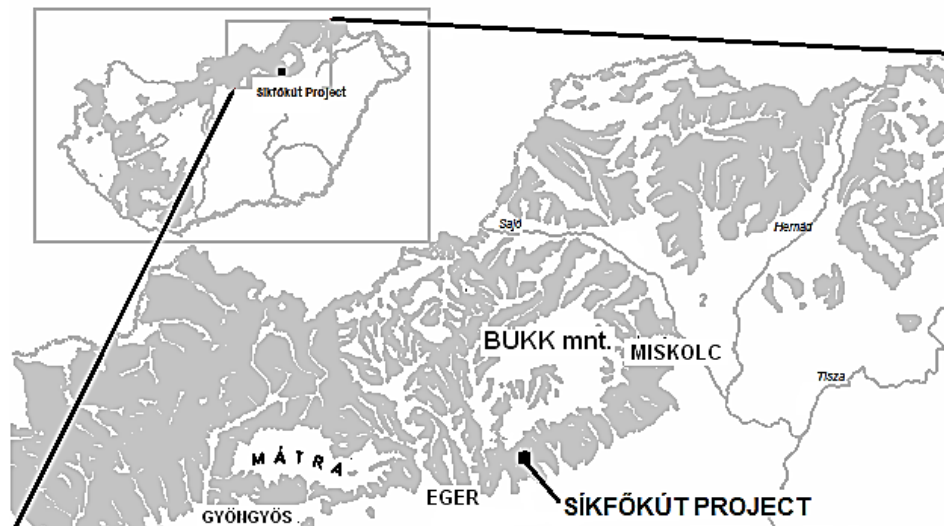
Számos antropogén hatás befolyásolhatja a talajokra, illetve talajokba jutó szerves anyag bemenet mértékét (pl. erdőgazdálkodás, mezőgazdasági művelés, klímaváltozás). Ezek a folyamatok szerteágazóan hatnak a legkülönbözőbb talaj folyamatokra (KOTROCZÓ et al., 2017). 2000-ben, a nemzetközi DIRT (*Detritus Input and Removal Treatments*) hálózat részeként alapított Síkfőkút DIRT Project kutatóterületen az avar bevitel jelentős befolyásolásával, eltérő talajkörnyezeti viszonyokat teremtettünk (NADELHOFFER et al., 2004; KOTROCZÓ & FEKETE, 2020;

*Levelező szerző: KOTROCZÓ ZSOLT, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agrárkörnyezettani Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.; FEKETE ISTVÁN, Nyíregyházi Egyetem, Környezettudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31. b.
E-mail: kotroczo.zsolt@gmail.com; fekeisteistani@gmail.com

JUHOS et al., 2021). Ennek segítségével jól vizsgálhatók az egyes avar típusok (levél-, ág- és gyökérvár), illetve az élő gyökerek egymástól függetlenné tett hatásai az alkalmazott kezelések talajainak fizikai, kémiai, biokémiai, és biológiai viszonyaira. A továbbiakban azokat a vizsgálatokat mutatjuk be, melyek a különböző avar kezelések SOC-re gyakorolt hatásával foglalkoznak. Ezen belül főleg azt vizsgáljuk, hogy hogyan megy végbe a szerves szén körforgása, raktározása a talajokban, hogy ezáltal könnyebben felmérhessük mennyire sebezhető ez a rendszer az éghajlatváltozás és a földhasználat változások hatásaira reagálva. A 22 éves Síkfőkút DIRT területen végzett kutatások során egyedülálló lehetőség adódott a visszatekintésre, korábbi vizsgálatok bizonyos időközönkénti megismétlésére, illetve az így kiegészülő adatsorok hosszú távú elemzésére.

A kutatás során a következő két kérdésre kerestük a válaszokat: (i) Az eltérő avar input, illetve az ehhez kapcsolódó minőségi- és mennyiség változások milyen hatással vannak a talajok szénraktáira? (ii) Milyen hatással van az avar bevitel változása a talajban megfigyelhető „priming hatásra” az eltérő éghajlatú területeken? A priming hatás során az új talajszén bevitel serkenti a régi talajszén lebomlását, tehát a növekvő avar produkció nem növeli a talajok szén tartalmát, hanem időlegesen csökkenti.

A vizsgálatokat az tette különösen izgalmassá, hogy a priming hatás miatt a magyar DIRT területeknél lényegesen nedvesebb amerikai DIRT kutatóhelyek azonos avar kezelésű talajai lényegesen eltérő módon reagáltak a kezelésekre, mint ahogy azt az előzetes eredmények alapján Síkfőkúton vártuk. Kutatásaink során ezekre az eltérésekre is igyekeztünk választ találni.



1. ábra
Síkfőkút DIRT project elhelyezkedése

Anyag és módszer

A Síkfőkút Project 27 hektáros területe a Bükk hegység déli részén 325 méteres átlag magasságban helyezkedik el. GPS-es koordinátái é.sz. 47,9268°; k.h. 20,4433° (*l. ábra*). A terület 1976-óta védett, természetvédelmi kezelője a Bükki Nemzeti Park. Az átlagos évi csapadék mennyiség 590 mm. A talaj pH-ja: pH_{H2O}: 6,1 és 5,6 között volt a vizsgált szelvények 0–15 cm-es, és 5,5 illetve 5,4 között a 15–30 cm-es rétegében (SWITONIAK et al., 2014). A területen található talajok FAO osztályozás szerinti típusa Chromic Protovertic Luvisols (Clayic, Cutanic) (SWITONIAK et al., 2014; JUHOS et al., 2021) és Protovertic Endostagnic Abruptic Luvisols (Clayic, Cutanic) (FAO, 2014), melyen cseres-tölgyes erdő (*Quercetum petraeae-cerris* társulás) található (JAKUCS, 1985).

1. táblázat

A DIRT (*Detritus Input and Removal Treatments*) parcellák kezelése

A kezelés elnevezése	Leírás
Kontroll (K)	Normál avar input, nincs külső beavatkozás.
Nincs Avar (NA)	A talaj feletti avar eltávolítjuk a parcelláról. Az avar eltávolítása gereblyézéssel történik, egész évben folyamatosan.
Dupla Avar (DA)	A talaj feletti lombavart megduplázzuk annak az avarnak a felhasználásával, amelyet a NA kezeléssel távolítottunk el. Az avar áthordása folyamatosan történik egész évben.
Dupla Fa (DF)	A talaj feletti fa inputot ágdarabok hozzáadásával megduplázzuk. A területre jellemző átlagos fa produkcióval számolunk.
Nincs Gyökér (NGY)	A parcellákat 40 cm széles és 1 m mély árokkal körbe árkoztuk. A kiásott talajt a parcellán kívül helyeztük el, törekedve arra, hogy ne ériék zavaró hatások a parcella területét. A kiásott árokba gyökérálló 1 m széles Delta MS 500 típusú kb. 0,6 mm vastagságú, nagysűrűségű polietilén lemezt helyeztünk, a gyökerek kívülről történő benövésének megakadályozására, majd az árokat visszatemetjük. A gyökérvár produkció kizárására a parcellák növényzetét folyamatosan eltávolítjuk (a cserjéket az alapításkor kivágtuk), majd időről időre a lágyszárúakat is elpusztítjuk a területen Medallonnal permetezve (hatóanyag: 480 g l ⁻¹ glifozát-ammonium) A parcella körüli fákról származó lombavár produkciót a helyszínen hagyjuk.
Nincs Input (NI)	A föld feletti avar inputot kizárjuk, mint a NA kezelés esetében. A földalatti gyökérvart kizárjuk, mint a NGY kezelés esetében.

A DIRT projekt keretében, melyet 2000 novemberében alapítottunk, 6 avar kezelést alkalmaztunk 3 ismétlésben (*l. táblázat*). A 7×7 m-es nagyságú parcellákat random módon jelöltük ki a Síkfőkúti erdő területén belül, egymástól 5–10m távolságra. A talajmintákat 20 mm-es átmérőjű Pürckhauer (1175/1000 mm, Bürkle

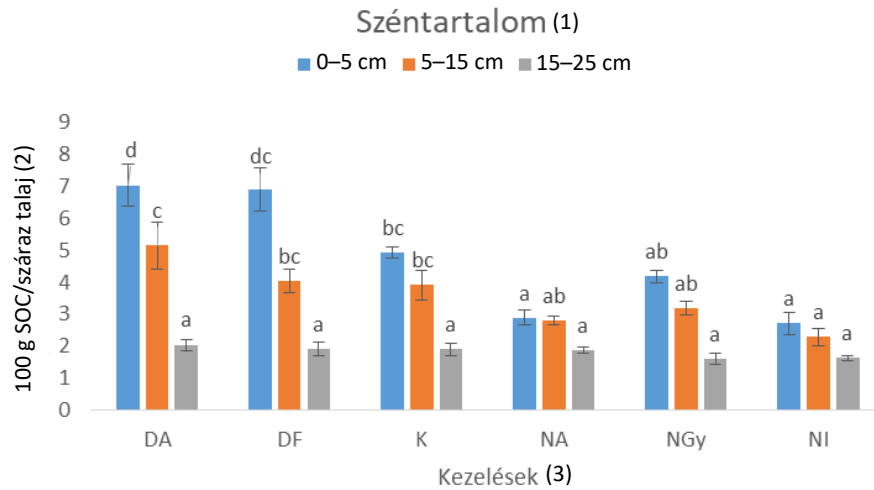
GmbH) talajmintavevővel vettük parcellánként 5 ponton. A vizsgálatokat megelőzően az egy parcelláról származó mintákat homogenizáltuk, 2 mm-es lyukátmérőjű szitán átszitáltuk, illetve a látható méretű növényi törmelékeket csipesszel eltávolítottuk, majd ezeknek a homogenizált mintáknak a háromszoros ismétléssel végzett vizsgálatával kiszámoltuk az adott parcellák talajainak szén tartalmát. A három azonos kezelésű parcella szén tartalmának átlaga adta a kezelések értékeiket. A vizsgálatokat CNS analízátorral (VarioMax CN analyser, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany) végeztük. Az eredmények között szereplő legújabb széntartalom mérés adatokat, a 2020. október 19-én vett minták vizsgálata során nyertük. Ezeket az eredményeket hasonlítottuk össze a projekt első 8 évében vett talajminták széntartalom adataival melyeket már korábban publikáltuk (FEKETE et al., 2014). A talajok térfogattömegét 100 cm³ térfogatú bolygatatlan talajminták segítségével határoztuk meg. A bolygatatlan mintákat 0–5, 5–15 és 15–25 cm-es rétegekből vettük, amelyeket 105 fokon kiszárítottunk, és a száraz tömeg és a térfogat hányadosát számítottuk ki (térfogattömeg). Ezt követően a mintákat a szabadföldi vízkapacitás méréséhez teljesen telítettük, majd száraz homokágyon hagytuk, hogy a gravitációs víz eltávozzon (pF ~2,5). Az így visszamért talajnedvesség-tartalommal jellemeztük a parcellák víztartó képességét. A talajok nedvességtartalmát úgy határoztuk meg, hogy a mintagyűjtést követően ismert mennyiségű nedves talajt szárítószekrénybe helyeztük, 105°C-on tömegállandóságig szárítottuk, újra mértük, majd a nedves és száraztömeg ismeretében számoltuk ki a nedvességtartalom értékeket. A nedvességtartalom vizsgálatához 2014–2020 között, 17 különböző időpontban vettünk mintákat; a kapott értékek ezek átlagát mutatják.

Alkalmazott statisztikai módszerek

A kezelések közötti statisztikai különbségeket egyszempontos varianciaanalízis (One-way analysis of variance) alkalmazásával értékeltük (a feltételezéseket a varianciák homogenitására Levene teszttel vizsgáltuk, míg a normalitást Chi-négyzet teszttel).

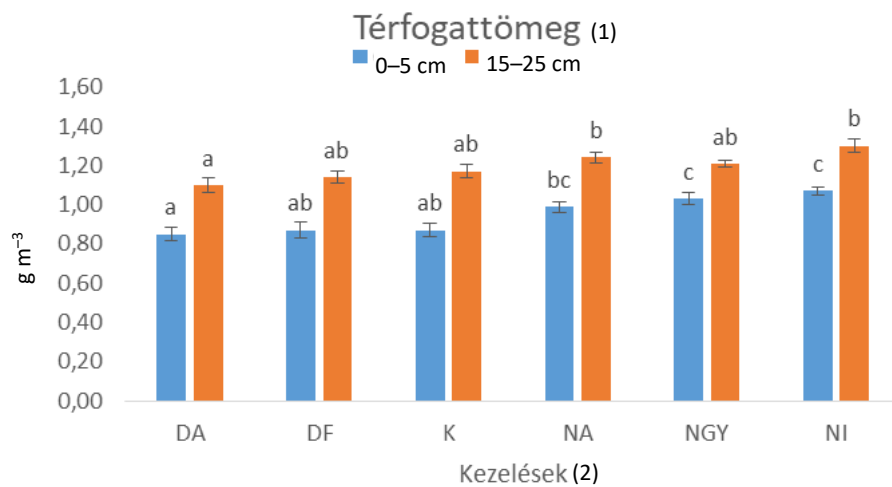
Eredmények

A parcellák létesítése után 20 évvel végzett SOC vizsgálatok a kezelések közötti különbségek csökkenését mutatták a talajmélység növekedésével. A felső 5 cm-es rétegben (ami az avartakaró alatti ásványi talaj felső 5 cm-ét jelenti) a DA kezelés talajainak SOC tartalma szignifikánsan magasabb értéket mutat nemcsak az avar elvonásos kezelések (NA, NGY, NI), de még a K talajainak SOC tartalmától is (42%-al). Ebben a rétegben a DF csak az avar elvonásos kezeléseknél rendelkezik szignifikánsan magasabb értékekkel. Az 5–15 cm-es rétegben már csak a DA mutat magasabb SOC értéket, mint az összes avar elvonásos kezelés. A DF és a K már csak a NI-nál rendelkezik szignifikánsan magasabb értékkel, míg a legmélyebb (15–25 cm-es) rétegben nincs szignifikáns különbség a kezelések SOC tartalma között (2. ábra).



2. ábra

A húsz éves DIRT kezelések talajainak szerves szén (SOC) tartalom értékei (m/m%-ban) 2020. október 19-ei mintavétel alapján. Az eltérő betűjelzések a kezelések közötti szignifikáns különbségeket mutatják



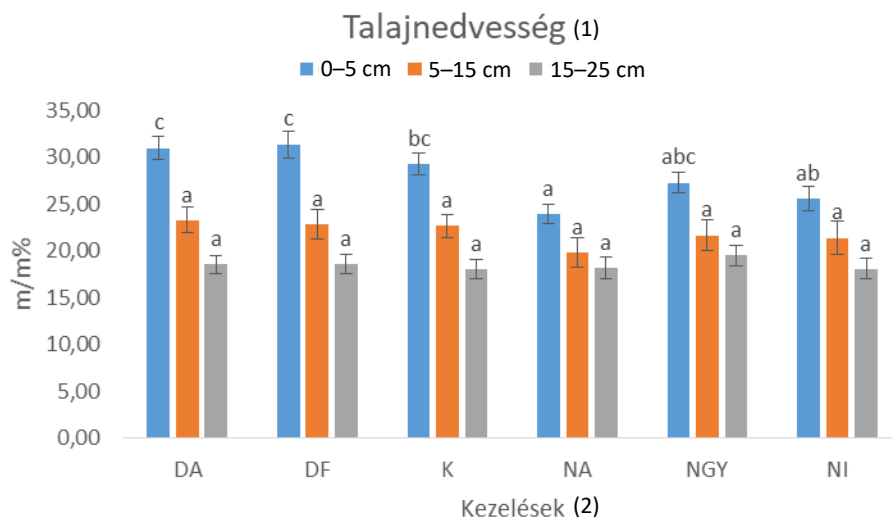
3. ábra

A DIRT kezelések talajainak térfogattömeg értékei (g cm^{-3}). Az eltérő betűjelzések a kezelések közötti szignifikáns különbségeket mutatják

A térfogattömegek értékek esetében pont fordított a helyzet. Az avar elvonásos kezelések mutatnak nagyobb értékeket, míg a legalacsonyabb értékeket, mind a két vizsgált mélységben a DA kezelésnél mértük (3. ábra).

A talaj nedvesség-tartalom esetében csak a legfelső rétegben tapasztaltunk szignifikáns különbségeket. Itt a duplázásos kezelések (DA, DF) a parcellák létesítését követő 14–20 év közötti időszakban szignifikánsan magasabb értéket mutattak a felszíni avart nem tartalmazó (NA, NI) kezeléseknél, de a K is magasabb értékkel bírt, mint a NA kezelés, mely a legalacsonyabb értéket mutatta. A DF és a DA kezelések talajainak nedvesség tartalma 29–30%-al voltak magasabbak, mint a NA-é (4. ábra).

A vízmegtartó képesség nagyjából hasonló mintázatot mutatott (5. ábra), mint a talajnedvesség és a SOC és pont fordítottat, mint a térfogattömeg, mely a köztük lévő összefüggéseket sugallja.



4. ábra

A DIRT kezelések talajainak nedvesség értékei (m/m%-ban) 2014–2020 között, 17 különböző időpontban vett minták vizsgálatai alapján. Az eltérő betűjelzések a kezelések közötti szignifikáns különbségeket mutatják

Eredmények értékelése

A növényzet változása hatással van az avar produkcióra is. Annak csökkenése a tápanyag visszapótlást akadályozhatja, illetve az avartakaró elvékonyodása révén a talajok mikroklimatikus viszonyait változtatja meg, melyek így nyáron melegebbé, télen hidegebbé válnak. Ezzel szemben az avar produkció növekedése tompítja az időjárási szélsőségek hatásait, ami egyaránt megjelenik a fagyos, illetve a 20°C-nál melegebb átlaghőmérsékletű napok számában, illetve a hóingás mértékében (SAYER, 2006; OGÉE & BRUNET, 2002; FEKETE et al., 2016). Korábbi eredményeink azt mutatták, hogy átlagosan évi 0,354 kg m⁻² száraztömegnyi levélavart a talaj átlagos téli lehűlését 1,1°C-kal, nyári felmelegedését és napi átlagos hóingását is

0,6°C-kal, míg az éves maximális hőingását 3,8°C-kal mérsékelte (FEKETE et al., 2016). Az avartakaró, az élő gyökérzet és a talajok hőmérséklete jelentős szerepet játszik a talajok nedvesség tartalmának alakulásában.

Avartakaró, SOC, talajnedvesség összefüggései a Síkfőkút DIRT Project vizsgálati során

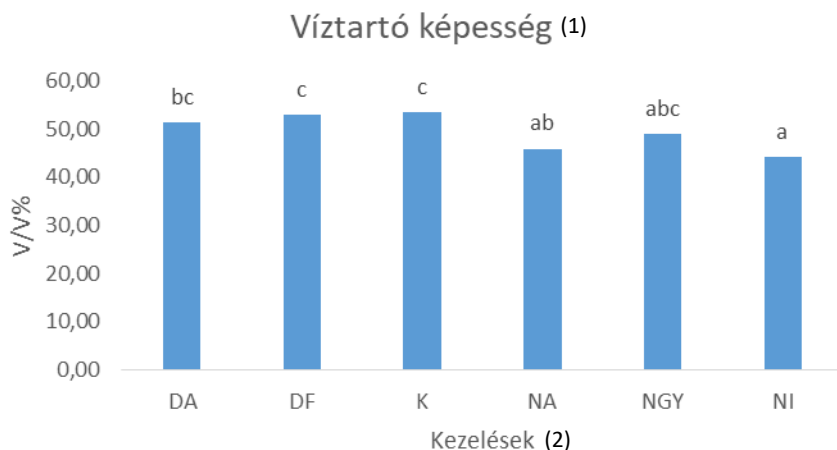
Az avartakaró kétféleképpen is hat a talajok nedvesség tartalmára. Egyrészt akadályozza a nedves talajok gyors párolgását szigetelő funkciója révén (DEUTSCH et al., 2010), másrészt az avar kisebb csapadék mennyiség esetén a víz jelentős részét megköti, akadályozva annak talajba jutását. KISS et al. (2013) szerint az erdei avar a saját tömegénél is jelentősen több vizet képes a csapadékból visszatartani, a kocsánytalan tölgyerdők esetében átlagosan 1,8 l m⁻²-es értéket mértek. Ez azt jelenti, hogy a DA parcellákon átlagosan akár 3,6 mm-nyi csapadékvíz is megkötődhet anélkül, hogy a talajt elérné. Továbbá fontos megjegyezni, hogy a vizsgálatok szerint az erdőségekben a 2 mm-nél kisebb csapadékvíz jellemzően nem jut át a lombkoronán sem (KUCSARA, 1996), így a K parcellák esetében közel 4 mm-es, míg a DA kezelésnél 5,6 mm-es csapadék értékekig a víz nem jut el a talajra (természetesen ez csak a száraz avar esetében igaz).

Bár a vizsgálati parcellákat ugyanannyi csapadék érte (azok egymáshoz való közelsége miatt) az eltérő avar input, illetve az élő gyökerek hiánya, vagy megléte miatt szignifikáns különbségeket tapasztaltunk a kezelések között. Azonban jelentős eltéréseket tapasztalhatunk, ha összehasonlítjuk a projekt első éveiben mért értékeket azokkal, melyeket a parcellák létesítése után 1,5–2 évtizeddel mértünk.

A kutatóterület alapítása utáni első 7 évben, különösen a nyári aszályos időszakban a NGY kezelés parcelláinak talajai jóval nedvesebbek voltak (a gyökerek nem szívták el a vizet a talajból, ugyanakkor az avartakaró akadályozta a párolgást), mint a többi kezelésé (FEKETE et al., 2016). A talajnedvesség a következő sorrendben csökkent a kezelések között a DIRT site alapítását követő 7 évében: NGY (33,5%), NI (30%), DF (24,8%), K (24,1%), DA (23,7%), NA (22%) (FEKETE et al., 2016).

14–20 évvel a parcellák létrehozása után megismételve a nedvesség tartalom vizsgálatokat, jelentős eltéréseket tapasztaltunk a kezelések talajainak összehasonlításakor (4. ábra). Ennek részben az lehetett az oka, hogy a NGY talajai elvesztették SOC készletük jelentős részét, ami csökkenti a talajok vízmegtartó képességét (ZHANG et al., 2021) (5. ábra). A 2020-as vizsgálatnál a DA-nál a 64%-kal magasabb széntartalmat mértünk, mint a NGY-nél. Az avar elvonásos kezelések talajainak szignifikánsan nőttek a térfogattömeg értékeik (3. ábra), ami a talajokban lévő kapillárisok számának, illetve méretének csökkenését mutathatja és ezzel párhuzamosan természetesen a vízkapacitási értékek is csökkentek vizsgálataink alapján. Mindezek a hatások összefüggésben lehetnek az avarelvonásos talajok szerves anyag (SOM) tartalom csökkenésével, mivel a SOM növekedése növeli a talajok vízmegtartó képességét (LAL, 2020; FUKUMASU et al., 2022). Továbbá a talajra jutó avar nemcsak a talaj SOM készletét növeli, de befolyással van a talajban élő állatok egyedszámára és aktivitására is, mely szintén hat a talaj pórusok számára

és így a talajok vízmegtartó képességére is (LEE & FOSTER, 1991; WOLTERS, 2000; LI et al., 2015; KOCSIS et al., 2018).



5. ábra

A DIRT kezelések talajainak víztartó képessége (WHC (V/V%)) (JUHOS et al., 2021 alapján). Az eltérő betűjelzések a kezelések közötti szignifikáns különbségeket mutatják a talajok felső 15 cm-es rétegében

A Síkfőkúti DIRT kezelések hatása a talajok szerves szén tartalmára (SOC)

A Síkfőkút DIRT site megalapítását követően több alkalommal is mértük a talajok széntartalom változását. Először az élő gyökér elvonásos kezeléseknél figyeltünk meg szignifikáns csökkenést a szén koncentrációban a talaj felső 15 cm-es rétegében. 2004-től kezdődően a kontrolltól szignifikánsan kisebb szén koncentráció értékeket mutattak a gyökér elvonásos kezelések. A felszíni avar hiányának hatásai csak később és kisebb mértékben jelentkeztek, mint a gyökérvár elvonás esetén. Ami a gyökérvár kiemelt szerepét bizonyítja a talajok szerves anyag tartalmának alakulásában. A NA-nál csak 2008-ban vált szignifikánsan kisebbé a szén koncentráció, mint a kontrollnál. Ebben az évben a kontroll kezelés a NI-nál 32%-kal, a NGY-nél 23%-kal, míg a NA-nál 19%-kal nagyobb, a DA-nál 12%-kal, a DF-nál pedig 6%-kal kisebb a szén koncentrációt mutatott. A különbségek azonban a dupla avar kezelések és a kontroll között nem voltak szignifikánsak a vizsgált felső 15 cm-es rétegben, ami azt mutatta, hogy az avar produkció csökkenése nagyobb változásokat okoz a talaj szén koncentrációjában, mint a növekedése. A 2020-as vizsgálatnál, a DA már szignifikánsan magasabb értéket mutatott, mint a K, a felső 5 cm-es rétegben, sőt a felső 15-ben is (de az 5–15 cm-ben magában vizsgálva már nem) ami szintén a pluszban jelentkező éves avar mennyiség lassabban érvényesülő hatását mutatja a talajok szén tartalmára.

A klimatikus, illetve mikroklimatikus hatások figyelembe vétele a talajok szénforgalmára azért is fontos, mivel jelentősen befolyásolják a mikrobiális aktivitást

és ezen keresztül a lebontó folyamatokat (BÉNI et al., 2017), így a talajban tárolt szén mennyiségét is (SULZMAN et al., 2005). A SOC felhalmozódása és a talaj lélegzése, egymástól függő, párhuzamosan működő folyamatok, ahol a környezeti feltételek (leginkább a klíma, az érintett szerves vegyületek minőségi paraméterei és a talajkörnyezet fizikai – kémiai jellege) döntik el, hogy a talajlélegzés intenzitásának alakulása, vagy a SOC mennyiségi változása lesz a domináns válasz az avar input változásokra. Kiinduló hipotézisünk szerint a szárazabb síkfőkúti talajokban az avar input növekedése inkább a SOC felhalmozódását indukálja és nem a talajlélegzést, szemben a síkfőkútinál jóval csapadékosabb amerikai DIRT területeken tapasztaltakkal. Vizsgálataink igazolták ezeket a feltételezéseket. SULZMAN et al. (2005) jelentős „priming hatás”-t (a talajba kerülő megnövekedett szerves anyag input által gerjesztett intenzív SOM lebontás) észlelt a H.J. Andrews DIRT kutatóterületen. Vizsgálataink szerint az avar produkció növelése olyan mértékben megnövelte a talajlélegzést, hogy ennek következtében a dupla avar parcellákban csökkent a talaj szerves anyag tartalma a kontrollhoz képest (KOTROCZÓ et al., 2020). CROW et al. (2009) is megerősítette ezeket az eredményeket, kimutatta, hogy a lignin bomlása a DA kezeléseknél gyorsabb, mint a kontrollnál a nedvesebb amerikai területek esetében. CROW et al. (2009) szerint a síkfőkútinál szignifikánsan nedvesebb és hűvösebb, a H.J. Andrews-nál magasabb nitrogén tartalmú lombhullató Bousson Forest-ben sem nő a felszíni avar input növekedésével együtt a talaj szén tartalma, míg a talajlélegzés igen. Eredményeink azt mutatták, hogy a H.J. Andrews-nál nitrogénben jóval gazdagabb, ugyanakkor mindkét említett amerikai kutatóterületnél szignifikánsan szárazabb kelet-közép-európai lombhullató erdőkben a priming nem észlelhető (legalábbis nem okoz a kontrollhoz képest SOC csökkenést a dupla avar kezelése talajaiban, hanem enyhe növekedést tapasztaltunk az évek folyamán). Az ásványi talajszint (az avar törmelék alatti A szint) felső 5 cm-es szintjében 8 évvel a parcellák létesítése után szignifikánsan magasabb szén koncentrációt mértünk a DA talajaiban, mint a kontrollban. Ugyanakkor a korábbi (a projekt első 8 évében) méréseink szerint szén-dioxid kibocsátás a kontroll esetén enyhén nagyobb, különösen a nyári időszakban (11 %-kal), mint a DA kezelésnél, de ez a különbség nem szignifikáns $p \leq 0,05$ mellett.

Következtetések

A fentiekből arra következtetünk, hogy az éghajlati sajátosságok erősen befolyásolják a talajra kerülő lombavar szén tartalmának további útját, meghatározva azt, hogy a mineralizáció, vagy a SOC felhalmozódás folyamatai erősödnek-e fel. A nagyobb avar produkció olyan szintre emelheti a lebontó folyamatok sebességét, mely csökkenti a talajban lévő szénkészlet mennyiségét is, ez az ún. priming hatás mutatkozott a nedvesebb klímájú amerikai DIRT kezelésű erdőterületeken. Ezzel szemben a szárazabb Síkfőkúti Kutatóerdőben a nagyobb avar produkció nem tudta olyan szintre emelni a lebontó folyamatok sebességét, ami a talaj szénkészletét csökkentette volna, ehelyett egy enyhe és lassú szén tartalom emelkedést mértünk az avar duplázásos kezelése talajaiban. Ezek a vizsgálatok bizonyítják, hogy még az olyan széles körben elfogadott folyamatok, mint a priming hatás sem univerzális és

a külső környezeti feltételek, jelen esetben a klíma, képes teljesen kioltani ezt a hatást is. Vizsgálataink azt is bizonyították, hogy az adott talajtípuson és ökológiai környezetben az avar produkció változása már néhány (20) év alatt képes nemcsak a talajok szén tartalmát, de a vízgazdálkodását is jelentősen átalakítani, kedvezőbb körülményeket teremtve mind a talajélet, mind a területen növekvő növényzet számára. Mindezek a változások, amiket az avar duplázásos kezeléseknél tapasztaltunk, segítik a klímaváltozással szembeni rezisztencia növelését, növelve a terület vízmegtartó képességét és így csökkentve a szárazság stressz okozta problémákat. Ezzel szemben az avar elvonásos kezeléseknél talajainál, melyek körülményeiket tekintve több szempontból is a hagyományos szántóföldi gazdálkodásnál is jelentkező körülményeket modelleznek, jelentősen csökkenő szerves széntartalmat és ezzel szoros összefüggésben romló vízgazdálkodási viszonyokat tapasztaltunk.

Összefoglalás

A talajok a szárazföldi széntároló rendszerek egyik legjelentősebb tagját jelentik, melyek szénelnyelése, illetve szénkibocsátása jelentős mértékben hat a klímára, ugyanakkor a klímaváltozás is befolyásolja a talajok szénraktározó képességét. Az avar produkció mennyiségi és minőségi változásai jelentősen befolyásolják ezeket a folyamatokat, azonban ezek mértéke, sőt időnként iránya sem ismert pontosan.

A klímaváltozás mellett a területhasználat változások is befolyásolják a talajba kerülő szerves anyagok mennyiségét és ezen keresztül számos egyéb talajfizikai, kémiai és biológiai paramétert. Ezeknek a hatásoknak a rendszerszintű vizsgálatát segítik a nemzetközi avarmanipulációs projektek, melyek azonos kezeléseket alkalmazva, de eltérő klímaviszonyok mellett vizsgálják a mesterségesen átalakított avar inputok hatását a talajrendszerekre. A Síkfőkút project területén, mely 2000-ben csatlakozott a nemzetközi DIRT projecthez, vizsgáltuk az avar input növekedésének és csökkenésének hatásait egy cseres tölgyes erdőben a talajok szén körforgalmára, illetve a vízháztartására. Ezekben a kutatásokon belül vizsgáltuk a kezeléseknél talajaiban a talajnedvesség tartalmát, vízkapacitást és térfogatsűrűséget, valamint CNS analízissel a talajok szerves szén tartalmát.

Eredményeink azt mutatták, hogy az avar produkció mennyiségi változása, éghajlati viszonyoktól függően, eltérően hat a talajok SOC tartalmának változásaira. A kezeléseknél modellezett avar produkció változások nemcsak közvetlen úton hatnak a talajok szerves anyag tartalmára, de közvetett módon a megváltozott mikroklímatis viszonyok révén is befolyásolják a talajok szén és vízforgalmi viszonyait. A nagyobb avar produkció a szárazabb síkfőkúti erdőben növelte a talajok szén tartalmát (szemben a nedvesebb amerikai területeken tapasztalt visszaeséssel, vagy stagnálással) és magasabb szerves anyag tartalom társulva a vastagabb avartakaróval magasabb átlagos talajnedvességet és vízmegtartó képességet eredményezett az avar elvonásos kezeléseknél szemben. Ezek a hatások összefüggésben lehetnek azzal is, hogy az avar elvonásos kezeléseknél szignifikánsan

magasabb térfogatömeg értékeket mértünk, ami a pórustérfogat csökkenését jelentheti ebben az esetben, csökkentve ezzel a talajban tárolható víz mennyiségét.

Az általunk végzett avarmanipulációs kísérletek nemzetközi kontextusában közelebb juthattunk a biogeokémiai ciklusok, ezáltal a mineralizáció és a humifikáció közötti összefüggések megértéséhez különböző erdőtípusokban és különböző klimatikus feltételek között.

Kulcsszavak: talajbiológia, talaj szerves szén (SOC), talajnedvesség, talaj mikroklíma, priming hatás

Köszönetnyilvánítás: A kutatómunkát a Nyíregyházi Egyetem Tudományos Tanácsa támogatta.

Irodalom

- BÉNI Á., LAJTHA K., KOZMA J., FEKETE I., 2017. Application of a Stir Bar Sorptive Extraction sample preparation method with HPLC for soil fungal biomass determination in soils from a detrital manipulation study. *Journal of Microbiological Methods*. **136**. 1–5.
- BODEN, T.A., MARLAND, G., ANDRES, R.J., 2009. Global, regional, and national fossil-fuel CO₂ emissions: Oak Ridge, TN: Carbon Dioxide Information Analysis Center, ORNL. <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview2006.html>
- CROW, S.E., LAJTHA, K., FILLEY, T.R., SWANSTON, C.W., BOWDEN, R.D., CALDWELL, B.A., 2009. Sources of plant-derived carbon and stability of organic matter in soil: implications for global change. *Global Change Biology*. **15**. 2003–2019.
- DEUTSCH E.S., BORK E.W., WILLMS W.D., 2010. Soil moisture and plant growth responses to litter and defoliation impacts in Parkland grasslands. *Environment*. **135**. 1–9.
- FAO, 2014. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- FEKETE I., KOTROCZÓ Z., VARGA C., NAGY P.T., VÁRBÍRÓ G., BOWDEN R.D., TÓTH J.A., LAJTHA K., 2014. Alterations in forest detritus inputs influence soil carbon concentration and soil respiration in a Central-European deciduous forest. *Soil Biology and Biochemistry*. **74**. 106–114.
- FEKETE I., VARGA C., BIRÓ B., TÓTH J.A., VÁRBÍRÓ G., LAJTHA K., SZABÓ G., KOTROCZÓ Z. 2016., The effects of litter production and litter depth on soil microclimate in a central european deciduous forest. *Plant and Soil*. **398**. 291–300.
- FIELD, C.B., RAUPACH, M.R. (Eds.), 2004. The global carbon cycle: Integrating humans, climate, and the natural world. Washington, DC, Island Press.
- FUKUMASU J., JARVIS N., KOESTEL J., KÄTTERER T., LARSBO M., 2022. Relations between soil organic carbon content and the pore size distribution for an arable topsoil with large variations in soil properties. *European Journal of Soil Science*. **73**. e13212.
- HOUGHTON, R.A., 2007. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. **35**. 313–347.
- JAKUCS, P. (Ed.), 1985. Ecology of an Oak Forest in Hungary I. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- JUHOS K., MADARÁSZ B., KOTROCZÓ Z., BÉNI Á., MAKÁDI M., FEKETE I., 2021. Carbon sequestration of forest soils is reflected by changes in physicochemical soil indicators – a comprehensive discussion of a long-term experiment on a detritus manipulation. *Geoderma*. **385**. 114918.

- KISS K.A. (ZAGYVAINÉ), KALICZ P., GRIBOVSKI Z., 2013. Az erdei avar tömege és víztartó képessége közötti összefüggés. *Erdészeti Közlemények*. **3**. 79–88.
- KOCSIS T., BIRÓ B., KOTROCZÓ Z., 2018. Time-lapse effect of ancient plant coal biochar on some soil agrochemical parameters and soil characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*. **25**. 990–999.
- KOTROCZÓ Z., BIRÓ B., KOCSIS T., VERES Z., TÓTH J.A., FEKETE I., 2017. Hosszú távú szerves anyag manipuláció hatása a talaj biológiai aktivitására. *Talajvédelem*. **2017** (Különszám) 73–83.
- KOTROCZÓ Z., FEKETE I., 2020. Significance of soil respiration from biological activity in the degradation processes of different types of organic matter. *DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture, and Energy*. **1**. (2) 171–179.
- KOTROCZÓ Z., JUHOS K., BIRÓ B., KOCSIS T., PABAR S.A., VARGA C., FEKETE I., 2020. Effect of detritus manipulation on different organic matter decompositions in temperate deciduous forest soils. *Forests*. **11**. 675.
- KUCSARA M., 1996. Csapadék és lefolyás erdészeti kisvízgyűjtőn. Doktori értekezés, Sopron.
- LAL R., 2004. Soil carbon sequestration impact on global climate change and food security. *Science*. **304**. 1623–1627.
- LAL R., 2020. Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*. **112**. 3265–3277.
- LEE K.E., FOSTER R.C., 1991. Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*. **29**. 745–775.
- LI X., YIN X., WANG Z., FAN W., 2015. Litter mass loss and nutrient release influenced by soil fauna of *Betula ermanii* forest floor of the Changbai Mountains, China. *Applied Soil Ecology*. **95**. 15–22.
- NADELHOFFER, K., BOONE, R., BOWDEN, R.D., CANARY, J., KAYE, J., MICKS, P., RICCA, A., MCDOWELL, W., AITKENHEAD, J., 2004. The DIRT experiment. In: FOSTER DR, ABER DJ. (eds.) *Forests in Time*. Yale University Press, Michigan.
- OELKERS, E.H., COLE, D.R., 2008. Carbon dioxide sequestration: a solution to the global problem. *Elements*. **4**. 305–310.
- OGÉE J., BRUNET Y., 2002. A forest floor model for heat and moisture including a litter layer. *Journal of Hydrology*. **255**. 212–233.
- RAICH, J.W., SCHLESINGER, W.H., 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. **44B**. 81–99.
- SAYER E.J., 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. **81**. 1–31.
- SULZMAN E.W., BRANT J.B., BOWDEN R.D., LAJTHA K., 2005. Contribution of aboveground litter, belowground litter, and rhizosphere respiration to total soil CO₂ efflux in an old growth coniferous forest. *Biogeochemistry*. **73**. 231–256.
- ŚWITONIAK M., CHARZYŃSKI P., NOVAK T.J., ZALEWSKA K., BEDNAREK R., 2014. Forested hilly landscape of Bükkalja Foothill (Hungary). In: *Soil Sequences Atlas*. Nicolaus Copernicus University Press, Torun. pp. 169–181.
- WOLTERS, V., 2000. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils*. **31**. 1–19.
- ZHANG Y.W., WANG K.B., WANG J., LIU C., SHANGGUAN Z.P., 2021. Changes in soil water holding capacity and water availability following vegetation restoration on the Chinese Loess Plateau. *Scientific Reports*. **11**. 1–11.

The effects of a twenty-year litter manipulation experiment on the carbon content and water retention capacity of the examined Luvisols: Síkfőkút DIRT Project

¹István FEKETE, ²Áron BÉNI, ³Katalin JUHOS, ^{3*}Zsolt KOTROCZÓ

¹University of Nyíregyháza, Nyíregyháza, Hungary, ²University of Debrecen, Debrecen, Hungary, ³Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Budapest, Hungary

Summary

Soils are one of the most important members of terrestrial carbon storage systems, whose carbon absorption and carbon emission significantly affect the climate, and at the same time, climate change also affects the carbon storage capacity of soils. Quantitative and qualitative changes in litter production significantly influence these processes, but their extent and sometimes even their direction are not exactly known.

In addition to climate change, changes in land use also affect the amount of organic matter entering the soil and, through this, many other soil physical, chemical and biological parameters. The systematic examination of these effects is facilitated by international litter manipulation projects, which examine the effects of artificially transformed litter inputs on soil systems using the same treatments but under different climate conditions. In the area of the Síkfőkút project, which joined the international DIRT project in 2000, we investigated the effects of the increase and decrease of the litter input in a deciduous oak forest on the soil carbon cycle and water balance. Within these researches, we examined the soil moisture, water capacity and bulk density in the soils of the treatments, as well as the organic carbon content of the soils with a CNS analyzer.

Our results showed that the quantitative change in litter production, depending on the climatic conditions, has a different effect on the changes in the SOC content of the soils. The changes in litter production modeled by the treatments not only directly affect the organic matter content of the soils, but they also indirectly influence the carbon and water circulation conditions of the soils through the changed microclimatic conditions. The higher litter production in the drier Síkfőkút forest increased the carbon content of the soils (compared to the decline or stagnation seen in the wetter American sites) and higher organic matter content combined with the thicker litter cover resulted in a higher average soil moisture and water retention capacity compared to the litter removal treatments. These effects may also be related to the fact that we measured significantly higher bulk density values in litter withdrawal treatments, which may mean a decrease in the pore volume in this case, thereby reducing the amount of water that can be stored in the soil.

In the international context of the DIRT litter manipulation experiments, we were able to get closer to understanding the relationships between biogeochemical cycles, and thus mineralization and longer-term carbon storage in different forest types and under different climatic conditions.

Keywords: soil biology, soil organic carbon (SOC), soil moisture, soil microclimate, priming effect

Tables and figures

Table 1. Treatments of DIRT (*Detritus Input and Removal Treatments*) plots

TREATMENTS	DESCRIPTION
Control (K)	Normal litter inputs. Average litter amount typical to the given forest site.
No Litter (NA)	Aboveground inputs are excluded from plots. Leaf litter was totally removed by rake. This process was replayed continuously during the year.
Double Litter (DA)	Aboveground leaf inputs are doubled by adding litter removed from NA plots.
Double Wood (DF)	Aboveground wood debris inputs are doubled by adding wood to each plot. Annual wood litter amount was measured by boxes placed to the site and its double amount of that was applied in the case of every DF plots.
No Roots (NGY)	Roots are excluded by inserting impervious barriers in backfilled trenches to the top of the horizon C. Root resistant plastic foil was placed into the plot in the depth of 1 m, hindering the roots developing outside of the plot. Trees and shrubs were eradicated when the plot was established, and plant roots decayed in time.
No Inputs (NI)	Aboveground inputs are excluded from plots, the belowground inputs are provided as in NGY plots. This treatment is the combination of NGY+NA plots.

Figure 1. Location of Síkfőkút DIRT (*Detritus Input and Removal Treatments*) Project

Figure 2. Organic carbon (SOC) content values (m/m%) of the soils of the twenty-years old DIRT treatments based on sampling on October 19, 2020. Different letters indicate significant differences between treatments. (1) Carbon content; (2) 100 g SOC/dry soil; (3) Treatments (see the abbreviations of *Table 1*)

Figure 3. Bulk density values (g cm⁻³) of the soils of the DIRT treatments. Different letters indicate significant differences between treatments. (1) Bulk density; (2) Treatments (see the abbreviations of *Table 1*)

Figure 4. Soil moisture values (% m/m) of DIRT treatments between 2014 and 2020, based on tests of samples taken at 17 different times. Different letters indicate significant differences between treatments. (1) Soil moisture; (2) Treatments (see the abbreviations of *Table 1*)

Figure 5. Soil water holding capacity (WHC (V/V%)) of DIRT treatments (based on JUHOS et al., 2021). Different letters indicate significant differences between treatments in the top 15 cm of soils. (1) Water holding capacity; (2) Treatments (see the abbreviations of *Table 1*)

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)
