

A klímaváltozás hatása a Síkfőkúti cseres-tölgyes avarprodukcijára és talajdinamikai folyamataira

*Tóth János Attila¹ – Krakomperger Zsolt¹ – Kotroczó Zsolt³ – Koncz Gábor² –
Veres Zsuzsa¹ – Papp Mária²*

¹Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszék, ²Debreceni Egyetem Növényteni Tanszék, ³Nyíregyházi Főiskola Biológiai Intézet
E-mail: tja@tigris.unideb.hu

Összefoglalás

A Síkfőkút Project hosszú távú meteorológiai adatai szerint az erdő az elmúlt három évtized folyamán melegebbé és szárazabbá vált. A klímaváltozás hatására az erdő fafaj összetétele kedvezőtlen irányban megváltozott, amire jellemző a kocsánytalan tölgy erőteljes visszaszorulása, az eleseresedés és az eljuharosodás. A fafajok minőségi és mennyiségi összetételének hosszú távú változását a lombavarprodukciónak a változása jól követi, a teljes lombavarprodukciónak az eddigi vizsgálataink szerint kis mértékben csökkent. A hosszú távú szabadföldi avarmanipulációs kísérleteink szerint, a csökkenő avarinput hatására, már 4-5 év múlva csökkent a talaj pH, a baktérium- és gombaszám, a talajenzimek aktivitása és a talajlélegzés. Romlott a talaj hőháztartása is, a vékonyodó avartakaró nyáron melegebb, télen hidegebb szélsőséges talajhőmérséklet kialakulását eredményezte. A talajhőmérséklet növekedése a talajlélegzést exponenciálisan növelte. A talajból történő többlet CO₂ kiáramlás pozitív visszacsatolásban tovább fokozhatja az üvegházhatást, a globális felmelegedést.

Summary

Climate changes shown by the long term meteorological data series of the Síkfőkút Project research station in Hungary have resulted in warming and drying in the studied oak forest. It altered the species composition of the tree level and the structure of the evenly aged, densely sprouted forest. The litter production changed parallel with the compositional and structural changes, the total leaf litter production decreased slightly. We showed in our permanent litter manipulation field experiment that after a 4-5 year treating period, the bacterial and fungal count, pH, soil enzyme activity and soil respiration decreased. The heat balance of the soil changed too. Without litter the soil became warmer in summer months and colder in the winter months. Soil temperature increasing raised the soil respiration exponentially. The increasing carbon-dioxide concentration can speed up global warming by positive feedback mechanism.

Bevezetés

A Síkfőkút Project hosszú távú meteorológiai adatai alapján megállapítható, hogy a síkfőkúti cseres-tölgyes klímája az elmúlt három évtized folyamán melegebbé és szárazabbá vált (ANTAL et al., 1997). A klímaváltozás hatására az erdő fafaj összetétele és struktúrája jelentős mértékben

megváltozott, jellemző a nagyarányú tölgypusztulás, (a tölgy 68,4 %-a, a cser 15,9 %-a kipusztult) a relatív elcseresedés és az eljuharosodás (KOTROCZÓ et al., 2007; BOWDEN et al., 2006; TÓTH et al., 2006).

Arra vonatkozóan, hogy a klímaváltozás hatására hogyan változik az avarprodukciónak kevés információ áll rendelkezésünkre. Feltételezhető, hogy az avarprodukciónak a felmelegedés növeli, ugyanakkor a szárazodás csökkenti, azaz a két folyamat együttes hatása, eredője fogja meghatározni a változások irányát, tendenciáját.

Ugyancsak kevés információval rendelkezünk arra vonatkozóan is, hogy a klímaváltozás hatására hogyan fog változni, a talajban található szerves anyagok mennyisége, a talajlégzés. A Föld talajában kb. $1,58 \times 10^{18}$ g szerves kötésű szén található, amely 2-3-szor nagyobb a vegetáció szén tartalmánál (SCHLESINGER, 1977). A talaj szerves anyagainak bomlásakor a talajlégzés folyamán jelentős mennyiségű szén-dioxid áramlik ki a talajból, ami kb. 10-szer nagyobb a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO_2 mennyiségénél. Feltételezhető, hogy a globális felmelegedés hatással lesz a talaj szerves anyagainak bomlására, a talajlégzésre és ezen keresztül a bioszféra globális szén körforgalmára is (KOTROCZÓ et al., 2008; KRAKOMPERGER et al., 2008). Várható, hogy a globális felmelegedés, a talaj hőmérsékletének növekedése növeli a talajlégzést, a talajból történő szén-dioxid kiáramlást, ami mint legfontosabb üvegházhatású gáz, pozitív visszacsatolásban tovább fokozhatja a felmelegedést (KAYE & HART, 1998). A talajlégzés növekedésének további káros hatása, hogy hosszabb távon a talaj szerves anyag tartalmának csökkenését eredményezheti, ami a termőhely leromlásához vezethet.

Jelen dolgozatunkban azt vizsgáljuk, hogy a klímaváltozás hatására hogyan változik az avarprodukciónak, továbbá hogy az avar input mesterséges megváltoztatása milyen módon befolyásolja a talaj hőmérsékletét, nedvességtartalmát, a talaj-mikroorganizmusok számát, a talajenzimek aktivitását, és a talajlégzést.

Anyag és módszer

A kutatási terület jellemzése

A Síkfőkút Project komplex és interdiszciplináris bioszféra kutatást a MAB program keretében 1972-ben alapítottuk egy magyarországi átlagos klímazonális cseres-tölgyes (*Quercetum petraeae-cerris*) hosszú távú biomonitoring kutatására (JAKUCS, 1973). A védett 64 ha-os terület az Északi-középhegység bükkhegységi tagjának déli dombvidéki tájában, Heves megyében, Eger városától 6 km távolságra ÉK-i irányban, a Síkfőkútra vezető műút közelében a Szőlőskei Erdőben található. Fitocönológiailag a Síkfőkút Project 90-100 év körüli sarjeredetű homogén cseres tölgyes (*Quercetum petraeae-cerris*) társulás, amely habitusban, faji összetételében és egyéb lényeges adottságaikban megfelel a hazai cseres-tölgyesek átlagának. Az évi

átlaghőmérséklet 10 °C, a sokévi csapadékátlag 553 mm. A Síkfőkút Project területén az agyagbemosódásos barna erdőtalaj két altípusa fordul elő, amelyek főleg az alapkőzet tekintetében, továbbá az A₁ szint vastagságában és kémhatásában különböznek egymástól (STEFANOVITS, 1985).

A Síkfőkút DIRT Project kísérleti parcellák létesítése és fenntartása

Vizsgálatainkat a Síkfőkút DIRT (Detritus Input and Removal Treatment) Project keretében végeztük, amely része az USA ILTER (International Long-Term Ecological Research) DIRT Projectnek. A projectben résztvevő további kutatóhelyek a következők: H. J. Andrews Experimental Forest LTER site (Oregon, USA), Harvard Forest LTER site (Massachusetts, USA), Bousson Forest (Pennsylvania, USA). A parcellák kialakítását az USA DIRT Projectben alkalmazott módszerek szerint végeztük (TÓTH et al., 2007, FEKETE et al., 2007, KOTROCZÓ et al., 2008). A hosszú távú, több évtizedre tervezett, ún. avarmanipulációs szabadföldi kísérletben a következő kezeléseket alkalmazzuk: Kontroll (K), Nincs Avar (NA), Dupla Avar (DA), Dupla Fa (DF), Nincs Gyökér, (NGY), Nincs Input (NI). A parcellák nagysága 7 x 7 m. Kezelésenként három-három párhuzamos parcellát, így összesen 6 x 3 = 18 db kísérleti parcellát állítottunk be. A parcellák létesítése 2000. november 13-18. között történt.

Vizsgálati módszerek

Az avarprodukción a síkfőkúti cseres tölgyesben 1972-1976 között folyamatosan mértük (TÓTH et al., 1985). Ezeket a vizsgálatainkat 2003-tól újraindítottuk, így a korábbi és jelenlegi adatok összehasonlításával lehetőségünk nyílt a klímaváltozás avarprodukcióna gyakorolt hosszú-távú hatásának a vizsgálatára. A parcellák talajhőmérsékletét 10 cm-es talajmélységben ONSET gyártmányú StowAway® TidbiT® típusú (USA) talajhőmérsékletmérő data-loggerekkel óránként mértük. A talaj nedvességtartalmát a hagyományos szárítószekrényes eljárással illetve a terepen Field Scout™ TDR 300 műszerrel határoztuk meg. A talaj pH-ját vizes szuszpenzióból mértük. A talaj foszfatáz aktivitást a p-nitrofenilfoszfátból, a β-glükózidáz aktivitást a p-nitrofenil-β-D-glukopiranosid-ból felszabaduló p-nitrofenol mennyisége alapján mértük (CALDWEL et al., 1999). A talaj baktériumszámának meghatározását húspepton-agaron, a gombaszám meghatározását pedig Czapek-Dox táptalajon végeztük. A talaj légzés mérésére a nátron mész (SL=Soda Lime) módszert alkalmaztuk (RAICH et al., 1990). Az eredmények értékeléséhez varianciaanalízist használtunk (ANOVA). Szignifikancia szintként az 5 %-ot választottuk (p=0,05).

Eredmények

Az avarprodukciónak hosszú távú változása

A lombavar-produkciónak hosszú távú változása jól követi a fajok minőségi és mennyiségi összetételének változását (1. táblázat). A *Quercus petraea* levélvar mennyisége az 1970-es években mért értékekhez képest jelentősen csökkent, a *Quercus cerris* levélvar kismértékben növekedett, az *Acer campestre* levélvar, pedig többszöröseire nőtt. Összességében a teljes lombavarprodukciónak kis mértékben csökkent.

1. táblázat. A Síkfőkút Project lombavarprodukcióna (kg/ha/év)

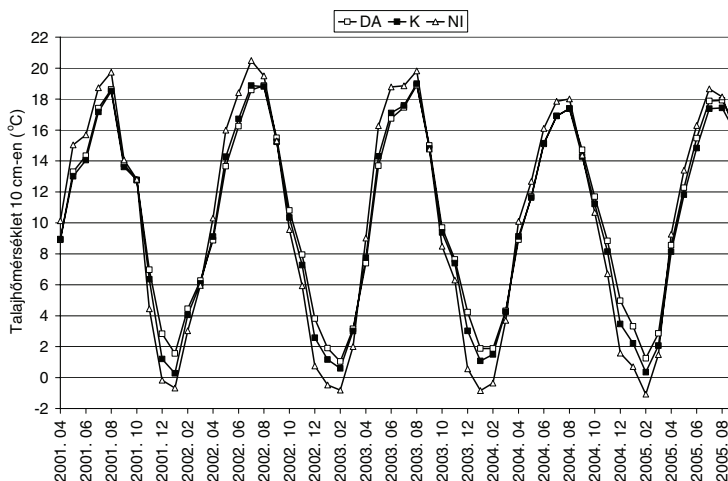
Év	Lombavar					
	Quercus petraea	Quercus cerris	Cornus mas	Acer campestre	Egyéb cserje	Összes Lomb
1972	2787	786	203	83	53	3912
1973	2731	685	87	86	34	3623
1974	2617	827	200	83	38	3765
1975	3074	1063	277	114	39	4567
1976	3019	1025	205	182	19	4450
2003	2056	666	210	674	54	3660
2004	1063	1516	256	636	73	3544
2005	994	1389	277	287	41	2988
2006	1105	1912	322	900	123	4362

A 2005-ben mért alacsony *Quercus petraea* levélvar produkciót a gyapjas lepke nagy hernyó gradációja okozta.

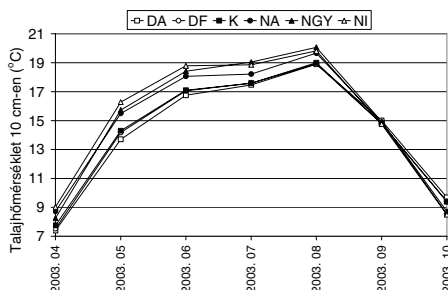
A talajhőmérséklet

A talajhőmérséklet szezonális változását a 2001-2005 közötti időszakban az 1. ábra mutatja. (Az ábrán a könnyebb áttekinthetőség érdekében csak a Kontroll, a Dupla Avar és a Nincs Input parcellák talajhőmérsékleti értékeit tüntettük fel). Az 1. ábra alapján megállapítható, hogy a különböző avarkezelések jelentősen befolyásolják a talaj hőmérsékletét, ami az avartakaró közismerten jó hőszigetelő tulajdonságával áll összefüggésben. Az avartakaró mint jó hőszigetelő a tavaszi nyári időszakban gátolja a besugárzást a talaj felmelegedését, télen viszont gátolja a talajból történő kisugárzást, a talaj lehűlését. A nyári időszakban a legmagasabb talajhőmérsékleti értékeket a Nincs Input parcellák esetében kaptuk (2. ábra). Ez egyrészt annak tulajdonítható, hogy a növényzet hiányában hiányzik a növényzet árnyékoló hatása így a besugárzás nagyobb, másrészt az avartakaró hiányában hiányzik az avartakaró besugárzást gátló, szigetelő hatása is. A Nincs Gyökér és a Nincs Avar parcellák talajának átlagos havi hőmérséklete ugyancsak nagyobb volt a

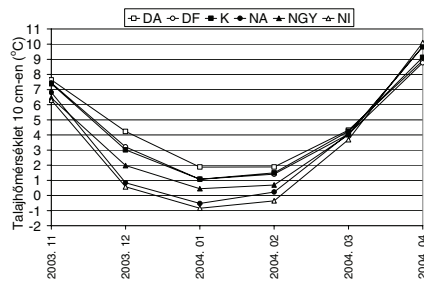
Kontroll parcellákhoz viszonyítva (2. ábra). A Nincs Gyökér parcelláknál a növényzet hiánya, a Nincs Avar kezeléseknél az avartakaró hiánya eredményezte a magasabb talajhőmérsékletet. A tavaszi-nyári időszakban a Dupla Avar kezelés esetében mértük a legalacsonyabb talajhőmérsékletet, ami a dupla avarréteg fokozottabb besugárzást gátló, hőszigetelő hatásának a következménye. A téli időszakban az avartakaró gátolja a talaj kisugárzását, a talaj lehülését. Ennek köszönhető, hogy a téli időszakban a legmagasabb talajhőmérsékleti értékeket a dupla avarréteggel rendelkező parcellákban mértük (3. ábra). Figyelemre méltó, hogy a Dupla Avar parcellákban a talaj hőmérséklete soha sem süllyedt fagypont alá. Avartakaró hiányában (Nincs Avar, Nincs Input) a talaj kisugárzása igen nagy volt, ami a talaj erőteljes lehülését, gyakori átfagyását eredményezte, így ezekben a parcellákban mértük a legalacsonyabb talajhőmérsékleti értékeket.



1. ábra. Az avarkezelések hatása a talaj havi átlaghőmérsékletére 10 cm-es talajmélységben 2001-2005 között



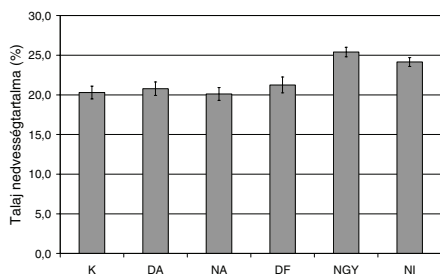
2. ábra. Az avarkezelések hatása a talaj hőmérsékletére egy nyári időszakban 10 cm-es talajmélységben



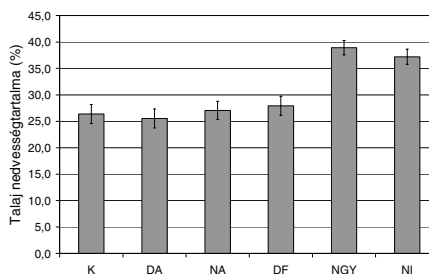
3. ábra. Az avarkezelések hatása a talaj hőmérsékletére egy téli időszakban 10 cm-es talajmélységben

A talaj nedvességtartalma

A talaj nedvességtartalma mind tömegszázalékban, mind térfogatszázalékban hasonlóan alakult (4. és 5. ábra).



4. ábra. A talaj nedvességtartalma tömegszázalékban, 0-10 cm-es talajmélységben (2002-2005 évi mérések átlaga)



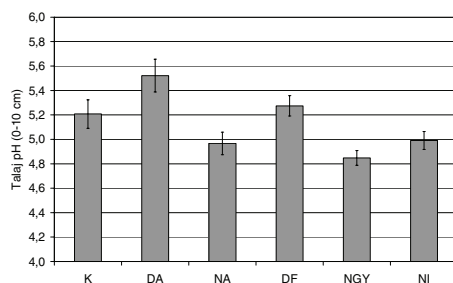
5. ábra. A talaj nedvességtartalma térfogatszázalékban 0-10 cm-es talajmélységben (2002-2005 évi mérések átlaga)

A Dupla Avar a Nincs Avar és a Dupla Fa parcellák talajának nedvességtartalma nem különbözött lényegesen a Kontrolltól, ezzel szemben szignifikánsan nagyobb nedvességtartalom figyelhető meg a Nincs Gyökér és a Nincs Input parcelláknál (4. és 5. ábra).

A Nincs Gyökér és a Nincs Input parcellák esetében a kontrollhoz viszonyított nagyobb nedvességtartalmat a növényzet hiányának, vagyis a transpiráció hiányának tulajdonítjuk, de szerepet játszhat a parcellák körülárkolása is.

A talaj kémhatása

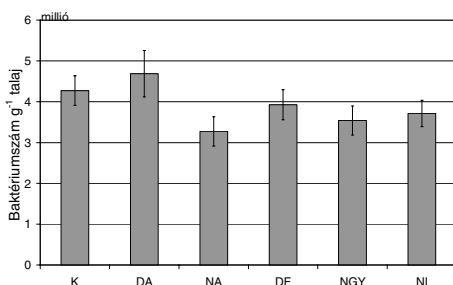
A csökkenő avarbevitel a talaj pH-ját csökkenti (6. ábra). Ez annak tulajdonítható, hogy az avarbomlás során keletkező savas intermediereket, humuszanyagokat, a csökkenő avar input csökkenő bázikus kation tartalma nem tudja kellően pufferolni. Ezzel szemben a Dupla Avar kezelésnél a talaj pH-ja növekedett, ami a nagyobb avarbevitellel járó nagyobb bázikus kation tartalom kioldódásának, a nagyobb puffer kapacitásnak köszönhető.



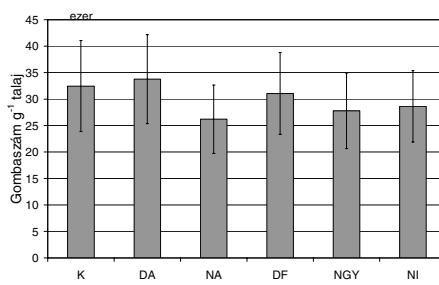
6. ábra. A talaj pH-ja 0-10 cm közötti talajrétegben (2003-2005 évi mérések átlaga)

A talaj baktérium- és gombaszáma

A legalacsonyabb baktérium- és gombaszámot a Kontrollhoz viszonyítva a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelések esetében kaptuk (7., 8. ábra).



7. ábra. A talaj baktériumszáma (2003-2005 évi mérések átlaga)

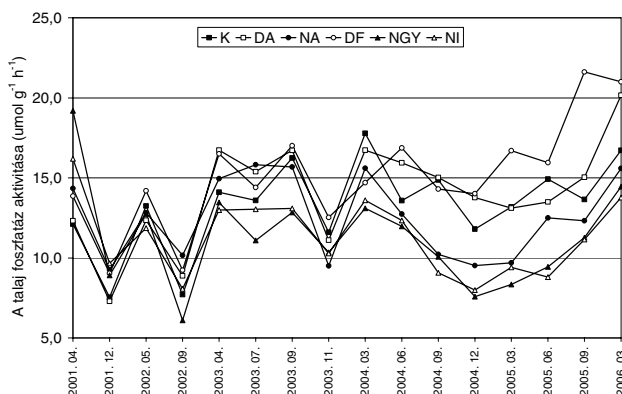


8. ábra. A talaj gombaszáma (2003-2005 évi mérések átlaga)

A legnagyobb baktérium- és gombaszám a Dupla Avar kezelés esetében figyelhető meg, a különbség azonban nem szignifikáns. Ezek az eredmények jó egyezést mutatnak a parcellák humusztartalmának változásával (VARGA et. al., 2008).

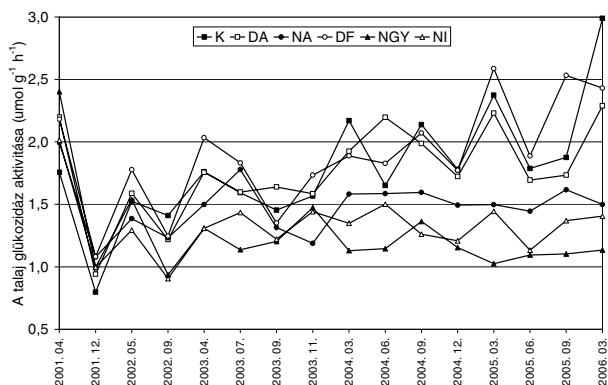
A talajenzimek aktivitása

A foszfatáz és a glükoszidáz aktivitásban az első két évben (2001-2002) a kezelések között még nem voltak jelentős különbségek (9. és 10. ábra).



9. ábra. A talaj foszfatáz aktivitásának változása

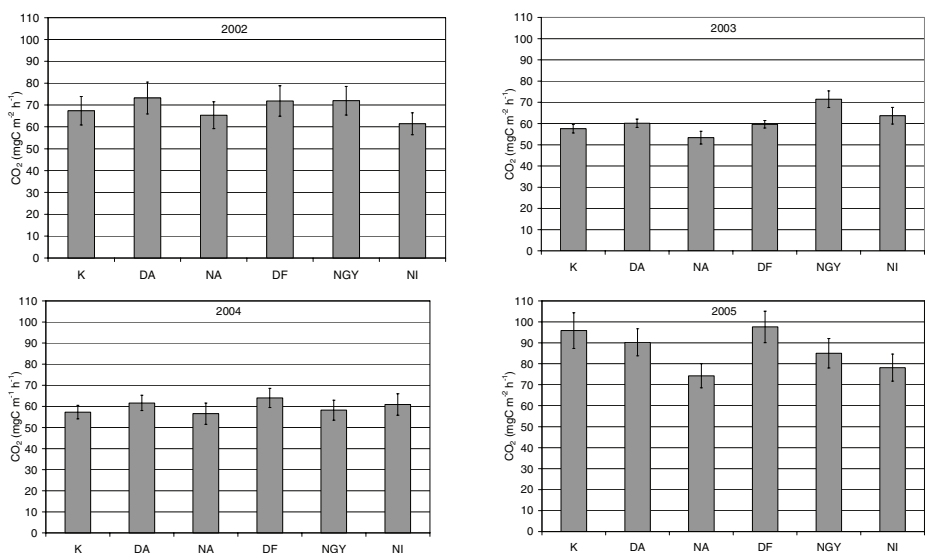
2003-tól kezdődően a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelésű parcellákban a talajenzimek aktivitása egyre inkább csökkenő tendenciát mutatott, azaz a csökkenő avar input hosszú távon csökkenti a talajenzimek aktivitását. A várakozással ellentétben a Dupla Avar parcellák talajának enzimaktivitása a legtöbb esetben nem haladta meg a Kontroll parcellákban mértet.



10. ábra. A talaj glükoszidáz aktivitásának változása

A talajlégzés

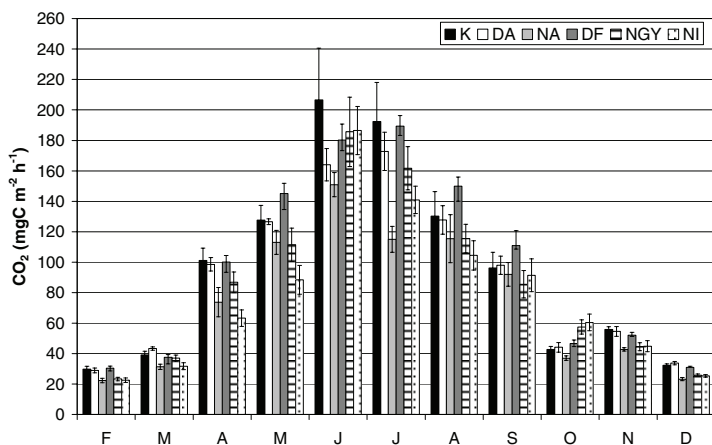
A talajlégzésben az első 3 évében a kezelések között szignifikáns különbség nem volt. A kísérlet beállításától számított 5 év múlva (2005) azonban a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelések esetében a talajlégzés csökkent (11. ábra).



11. ábra. Az avarkezelések hatása a talajlégzésre (évi átlagok)

A Dupla Avar kezeléseknél a várakozással ellentétben a vizsgálat első három évében a talajlégzés a Kontrollhoz képest csak kismértékben növekedett, 2005-ben viszont csökkent, a különbség azonban nem szignifikáns.

A talajlégzés szezonális változása jól követi a talajhőmérséklet változását, minden évben hasonló dinamikájú. A tavaszi hónapokban emelkedik, maximumát a nyári hónapokban (június, július) éri el, majd ősszel csökken (12. ábra).

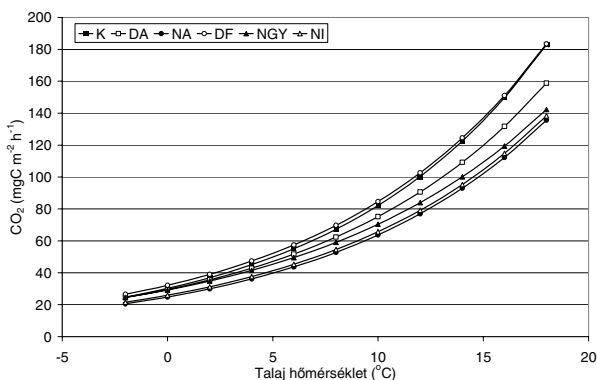


12. ábra. A talajlégzés szezonális változása 2005-ben

A talajhőmérséklet növekedésével a talaj CO₂-C kibocsátása minden kezelés esetében exponenciálisan növekedett (13. ábra). A talaj hőmérséklet és a talajlégzés közötti összefüggés az $y = a \cdot e^{(b \cdot x)}$ egyenlettel jellemezhető. Az exponenciális görbék egyenleteiből számíthatók a Q₁₀ értékek, (Q₁₀ = e^{b·10}) amelyek azt mutatják, hogy 10 °C-os hőmérséklet emelkedés hatására a kémiai reakciók sebessége (jelen esetben a talajlégzés intenzitása) hányszorosára növekedne. Ilyen mértékű hőmérsékletnövekedés a valóságban azonban egyik scenario szerint sem várható, ezért realisabb képet kaphatunk, ha a Q₁₀ helyett a Q₂ értéket számítjuk ki. A Q₂ azt mutatja meg, hogy évi 2 °C-os átlaghőmérséklet emelkedés hatására hányszorosára növekedne a talajlégzés. Az 2. táblázatban a Síkfőkút DIRT Project és a Harvard Forest Q₂ értékeit hasonlítottuk össze. A táblázat adataiból jól látható, hogy Síkfőkúton 2 °C-os talajhőmérséklet emelkedés hatására kb. 20 %-os talajlégzés növekedés, míg a nedvesebb és hűvösebb klímájú Harvard Forest esetében ennél valamivel nagyobb talajlégzés növekedés várható.

2. táblázat. Síkfőkút (SIK) és a Harvard Forest (HFR) Q₂ értékei

Kezelés	Q ₂	
	SIK (5 év/year)	HF (5 év/year)
Kontroll	1,2214	1,2712
Dupla Avar	1,2056	1,2586
Nincs Avar	1,2078	1,2763
Dupla Fa	1,2134	-
Nincs Gyökér	1,1924	1,1901
Nincs Input	1,2044	1,1853



13. ábra. A talajhőmérséklet hatása a talajlégzésre

Irodalomjegyzék

- ANTAL E., BERKI I., JUSTYÁK J., KISS GY., TARR K. & VIG P. (1997): A síkfőkúti erdőtársulás hő- és vízháztartási viszonyainak vizsgálata az erdőpusztulás és az éghajlatváltozás tükrében. KLTE, Meteorológiai Tanszék, Debrecen. 83 p.
- BOWDEN, R.D., NAGEL, L., KOTROCZÓ ZS., KRAKOMPERGER ZS., PAPP M. & TÓTH J.A. (2006): Long-term change in vegetation composition and biomass in a Central European oak forest at the Síkfőkút International Long-Term Ecological Research (ILTER) Site, Hungary. Mid-Atlantic Ecology Conference. Ecology in the Field. April-8-9, 2006. New Jersey, MAESA pp. 2-3.
- CALDWELL, B.A., GRIFFITHS R.P., & SOLLINS, P. (1999): Soil enzyme response to vegetation disturbance in two lowland Costa Rican soils. Soil Biol. Biochem. **31**. 1603-1608.
- FEKETE, I., VARGA, CS., KOTROCZÓ, ZS., KRAKOMPERGER, ZS., & TÓTH, J. A. (2007): The effect of temperature and moisture on enzyme activity in Síkfőkút Site. Cereal Research Communications Volume **35**. 2. 381-385.
- JAKUCS P. (1973): „Síkfőkút Project”. Egy tölgyes ökoszisztéma környezetbiológiai kutatása a bioszféra-program keretén belül. MTA Biol. Oszt. Közl. **16**. 11-25.
- KAYE, J.P. & HART, S.C. (1998): Restoration and canopy-type effects soil respiration in a Ponderosa Pine – Bunchgrass ecosystem. Soil Science Society Am. J. **62**. 1062-1072.
- KOTROCZÓ ZS., KRAKOMPERGER ZS., KONCZ G., PAPP M., R.D. BOWDEN & TÓTH J.A., (2007): A Síkfőkúti cseres-tölgyes fafaj összetételének és struktúrájának hosszú-távú változása. Természetvédelmi Közlemények **13**. 93-100.
- KOTROCZÓ, ZS., I., FEKETE, J. A., TÓTH, B., TÓTHMÉRÉSZ, S., BALÁZSY (2008): Effect of leaf- and root-litter manipulation for carbon-dioxide efflux in forest soil. Cereal Research Communications **36**. Suppl. 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. Cereal Research Communications Vol. **36**. Suppl. 323-326.
- RAICH, J. W., BOWDEN, R. D., & P. STEUDLER A. (1990): Comparison of two static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils. Soil Science Society of American Journal **54**. 1754-1757.
- SCHLESINGER, W.H. (1977): Carbon balance in terrestrial detritus. Annual Review of Ecology and Systematics **8**. 51-81.
- STEFANOVITS P. (1985): Soil condition of the forest. In: Ecology of an oak forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project” 1. (Ed.: JAKUCS). 50-57. Akadémiai Kiadó, Budapest.

- TÓTH J.A., PAPP B.L. & JAKUCS P. (1985): Litter production of the forest. Ecology of an oak forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project” 1. (Ed.: JAKUCS). 211-225. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- TÓTH J.A., PAPP M., KRAKOMPERGER ZS. & KOTROCZÓ ZS. (2006): A klímaváltozás hatása egy cseres-tölgyes erdő stukturájára (Síkfőkút Project). A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. KvVM – MTA „VAHAVA” projekt. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest.
- TÓTH J. A., LAJTHA, K., KOTROCZÓ ZS., KRAKOMPERGER ZS., CALDWEL, B., BOWDEN, R. D. & PAPP M. (2007): The effect of climate change on soil organic matter decomposition. *Acta Silvatica et Ligniaria Hungarica* **3**. 75-85.
- VARGA CS., FEKETE I., KOTROCZÓ ZS., KRAKOMPERGER ZS. & VINCZE GY., (2008): The Effect of litter on soil organic matter (SOM) turnover in Síkfőkút site. *Cereal Research Communications* **36**. Suppl. 547-550.