

Talajlégzés vizsgálatok tartamhatású avarmanipulációs modellkísérletben

Kotroczó Zsolt¹, Krakomperger Zsolt², Veres Zsuzsa²,
Vasenszki Tamás¹, L. Halász Judit¹, Koncz Gábor^{2,3},
Papp Mária³ és Tóth János Attila²

¹Nyíregyházi Főiskola, Biológia Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út
31./B. E-mail: kotroczo@kotroczo-zsolt.hu

²Debreceni Egyetem, Ökológia Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

³Debreceni Egyetem, Növénytan Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

Összefoglaló: A Síkfőkút Project meteorológiai adatai azt mutatják, hogy az elmúlt évtizedekben az erdő melegebbé és szárazabbá vált és ezzel párhuzamosan a talaj éves átlaghőmérséklete is növekedett. Az avarmanipulációs (DIRT) (Detritus Input and Removal Treatments) modellkísérleteinkben a hőmérsékleti adatokat és a talaj széndioxid-kibocsátó kapacitását vizsgáltuk. A felmelegedési időszakban a melegebb talajban a szerves anyagok bomlása felgyorsul és így a talajból több CO₂ áramlik ki, ami tovább fokozhatja az üvegházhatást. Méréseink alapján megállapítottuk, hogy a talaj hőmérsékletének növekedésével a talaj CO₂-C kiáramlás minden általunk alkalmazott kezelésnél növekvő tendenciát mutat. Azok a kezelések különböztek szignifikánsan ($p < 0,05$) a kontrolltól, ahol teljesen megvontuk a talaj feletti és talaj alatti avar, illetve szervesanyag bejutást. Eredményeink azt mutatják, hogy a síkfőkúti cseres-tölgyes erdőben 2 °C-os talaj-átlaghőmérséklet emelkedés hatására 21%-os talajlégzés növekedés következik be. Ha a felmelegedés következtében csökken az erdők avarprodukciója, akkor a nyári időszakban, az erdőtalaj havi átlaghőmérséklete a felső 10 cm-es rétegben megközelítőleg 0,5–1 °C-al emelkedik, a téli időszakban pedig kb. 1 °C-kal csökken.

Kulcsszavak: erdőtalajok szerves-anyaga, CO₂, felmelegedés, széndioxid-kibocsátás, cseres-tölgyes erdő

Bevezetés

A melegedő klíma hatására a talajban a mikroorganizmusok és az általuk kibocsátott talajenzimek aktivitása növekszik (Fekete *et al.* 2007, Halász

et al. 2008, Krakomperger *et al.* 2008), ezáltal a szerves anyag lebontás intenzitása fokozódik (Kotroczó *et al.* 2008a, Varga *et al.* 2008). Ez pozitív visszacsatolásban tovább növelheti a légkör CO₂ tartalmát és a felmelegedést (Tóth *et al.* 2007). Az így bekövetkező nagyobb fokú szárazsággal járó globális klímaváltozás káros hatással lehet az erdőkre. Az a felismerés, hogy az avar jelentős szerepet játszik a talaj tápanyag utánpótlásában, az avarprodukciónál és az avarbomlással kapcsolatos tanulmányok nagy számát eredményezte. A talaj éghajlat-módosító hatására korábban kevés figyelmet fordítottak (Ács *et al.* 2005). Az éghajlatkutatók az éghajlati jelenségeket szinte kizárólag a légkörhöz kötötték. Az éghajlat és a talaj párhuzamos elemzése ugyan szokványos (Justyák & Szász 2001), de a talajnak az éghajlatra gyakorolt hatásával inkább csak érintőlegesen foglalkoztak. A talajba kerülő avar input minősége és mennyisége a különböző ökoszisztémákban nagymértékben változik és ennek jelentős meghatározója az erdő fajösszetétele is. Az erdő anyagforgalmi folyamataiban szerepet játszanak a klimatikus faktorok, a talaj élőlényei, amelyek együttesen hatnak a szerves anyagok mennyiségének csökkenésére. Ågren *et al.* (2003) eredményei alapján a klímakutatások által a század végére jósolt 2–4 °C-os hőmérséklet-emelkedés során a talajban végbemenő dekompozíció gyorsulni, a szén

1. táblázat. A Síkfőkúti cseres-tölgyes erdőben beállított, DIRT (*Detritus Input and Removal Treatments*) projectben alkalmazott kezelések és magyarázatuk

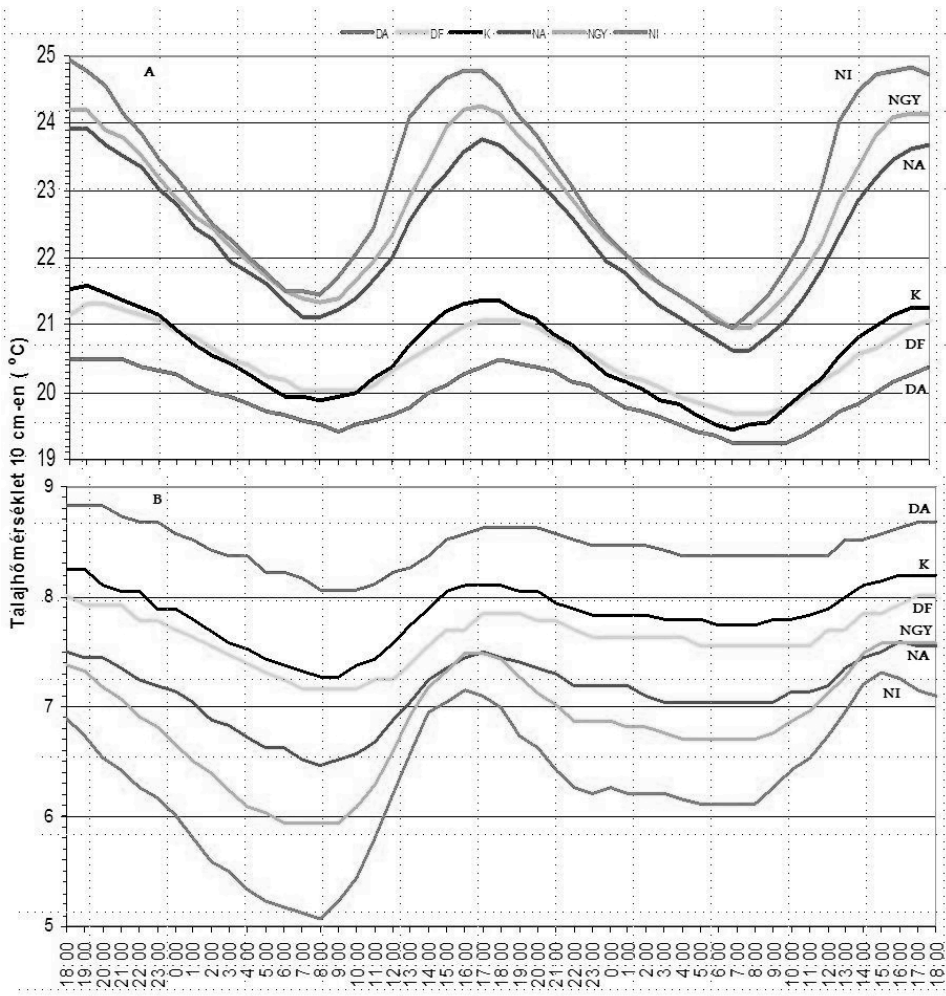
Kezelések és rövidítésük	A kezelések magyarázata
Kontroll (K)	Normál Avar input
Nincs Avar (NA)	A talaj feletti teljes avar inputot folyamatosan eltávolítjuk a parcelláról.
Dupla Avar (DA)	A talaj feletti avar megduplázzuk annak az avarnak a felhasználásával, amelyet a „Nincs Avar” parcellákról távolítottunk el.
Dupla Fa (DF)	A talajfeletti faavar inputot szét tört fadarabok hozzáadásával megduplázzuk.
Nincs Gyökér (NGY)	A gyökerek növekedését kizárjuk a parcellából egy 1 m mély gyökérálló fólia segítségével. A növényeket herbicides kezeléssel eltávolítjuk.
Nincs Input (NI)	A föld feletti avar inputot kizárjuk, mint a „Nincs Avar” kezelésnél, ill. a földalatti gyökér-biomasszát is, mint a „Nincs Gyökér” kezelésnél.

veszteségek pedig növekedni fognak. Ezért fontos azt vizsgálni, hogy az avar-input mesterséges megváltoztatása milyen módon befolyásolja a talaj hőmérsékletét, a talajban lévő szerves anyagok dinamikáját és ezen keresztül a talajlégzést, amely a talaj C-veszteségének legfontosabb meghatározója. A DIRT projekt célja annak feltárása, hogy a növényi avar minőségi és mennyiségi összetételének a megváltoztatása, tartam-hatásban, különböző klimatikus viszonyok között, hogyan hat a talaj szerves anyag akkumulációjára és dinamikájára.

Módszerek

Tartamhatású vizsgálatainkat a Bükk hegység déli részén, az Egertől 6 km távolságra ÉK-i irányban található Síkfőkút Projekt területén végezzük. Az erdőállomány (Quercetum petraeae-cerris) agyagbemosódásos barna erdőtalajon fejlődött, sarjeredetű, 100 év körüli cseres-tölgyes erdőtársulás (Jakucs 1973). A DIRT (Detritus Input and Removal Treatments) parcellákat 2000-ben állítottuk be. A hatféle kezelés esetében három-három párhuzamos parcellát alakítottunk ki, így összesen 18 db, 7×7 m-es modellparcella található a területen (1. táblázat). Az ILTER (International Long-Term Ecological Research) DIRT project keretében alkalmazott módszereket használtuk (Robertson *et al.* 1999). A talaj hőmérsékletének mérésére parcellánként 10 cm-es mélységben 1 db ONSET gyártmányú StowAway®TidbiT® típusú talajhőmérséklet-mérő adatgyűjtőket helyeztünk ki, melyek a talaj hőmérsékletét óránként rögzítik. A talajlégzés mérésére a nátronmész módszert (Grogan 1999, Raich *et al.* 1990) alkalmaztuk. A vizsgálatokat havonta végeztük parcellánként két méréssel. A talaj hőmérséklet és talajlégzés közötti összefüggés alapján számítható a Q_2 érték, melynek részletes leírása Boone *et al.* (1998) és Nadelhoffer *et al.* (2004) munkáiban olvasható. A Q_2 mutatja meg, hogy ha a század végére jósolt átlaghőmérséklet 2°C -kal emelkedne, akkor hány-szorosára növekedne a talajlégzés intenzitása. Az óránkénti talajhőmérséklet adatokból parcellánként kiszámoltuk a napi középhőmérsékleteket, és ezeket az értékeket egytényezős varianciaanalízissel hasonlítottuk össze. Ekkor a különböző kezelésű parcellák szén-dioxid kibocsátásának átlagait hasonlítottuk össze a különböző mintavételi időpontokban.

Eredmények

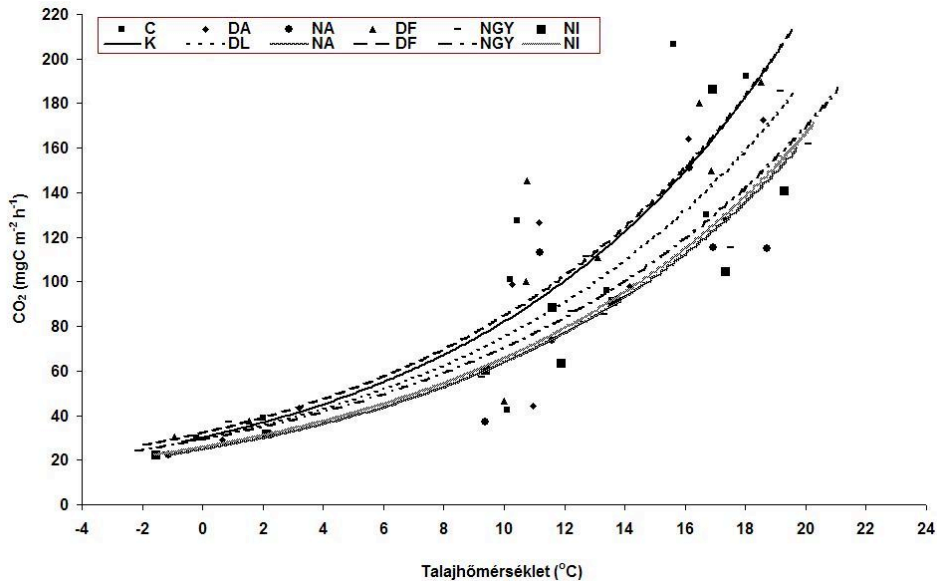


1. ábra. Az avartakaró meglétének és hiányának hatása a talajhőmérsékleti értékek ingadozására 48 órás intervallumban a tavaszi (A) felmelegedési és az őszi (B) lehülési periódusokban (jelölések magyarázata az 1. táblázatban).

2. táblázat. Síkfőkút cseres-tölgyes erdő (SIK) és a Harvard Forest (HFR) Q_2 %-os értékei különböző kezelések hatására (a kezelések magyarázata az 1. táblázatban).

Kezelés	Q_2	
	SIK (5 év)	HFR (5 év)
Kontroll	1,22	1,27
Dupla Avar	1,21	1,26
Nincs Avar	1,21	1,28
Dupla Fa	1,21	-
Nincs Gyökér	1,19	1,19
Nincs Input	1,20	1,19

A nyári időszakban a legmagasabb talajhőmérsékleti értékeket a „Nincs Input” (NI) parcellák esetében kaptuk. A „Nincs Gyökér” (NGY) és a „Nincs Avar” (NA) parcellák talajának átlagos havi hőmérséklete ugyancsak nagyobb volt a Kontrol (K) parcellákhoz viszonyítva. A NGY parcelláknál a növényzet hiánya, a NA kezeléseknél az avartakaró hiánya eredményezte a magasabb talajhőmérsékletet. A tavaszi-nyári időszakban a „Dupla Avar” (DA) kezelés esetében mértük a legalacsonyabb talajhőmérsékletet, míg a téli időszakban a legmagasabb talajhőmérsékleti értékeket mértük a DA parcellákban. Az avartakaró megléte, vagy hiánya jelentősen befolyásolja a talaj hőmérsékletét (1. ábra). A tavaszi időszakban a kezelésektől függő felmelegedési sorrend a következő: DA<DF<K<NA<NGY<NI. Az őszi hónapokban, szeptemberben és októberben fokozatosan csökkennek a különbségek, majd a nappali felmelegedés további gyengülésével megfordul a sorrend, azaz a NA, a NGY és a NI kezelésű parcellák talaja jobban lehül, mint a K, a DF és a DA kezelésű parcellák talaja: DA>K, DF>NGY>NA>NI. Méréseink azt mutatják, hogy a talajlégzés szezonális változása jól követi a talajhőmérséklet változását és minden évben hasonló dinamikájú. A tavaszi hónapokban emelkedik, maximumát a nyári hónapokban éri el, majd ősszel csökken. A talaj CO₂ kibocsátásának és a talajhőmérsékletnek a kapcsolata azt mutatja, hogy a talaj hőmérsékletének növekedésével a CO₂-kiáramlás (efflux) minden kezelés esetében növekvő tendenciát mutat (2. ábra). A talajból történő CO₂ kiáramlás és a talajhőmérséklet közötti kapcsolat az összes parcella esetében szignifikáns ($p < 0,05$). A Síkfőkút Projekt erdejének Q_2 értékeit a 2. táblázat foglalja össze.



2. ábra: A talajok CO₂ kibocsátása a növekvő talajhőmérséklet függvényében a síkfőkúti DIRT projektben különböző kezelések (K, DA, NA, DF, NGY és NI) hatására. $y(K)=30,223e0,1x$; $y(DA)=29,505e0,0935x$; $y(NA)=24,789e0,0944x$; $y(DF)=32,164e0,0967x$; $y(NGY)=29,2e0,088x$; $y(NI)=25,927e0,093x$ (a kezelések magyarázata az 1. táblázatban).

Értékelés

Szalai & Mika (2007) szerint hazánkban a XX. században a melegedés mértéke 0,49-0,85 °C között alakult, átlaga 0,68 °C. Magyarországon az elmúlt évszázad során az éves csapadék átlagosan 83 mm-rel csökkent (Mátyás *et al.* 2007). Az erdei ökoszisztémákban a talaj hőháztartása szempontjából kiemelkedő szerepe van az avartakarónak. A talajt borító avar a tavaszi-nyári időszakban gátolja a talaj felmelegedését, a besugárzást, télen viszont megakadályozza a talaj kihűlését, a kisugárzást, ezáltal szabályozza a talaj hőmérsékletét és biológiai folyamatait. Ennek következtében a DA parcellákban a talaj hőmérséklete sohasem süllyedt fagypontra alá, viszont avartakaró hiányában, a NA és a NI parcelláknál a talaj kisugárzása igen nagy volt, ami a talaj erőteljes lehűlését, gyakori átfagyását eredményezte. A különböző vastagságú avartakaró talajhőmérsékletre gyakorolt hatása tehát jelentős. Ez azért lényeges, mert a talajhőmérséklet nagymértékben

befolyásolja a talaj-mikroorganizmusok aktivitását, így a szerves anyagok lebontását és a talajlégzést is (Kotroczó *et al.* 2008b, Lellei-Kovács *et al.* 2008). A várakozással ellentétben a többlet szerves anyagbevitel a DA és a DF parcellákban, az alapítástól számított első négy évben nem növelte szignifikánsan a talaj szerves-anyag mennyiségét, C- és N-tartalmát. Ez azt mutatja, hogy a különféle erdő-ökoszisztémák avarfeldolgozó kapacitása az évi avarproduktiótól függetlenül, többé-kevésbé állandó. A többlet avarbevitellel a lebontó kapacitás tehát nem változik, az avar a talaj A'_{00} szintjében felhalmozódik. Ezzel kapcsolatban a talaj CO_2 kibocsátása is hasonló módon alakult a vizsgált periódusban. A növekvő avarmennyiség tehát csak tartamhatásban képes növelni a talaj szervesanyag-tartalmát és a talajlégzés intenzitását, amelyet Varga *et al.* (2008) eredményei is igazolnak. Azoknál a kezeléseknél, ahol a talajba jutó szerves anyag mennyiségét csökkentettük (NA, NGY és a NI parcellákban) már 4 év után csökkent a talaj szerves C- és N-tartalma és C:N aránya is, és ezzel együtt a CO_2 -kiáramlás mennyisége is. Ezek az eredmények egyezést mutatnak Crow *et al.* (2006) vizsgálataival is. A Síkfőkút Projekt erdejének és az amerikai Harvard Forest erdejének Q_2 értékeit összehasonlítva megállapítottuk, hogy Síkfőkúton $2\text{ }^\circ\text{C}$ -os talajhőmérséklet emelkedés hatására megközelítőleg 20%-os talajlégzés növekedés várható, míg a nedvesebb és hűvösebb klímájú Harvard Forest esetében ennél valamivel nagyobb, (23%-os) CO_2 kibocsátás következne be (2. táblázat). Az avarproduktió tartós csökkenése ezáltal a talajban lévő szerves anyagok mennyiségét is mérsékli, ami a termőhely leromlását eredményezi. A csökkenő szervesanyag-bevitel következtében a talajok mikroorganizmus-közösségei alkalmazkodnak a korlátozott forrásokhoz, anyagsere aktivitásuk kevésbé intenzívvé válik, és ez által csökken a talaj CO_2 kibocsátása is. Ilyen szempontból az avarproduktió csökkenését ökológiailag káros következménynek tartjuk. A talaj széntartalmát az emberi tevékenység is befolyásolja: fakitermelések és a talajbolygatás hatására a talaj szerves anyagainak lebomlása jelentősen felgyorsul. Az erdők nem csak a légkör CO_2 -tartalmát növelik a szervesanyag-lebontás révén, hanem a fotoszintézis során meg is kötik annak egy részét. Magyarországon az erdők által megkötött szénmennyiség alig kétszerese az egész országban mérhető éves CO_2 -kibocsátásnak, vagyis az intenzív erdőtelepítés dacára a javarészt fosszilis energiahordozókból származó szénkibocsátást alig 2–3%-ban tudták az erdőtelepítések ellensúlyozni (Somogyi 2007).

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki Konczné Erdei Irma főmunkatársnak, továbbá Rácz Barbarának és Kovács Zsófia Eszternek a vizsgálatok és a felmérések során nyújtott segítségükért.

Irodalomjegyzék

- Ács, F., Breuer, H., Tarczay, K. & Drucza, M. (2005): A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. – *Agrokémia és Talajtan* **54**: 257–274.
- Ågren, G.I. & Hyvönen, R. (2003): Changes in carbon stores in Swedish forest soils due to increased biomass harvest and increased temperatures analysed with a semi-empirical model. – *Forest Ecol. Manage.* **174**: 25–37
- 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.
- Crow, S.E., Sulzman, E.W., Rugh, W.D., Bowden, R.D. & Lajtha, K. (2006): Isotopic analysis of respired CO₂ during decomposition of separated soil organic matter pools. – *Soil Biol. Biochem.* **38**: 3279–3291.
- Fekete, I., Varga, Cs., Kotroczó, Zs., Krakomperger, Zs. & Tóth, J.A. (2007): The effect of temperature and moisture on enzyme activity in Síkfőkút Site. – *Cer. Res. Comm.* **35**: 381–385.
- Grogan, P. (1999): CO₂ flux measurement using soda lime: correction for water formed during CO₂ adsorption. – *Ecology* **79**: 1467–1468.
- Halász, J.L., Chonka, I., Tóth, M.D., Boyko, S. & Balázsy S. (2008): Microorganisms and enzyme activities in soil on the landfill sites in Bereg. – *Arch. Agron. Soil Sci.* **54**: 465–479.
- Jakucs, P. (1973): „Síkfőkút Project”. Egy tölgyes ökoszisztéma környezet-biológiai kutatása a bioszféra-program keretén belül. – *MTA Biol. Oszt. Közl.* **16**: 11–25.
- Justyák, J. & Szász G. (2001): *Az éghajlat, a növényzet, és a talaj övezetes elrendeződése a Földön.* – Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen.
- Kotroczó, Zs., Krakomperger, Zs., Koncz, G., Papp, M., Bowden, R.D. & Tóth, J.A. (2007): A Síkfőkúti cseres-tölgyes fafaj összetételének és struktúrájának hosszú-távú változása. – *Természetvédelmi Közlem.* **13**: 93–100.
- Kotroczó, Zs., L. Halász, J., Krakomperger, Zs., Fekete, I., D. Tóth, M., Vincze, Gy., Varga, Cs., Balázsy, S. & Tóth, J. A. (2008a): Erdőtálat

- szerves-anyag mennyiségének változása avarmanipulációs kísérletek hatására. – *Talajvédelem Suppl.*: 431–440.
- Kotroczó, Zs., Fekete, I., Tóth, J.A., Tóthmérész, B. & Balázsy S. (2008b): Effect of leaf- and root-litter manipulation for carbon-dioxide efflux in forest soil. – *Cer. Res. Comm. Suppl.* 36: 663–666.
- Krakomperger, Zs., Tóth, J.A., Varga, Cs. & Tóthmérész B. (2008): The effect of litter input on soil enzyme activity in an oak forest. – *Cer. Res. Comm. Suppl.* 36: 323–326.
- Lellei-Kovács, E., Kovács-Láng, E., Kalapos, T., Botta-Dukát, Z., Barabás, S. & Beier, C. (2008): Experimental warming does not enhance soil respiration in a semiarid temperate forest-steppe ecosystem. – *Comm. Ecol.* 9: 29–37.
- Mátyás, Cs., Nagy, L. & Ujváriné J. É. (2007): Klímikus stressz és a fajok genetikai válaszreakciója az elterjedés szárazsági határán: elemzés és előrejelzés. – In: Mátyás, Cs. & Vig, P. (szerk.): *Erdő és klíma V.* NYME Sopron, pp. 241–255.
- 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, D.R. & Aber, D.J. (eds.) *Forests in Time*. Yale Univ. Press, Michigan, pp. 301–315.
- Raich, J.W., Bowden, R.D. & Steudler, P.A. (1990): Comparison of two static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils. – *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1754–1757.
- Robertson, G.P., Bledsoe, C.S., Coleman, D.C. & Sollins, P. (eds.) (1999): *Standard soil methods for long-term ecological research*. – Oxford Univ. Press, New York, 461 p.
- Somogyi, Z. (2007): A klíma, a klímaváltozás és a fanövekedés néhány összefüggéséről. - In: Mátyás, Cs. & Vig, P. (szerk.): *Erdő és klíma V.* NYME Sopron, pp 281–294
- Szalai, S. & Mika, J. (2007): A klímaváltozás és időjárási anomáliák előrejelzése az erdőtakaró szempontjából fontos tényezőkre. – In: Mátyás Cs., Vig P. (szerk.): *Erdő és Klíma V.* NYME, Sopron. pp. 133–144.
- Tóth, J.A., Lajtha, K., Kotroczó, Zs., Krakomperger, Zs., Caldwell, B., Bowden, R. D. & Papp, M. (2007): The effect of climate change on soil organic matter decomposition. – *Acta Silvatica Lignaria Hung.* 3: 75–85.
- Varga, Cs., Fekete, I., Kotroczó, Zs., Krakomperger, Zs. & Vincze, Gy. (2008): The Effect of litter on soil organic matter turnover in Síkfőkút site. – *Cer. Res. Comm. Suppl.* 36: 547–550.

Soil respiration measurements in long-term litter manipulation field experiments

Zsolt Kotroczó¹, Zsolt Krakomperger², Zsuzsa Veres², Tamás Vasenszki¹, Judit L. Halász¹, Gábor Koncz^{2,3}, Mária Papp³ and János Attila Tóth²

¹*Collage of Nyíregyháza, Institute of Biology, 4400, Nyíregyháza, Sóstói út 31./B.*

²*University of Debrecen, Ecological Department, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.*

³*University of Debrecen, Department of Botany, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.*

Abstract: The long-term meteorological data of the Síkfőkút Project suggest that the forest become warmer and dryer during the last centuries. According to our investigations the annual average temperature of the soil also increased. Results of the litter manipulated model experiment (DIRT – Detritus Input and Removal Treatments) showed that in case of a decreased litter production (as a result of the warming at summer) the average temperature of the forest soil in the upper 10 cm layer will grow with 0.5-1 °C. In the winter period it will decrease approximately with 1 °C. During such warming up period the organic matter decomposition can be enhanced in the warmer soil resulting an increased CO₂ release. Indirectly this can further speed up the greenhouse-gas effects. The CO₂-C efflux of the soils in our DIRT experiment was showing an increasing tendency at each treatment. Significant changes was recorded at the "no roots" and "no input" plots, where the aboveground litter and the belowground litter and root-biomass was excluded. According to our measurements in the dry Síkfőkút forest in case of a 2 °C soil temperature increase the soil respiration by 21%.

Keywords: forest soil organic matter, soil respiration, Global warming, carbon-dioxide efflux, *Quercetum petraeae-cerris*