MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Erdősítés hatása a talaj tápanyag-szolgáltató képességére és a talajfaunára egykori szántóföldi műtrágyázási tartamkísérletben

Doktori értekezés tézisei

Harta István

Gödöllő
2021

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudományok

vezetője: Dr. Michéli Erika
Egyetemi tanár, DSc, az MTA levelező tagja
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Környezettudományi Intézet

Témavezető: Dr. Simon Barbara (2018-),
Egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Környezettudományi Intézet,
Talajtani Tanszék

Dr. Füleky György †(2016-2018),
Professor Emeritus, CSc
Szent István Egyetem
Környezettudományi Intézet

....
Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

Az elmúlt évtizedek alapján egyre nyilvánvalóbbá válnak a globális klímaváltozás lokálisan is érzékelhető negatív hatásai. Az éghajlatváltozás mérséklésére tett küzdelem így mai korunk egyik legnagyobb kihívása lett. Elengedhetetlen tehát olyan megoldásokat találni, mellyekkel a légköri CO_2 koncentráció növekedése hatékonyan mérsékelhető (Pan et al. 2011, Rogelj et al. 2018). Ezt felismerve, egyre nagyobb hangsúlyt kap az erdőterületek növelésének szükségessége, különösen a mezőgazdasági művelésre alkalmatlan, vagy az intenzív használat következtében erodált talajú szántókon. Ezeknek a gyenge minőségű mezőgazdasági területeknek a beerdősítése hozzájárulhat talajállapotuk javításához, a biodiverzitás növeléséhez és a káros környezeti hatások ellensúlyozásához.

Mivel az erdőtelepítés világszerte növekvő tendenciát mutat, a talaj termékenységére gyakorolt hosszú távú hatásainak ismerete elengedhetetlen. Számos, a témával foglalkozó kutatás történt a közelmúltban, az eredmények azonban az éghajlati elemek, a talajtípusok, a telepített fafajok, valamint a telepítést megelőző földhasználat szerint is jelentősen eltérnek (Cunningham et al. 2015).

Néhány hiány és ellentmondás tisztázására kínált lehetőséget a gödöllői szárítópusztai kísérleti telepen 25 éven keresztül szántóföldi műtrágyázási tartamkísérletként funkcionáló, majd az 1990-es évek közepén beerdősített két terület vizsgálata. Itt a hosszútávú, eltérő intenzitású műtrágyázás eredményeként öt különböző talajállapot mellett volt vizsgálható a szántóföldi erdőtelepítés hatása. Az állományok 20-22 évesek voltak a vizsgálatok időpontjában (2017-2019), így addigra már jelentős változásokat idézhettek elő a talaj tulajdonságaiban. Nagy előny, hogy a beállított kísérletről jól dokumentált adatokkal rendelkezünk, így a telepítés előtti állapotokkal jól összehasonlíthatók voltak az eredményeim. A két különböző állomány lehetővé tette az őshonos és idegenhonos fajok közti különbségek feltárását, hiszen az egyik állomány a területen is őshonos kocsánytalan tölgyből (*Quercus petraea*), míg a másik az egzóta és invazív fehér akácból (*Robinia pseudoacacia*) áll.

Kutatásom során **célkitűzésem** volt, hogy a szántóföldi kísérleti területek beerdősítése után a talaj tápanyag-szolgáltató képességében és faunájában bekövetkező változásokat, illetve azok okait a két eltérő állomány alapján feltárjam, elemezve a korábbi különböző mennyiségű műtrágya- és mészkezelés következtében létrejött eltérő talajállapotok hatásait. Arra kerestem válaszokat, hogy a kialakuló két erdei ökoszisztéma hogyan befolyásolta a talaj egyes tulajdonságait, illetve, hogy a korábban kijuttatott műtrágyák miként befolyásolták a fák növekedését és az erdei struktúra fejlődését.

Eredményeim a korábban intenzíven művelt, gyenge minőségű, leromlott talajú szántóföldekre telepített erdei ökoszisztémáknak a talaj tápelem-szolgáltató képességére és a talajfaunára gyakorolt hosszú távú hatásainak megértését segítik elő.

Legfontosabb **hipotéziseim** a következők voltak:

1. A kísérleti területeken az erősen leromlott talaj az erdőtelepítés után 20 évvel nem csak regenerálódott, de jóval kedvezőbb talajállapot jött létre az erdősítés előtti talajállapothoz képest; a humusztartalom megnőtt, a mélységi nitrogén-felhalmozódás megszűnt, a talajfauna heterogén és diverz, a jellemző erdei ökoszisztémákhoz hasonló.

2. Az őshonos kocsánytalan tölggyel telepített terület jóval kedvezőbb talajállapottal jellemezhető, mind a tápanyagszolgáltás, mind a talajfauna tekintetében, mint az idegenhonos fehér akác állomány alatti talaj.

3. A korábbi nagyobb mennyiségű műtrágyázás a faállományok erőteljesebb növekedését és az erdei struktúra gyorsabb kialakulását eredményezte, aminek hatására a telepítéskor nagyobb tápanyagtartalommal rendelkező parcellákon 20 év alatt kedvezőbb talajállapot jött létre.

4. A korábbi meszezés kedvező hatással volt a talajparaméterekre, a földigiliszták denzitására és diverzitására, az avar lebontásra, valamint a fák növekedésére és az erdőszerkezetre.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Doktori kutatásom során a MATE szárítópusztai kísérleti telepén lévő **két beerdősített műtrágyázási tartamkísérletben** (T: tölgyes kísérleti terület, A: akácos kísérleti terület), valamint további **öt kontroll élőhelyen** (SZ: művelt szántó, FSZ: felhagyott szántó, AK: akácos kontroll, TK: tölgyes kontroll, RT: reliktum tölgyes állomány) folytattam vizsgálatokat. A területek Pest megyében, Gödöllőn találhatók, a Gödöllői-dombság kistájban. Az éghajlat itt mérsékelten hűvös, mérsékelten száraz kontinentális, a jellemző erdészeti klíma kocsánytalan tölgyes, ill. cseres. A környékbeli táj arculatát az intenzíven művelt szántóföldek és az erdők hasonló mértékben határozzák meg, azonban a terület legnagyobb részén a klimatikus és edafikus adottságoknak megfelelő eredeti vegetáció az erdő. Legelterjedtebbek a különböző tölgyes társulások, valamint a főként fehér akácból álló mesterséges erdők (Dövényi 2010).
A beerdősített kísérleti területek (T, A) alapkőzete lösszel kevert homok, melyen 60-90 cm vastagságban **rozsdabarna erdőtalaj** (*Luvic Endocalcic Phaeozem*) alakult ki, 30-40 cm-es humuszos termőréteggel. A talaj fizikai félesége homok, kötöttsége a mélységgel nő. A feltalaj alapvetően gyengén savanyú kémhatású (pH_{KCl} = 5,0), karbonátmentes, számottevő mésztartalom csak 60 cm alatt jelenik meg. A szántott réteg (0-20 cm) alacsony humusztartalmú (H = 1,5%), gyenge foszfor- (AL-P_2O_5 = 30 $mg \cdot kg^{-1}$) és közepes káliumellátottságú (AL-K_2O = 120 $mg \cdot kg^{-1}$). A talaj tehát kedvezőtlen tápanyag-szolgáltató és vízgazdálkodási tulajdonságokkal jellemezhető.

Az erdősítést megelőzően, a hosszantartó nagy adagú műtrágyázás hatására a talaj Ca^{2+} és Mg^{2+} tartalma, így pH értéke is jelentősen csökkent. A műtrágya eredetű tápelemek (N, P, K) koncentrációja ugyanakkor nagymértékben megemelkedett a szántott rétegben. A feldúsulás az AL-oldható foszfor és kálium, esetében 60-80 cm mélységig kimutatható volt, az ásványi nitrogén (NO_3^- + NH_4^+) a talajképző kőzetben is nagy mennyiségben halmozódott fel. A hatások leginkább a nagyobb adagú műtrágyakezelések parcelláin jelentkeztek. A humusztartalom az intenzív mezőgazdasági művelés hatására minden parcellán lecsökkent (Füleky és Debreceni 1991, Kovács és Füleky 1991).
Doktori kutatásom során megvizsgáltam a két beerdősített kísérlet és az öt kontroll élőhely **talajának** (0-20 cm) termékenység szempontjából legfontosabb paramétereit (K_A, humusztartalom, pH_{H2O}, pH_{KCl}, $CaCO_3$, Ca^{2+}, Mg^{2+}, N_{min}, AL-P_2O_5, AL-K_2O), valamint a tölgyes kísérletben a műtrágyával kijuttatott tápanyagok mennyiségét a talajszelvényben (AL-P_2O_5 és AL- K_2O: 0-100 cm, NH_4^+ + NO_3^-: 0-300 cm). Az erdősítés hatásainak kimutatásához eddig nem értékelt múltbeli adatokat is feldolgoztam és referenciaként értékeltem.
A két kísérleti területen vizsgáltam a **talajfauna** két általánosan elfogadott indikátor csoportját (Collembola, Lumbricidae), valamint az ugróvillások esetén az öt kontroll élőhely alapján értékeltem az erdősítés hatását. A faji szintű meghatározás, valamint az átlagos abundancia ($db \cdot m^{-2}$) mellett az ugróvillások esetén megadtuk a fontosabb származtatott közösségi karakterisztikákat is (diverzitás, dominancia-viszonyok, kiegyenlítettség) valamint az egyes habitatokat hasonlósági indexek segítségével is értékeltük. Földigiliszta vizsgálatokat két őszi és két tavaszi időszakban végeztünk (2018–2020), a kapott adatokból abundanciát ($db \cdot m^{-2}$) és biomassza-tömeget ($g \cdot m^{-2}$) számoltunk.
Az **avar lebomlási tulajdonságait** (*k*: lebontási együttható, TH: felezési idő, N-, P-, K-, Ca- és Mg-tartalom) a kísérleti területeken szintén jellemeztem. Ehhez a megfelelő parcellákról származó 10 g szárított avarral töltött 15x15 cm-es, 3-4 mm szemű nylon avarzsákokat helyeztem ki a talajfelszínen rögzítve, majd visszagyűjtöttem őket a 28., 105., 168., 303. és 491. napon.
Elvégeztem továbbá a **faállományok szerkezeti struktúrájának** elemzését is, a lomb- (Z_A, %) és cserjezáródás (Z_B, %), a törzsszám (N, $db \cdot ha^{-1}$), a fák közötti átlagos távolság (a, m), a körlapösszeg (G, $m^2 \cdot ha^{-1}$), az átlagos mellmagassági átmérő (Dg, cm), az átlagmagasság (Hg, m) a biológiai felsőmagasság (Hf, m), valamint a fatérfogatok (V, $m^3 \cdot ha^{-1}$) számításának segítségével. Az akácos jellemzéséhez a 2015-ben mért adatokat használtam (Harta et al. 2016).
A beerdősített kísérletekben (T, A) a tényezők közül a műtrágyázási szinteket (1:kontroll, 2-5:emelkedő szintű NPK műtrágyakezelés), valamint a meszezést (Ø, M) vettem figyelembe. Minden kezelésváltozatot és kontroll élőhelyet három ismétlés reprezentált. Az **adatok kiértékeléséhez** *variancia-analízist, t-próbát, lineáris regresszióanalízist, diszkriminancia-analízist* (*DA*), *hierarchikus agglomeratív cluster analízist* (*UPGMA*), *főkoordináta-analízist* (*PCoA*), valamint *kanonikus korreszpondencia analízist* (*CCA*) alkalmaztunk. A megengedett szignifikancia-szint 5% volt.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. A talaj tápanyag-szolgáltató képessége

A kísérleti területek 20 éves erdőállományaiban (T, A) jelentősen nőtt a feltalaj (0-20 cm) **humusztartalma** az erdősítés előtti szinthez képest. Az értékek egy kissé magasabbak a kontroll erdőkétől (TK, AK) és átmenetet képeznek a szántóterület (SZ) és a reliktum erdő (RT) értékei között. Az eredményeim összhangban vannak azokkal a megállapításokkal, amelyek szerint a szerves széntartalom növekszik, ha az erdőtelepítés szántón valósult meg (Paul et al. 2002, Li et al. 2012). Hazai vizsgálat szintén alátámasztotta, hogy mind az akác, mind a kocsánytalan tölgy telepítésekben már rövid idő alatt nő a talajban tárolt szén mennyisége (Bidló et al. 2014). A különböző fafajokkal történő erdősítés eltérő hatása szintén látható az eredményeimből, az akácos talajának lényegesen nagyobb a humusztartalma. A két állomány átlagos fatérfogatai közt nem találtam szignifikáns eltérést, az akácosban az avar lebomlási üteme azonban akár kétszer olyan gyors volt a felezési idők alapján. A magasabb humusztartalmat a jóval nagyobb cserjeborítottság szintén okozhatta, a cserjeborítás és a talaj humusztartalma között szoros kapcsolat volt kimutatható. A korábbi meszezés hatására nem találtam jelentős különbségeket a humusztartalomban, az akácosban azonban a meszezett parcellák átlagértékei jóval nagyobbak voltak. Meszezés hatására a cserjeborítottság mindkét állományban jelentősen magasabb volt. A telepítés előtti műtrágyázás hatására a tölgyesben a humusztartalom jobban nőtt, de csak a nem meszezett parcellákon. A nagyobb tápanyagtartalommal rendelkező talajokon az egyes fák magassága és térfogata tendencia szinten nagyobb volt, a törzsszám viszont jelentősen csökkent. Ez kezdeti gyors fejlődésre utal, azonban később, ahogy a magassági növekedés lelassult, az állomány homogenizálódott.

A szántók beerdősítését követően a talaj **N-tartalmának** nagy része a biomasszába transzlokálódik, ami a talaj N-tartalmának jelentős csökkenését okozza (Berthrong et al. 2009, Li et al. 2012). Ezt kutatásomban is igazoltam, tehát a talaj telepítéskori nitrogénellátottsága nagymértékben meghatározta a fák kezdeti fejlődésének intenzitását. A talaj N-ellátottságának értékei csak a reliktum erdő (RT) állományban voltak jóval magasabbak, ami arra utal, hogy az idős erdők feltalajában már elindul a nitrogén felhalmozódása. A tölgyesben a mélységi nitrát-akkumuláció teljesen megszűnt, az ammónium-N kismértékű felhalmozódása a korábbi műtrágyázás hatására azonban még kimutatható volt. Eredményeimből az is látható, hogy a nagyobb tápanyagtartalmú parcellákon jóval nagyobb volt a nitrát-N fogyása és a talaj N-tartalma homogenizálódott. Ez arra utal, hogy a fák felhasználták a talaj készleteit. A korábbi meszezés hatására a nitrát-N aránya nagyobb, így a N fogyása erőteljesebb volt. A két állományt összehasonlítva az ásványi nitrogénformák közül az akácos talajában a nitrát-N, a tölgyes talajában az NH_4^+ forma dominál. Ezt az magyarázhatja, hogy a nitrifikáló baktériumok az alacsonyabb pH-tartományban kevésbé hatékonyak.

Erdőtelepítést követően a talaj általában elsavanyodik és ez a felsőbb rétegekben fokozottan érvényes. Az alacsonyabb **pH-tartomány** felé való elmozdulást a Ca^{2+}, Mg^{2+}, és K^{+} bázikus kationok biomasszába építése is elősegíti (Jobbágy és Jackson 2003, Berthrong et al. 2009). A tölgyesben a pH_{KCl}-értékek kissé emelkedtek ugyan az erdőtelepítés előtti szinthez képest, a különbséget azonban nem tudtam igazolni. Az akácos pH-értékei viszont jelentősen megemelkedtek. A pH-értékek minden esetben magasabbak voltak a korábbi meszezés hatására, a mészkezelés hatása tehát tartós. Az a telepítés előtti tendencia, miszerint a nagyobb N-trágyával kezelt parcellákon alacsonyabb volt a pH, a vizsgálataink időpontjában már csak a tölgyesben volt megfigyelhető, az akácos értékei a műtrágyázás tényező hatását vizsgálva homogének voltak. A tölgyes talajának pH-értékei szintén a kiegyenlítődés irányába tartanak, a nagyobb tápanyagtartalmú parcellák alacsonyabb pH_{KCl} értéki nőttek, a kontrollparcellák magasabb értékei pedig csökkentek az erdőtelepítés óta. Kutatási eredményeim így igazolják azt az elméletet, mely szerint erdősítés után a pH kiegyenlítődik, csökken a bázikus és nő a savanyú talajokban (Hong et al. 2018). Hosszútávon azonban erdősítés után a talaj elsavanyodása jelentős lehet, amint azt az idős reliktum tölgyes (RT) felső talajrétegének (0-20 cm) extrém alacsony pH-értékei is megerősítik.

Tölggyel való erdősítést követően a talaj pH_{KCl} értékeinek, valamint **kalcium és magnézium** tartalmának változása között pozitív kapcsolat volt. Minél nagyobb volt ennek a két kationnak a fogyása, annál kevésbé emelkedett a pH. Mivel a legkisebb Ca^{2+} és Mg^{2+} fogyás a magas tápanyagtartalmú parcellákon volt, a pH itt emelkedett legjobban. Ezt a kapcsolatot az akácos talajának jelentősen magasabb Ca- és Mg-tartalma és jóval magasabb pH értékei is megerősítik. Sőt az akácos értékei a tölgyes értékeit minden kezelési szinten meghaladták. A korábbi meszezés hatására a Ca- és Mg-tartalom értékei magasabbak voltak mindkét állományban. A talaj kalciumtartalmának és a pH-értékeinek kapcsolatát a kontroll élőhelyek eredményei is megerősítik, a legalacsonyabb Ca-tartalmat ugyanis a reliktum tölgyesben (RT) mértünk. A talaj pH értékei és kalciumtartalma a kontroll területek esetében is az akácos állományban (AK) voltak magasabbak a tölgyes állományban (TK) mértekhez képest. Ennek egyik oka az lehet, hogy az akácosban a gyorsan bomló avar jóval nagyobb mennyiségű kalciumot és magnéziumot tartalmaz, mint a tölgyavar és ezek az értékek pozitív kapcsolatban voltak a *k* lebontási együtthatóval. A lebontási együttható (*k*) a talaj pH értékeivel és Ca-tartalmával szintén szoros kapcsolatban volt. A magasabb cserjeborítottság a talaj magasabb pH-értékeivel és Ca-, valamint Mg-tartalmával járt együtt a kísérleti területeken.

A kalcium és magnézium tendenciájával éppen ellenkezőleg, az **oldható kálium** fogyása a nagyobb tápanyagkészletű talajokon volt jelentősebb a tölgyesben. A tölgytelepítést követő Ca- és Mg-tartalom, illetve pH változása és az oldható káliumtartalom változása közötti kapcsolat negatív volt. Az akácosban az oldható K tartalom átlagai is jóval magasabbak voltak a tölgyes értékeinél. Ezek alapján tehát a nagy mennyiségű oldható káliumot tartalmazó talajokból a fák

kevesebb kalciumot és magnéziumot vettek fel, így a pH csökkenése megállítható volt, az értékek emelkedtek. Az oldható kálium mennyiségének változásában érdekes tendenciát figyelhetünk meg. 11 évvel az akácos telepítése után a talaj 0-30 cm-es mélységének AL-K_2O tartalma jelentősen csökkent (Ockert 2006). Az akkor mért értékeknél az akácosban most lényegesen nagyobbakat kaptunk, a kezelések közötti különbségek pedig eltűntek. Az akácosban az oldható kálium fogyása a teljes 0-100 cm-es szelvényben feltételezhető volt a 8 éves állományban mért adatok alapján. Ez azt jelzi, hogy a fák káliumszükséglete jelentős ugyan, de a kálium, mint gyors ciklusú elem, relatív rövid idő alatt vissza is jut a talajba és idővel felhalmozódik az erdőtalaj felső rétegében. A 0-20 cm-es talajréteg legnagyobb oldható K-koncentrációját is az idős reliktum tölgyesben (RT) találtuk. Ez megerősíti Jobbágy és Jackson (2004) eredményeit, miszerint az erdőkben a kicserélhető K^+ a felszínen koncentrálódik, mivel a fák által a mélyebb rétegekből felvett kálium egy része az avarral visszahull a felszínre. Az erdőtalajban a magasabb humusztartalom az adszorpciós helyek számát is növeli, így a fák által a mélyebb rétegekből felvett, majd az avarból mineralizálódó bázikus kationok megkötődése is hatékonyabb lehet. A tölgyes mélységi eredményei alapján a korábbi műtrágyázás hatása az oldható kálium felhalmozódására 80 cm mélységig volt igazolható. A talaj kötöttsége (K_A) ebben a mélységben kezd el emelkedni, valószínűsíthető tehát, hogy a nagyobb agyagtartalom miatt itt már a kálium erőteljesebb megkötődésével kell számolni. A K mélységi elmozdulásával tehát nem kell számolni, a mélyebb rétegekben a fogyás oka sokkal inkább a biomasszába való beépülés.

A szántók beerdősítése után a talaj teljes és a **felvehető P-tartalma** is általában csökken (Chen et al. 2008, Deng et al. 2017, Li et al. 2019). Ezt az eredményeim is megerősitik, mert a feltalajban (0-20 cm) mindkét beerdősített kísérletben jelentősen csökkent az AL-oldható foszfortartalom. Ezt leginkább a növényi felvétel okozhatta, mivel a foszfor mélységi elmozdulásával nem kell számolni. A nagy mennyiségű gyökérnedv, a fokozott mikrobiális folyamatok, valamint a kedvezőbb nedvességi viszonyok azonban hosszabb távon elősegíthetik a felvehető P-tartalom növekedését (Chen et al. 2000, Zhao et al. 2007). Ezt igazolja, hogy a tölgyesben a 0-60 cm-es talajréteg oldható P-tartalma az erdősítés előtti értékekhez képest jelentősen nőtt, még a kontroll parcellákon is. Az akácos jelentősen alacsonyabb foszfortartalmát a magasabb pH és az a tény okozhatja, hogy a pillangós virágú növények (Fabaceae), így az akác foszforszükséglete nagy. Bár a tölgyes kísérletben a nagyobb tápanyagtartalmú talajokon jóval nagyobb csökkenés következett be az oldható P tartalomban, ami a meszezett parcellákon még kifejezettebb volt, a nagyobb kezelések oldható foszfortartalma még mindig jelentősen nagyobb a kontroll (1) parcellákénál. A foszfor tehát hosszú ideig maradhat a talajban és kevésbé limitáló tápelem. Más élőhelyekkel összehasonlítva a tölgyes oldható P-tartalma extrém magas a legnagyobb kezelésben, csak a szántó és a felhagyott szántó értékei szintén magasak.

3.2. Talajfauna

Az **ugróvillás-közösségek** (Collembola) fajösszetétele, diverzitása, abundanciája alapján a két beerdősített kísérlet (T, A) átmenet képez a szántóföldek (SZ, FSZ) és a kontroll erdők között (AK, TK, RT). A legalacsonyabb fajszámot, diverzitást és abundanciát a szántóterületen (SZ) találtuk, ami az intenzív mezőgazdasági művelés negatív hatását bizonyítja. A szántóföldi mintákból így több kozmopolita faj került elő (pl. *Brachystomella parvula, Ceratophysella succinea, Mesaphorura macrochaeta, Parisotoma notabilis, Entomobrya multifasciata, Folsomides parvulus, Lepidocyrtus cyaneus*), amik gyakran megtalálhatóak az intenzíven művelt területeken (Debeljak et al. 2007, Twardowski et al. 2016). Ezek a fajok a kedvezőtlenebb körülményeket jobban tolerálják, mint azt a *CCA ordináció* is mutatja. A felhagyott szántón már fajgazdag és abundáns közösséget találtunk, itt a *Shannon diverzitás* éréke még a reliktum erdő (RT) értékeit is meghaladta. A két élőhely *Rényi diverzitási profiljai* között megfigyelhető metszéspont alapján azonban a nyílt területek és az erdők Collembola-közösségei kizárólag a diverzitás alapján nem hasonlíthatók össze. A nyílt élőhelyekre jellemző fajokon kívül a felhagyott szántón megtaláltuk a *Hypogastrura vernalis, Entomobrya lanuginosa, Lepidocyrtus paradoxus, Isotoma viridis* fajokat, melyek inkább már a gyepekre jellemzőek (Ponge et al. 2003, Chauvat et al. 2007). A kontroll erdőállományok (AK, TK, RT), sőt a beerdősített kísérleti területek (T, A) ugróvillás-közösségeinek értékei a szántók beerdősítésének pozitív hatását támasztják alá. A kísérleti területeken az abundancia, fajszám és diverzitásértékek, bár elmaradtak a kontroll akác és kocsánytalan tölgyes állományokétól, a környező szántóterületek faunájával összehasonlítva jóval magasabb Collembola diverzitást találtunk. Ugróvillás faunájuk még átmeneti jellegű, a közösségekben még mindig a nyílt élőhelyekre jellemző fajok dominálnak és csak kevés erdei környezetet preferáló fajt találtunk, mint a *Neanura muscorum, Ceratophysella luteospina, Entomobrya muscorum, Folsomia quadrioculata, Isotomiella minor*, és a *Megalothorax minimus* (Dányi és Traser 2008, Auclerc et al. 2009, Vanhée és Devigne 2018). A kísérletekben talált, a nyílt élőhelyekre jellemző fajok relatív magas száma (pl., *Protaphorura campata, Entomobrya multifasciata, Lepidocyrtus cyaneus, Pseudosinella alba*) a környező élőhelyek hatását mutatják. Az állományok viszonylag fiatal kora a Collembola-közösségek dominancia-struktúrájában is megmutatkozik, amit jól jelez a kísérletek viszonylag magas közösségi dominancia indexe (CDI), az idős reliktum erdővel összehasonlítva. Vizsgálataink során a korábbi műtrágyázás hatására csak eseti különbségek fordultak elő a kísérleti területek állományainak Collembola fajszámában, diverzitásában és dominancia-struktúrában, főként a magas dózisok hatására. Az abundancia azonban tendencia szinten nőtt az egyes kezelésekkel, mindkét állományban, ami összefüggésben lehet a nagyobb fitomassza-produkcióval. A telepített fafajok kiválasztásának szintén jelentős hosszú távú hatása van a talajfaunájára, az idegenhonos faállományok

biodiverzitása általában szegényebb, mint az őshonos fafajok alkotta állományoké (Traser és Csóka 2001, Traser 2003, Winkler és Tóth 2012). Az akácos talajának magasabb szervesanyag-tartalma jól tükröződik a magasabb Collembola abundanciában, összevetve a kocsánytalan tölgyes állománnyal. A fajgazdagság, a diverzitás és az egyenletesség értékei azonban az őshonos kocsánytalan tölgyes állományban voltak nagyobbak. Feltehetően az akác allelopatikus hatása lehet felelős az akácos kísérlet alacsonyabb fajszámáért és diverzitásért, amelyet a diverzitási profilok is jeleznek. Az akácos közösségi struktúrájában a fajok kevésbé egyenletes eloszlást mutattak, amint azt a tölgyes kísérlethez képest magasabb CDI-index mutatja. Itt tehát néhány eudomináns faj nagy abundanciája, illetve a többi faj relatív alacsony egyedszáma bizonyos csoportok számára kedvezőtlen körülményeket tükrözhet. Az összes vizsgált élőhelyet egyben tekintve az egyes fajok jól elkülönülnek a pH-gradiens mentén, a *CCA biplot* alapján az alkalofil *Brachystomella parvulától* kezdve a gyengén szubneutrális *Orchesella cincta* és *Lepidocyrtus cyaneus* fajokon át az acidofil *Tomocerus vulgarisig*.

Vizsgálataink során összesen öt **földigiliszta** fajt találtunk a két beerdősített kísérletben (T, A), három ökológiai típusból (Brown et al. 2004). Epigeikus fajok közül a *Lumbricus rubellus*-t találtunk meg, de csak a tölgyes állományban. Az ebbe az ökológiai típusba tartozó fajok a talajfelszínen élnek, legtöbbször az avarban. Az akác gyorsan lebomló avarrétege tehát élettérként kevésbé felel meg e faj számára, a tölgyesben ellenben vastag, nehezen bomló avarréteg található. Az ún. endogeikus fajok az ásványi talajban élnek és táplálkoznak, itt készítik horizontális járataikat. Kísérelti területeinken ez az ökológiai típus képviselte a legnagyobb fajszámot. A detektált fajok az *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea caliginosa* és *Allolobophora chlorotica* voltak. A felszínen táplálkozó, de mély vertikális járatot készítő ún. anexikus fajokból egyet, a *Lumbricus terrestris*-t találtuk meg relatív nagy egyedszámban, mindkét kísérletben. A kevés detektált faj és az endogeikus fajok dominanciája az erdőtelepítés előtti intenzív művelés hatását mutatja, az anexikus *Lumbricus terrestris* relatív nagy egyedszáma ugyanakkor az erdősítés pozitív hatását jelzi. Vizsgálatunk során statisztikailag igazolható különbségeket egyik vizsgált tényezőre sem tudtunk kimutatni, de az akácos általában minden gyűjtésnél nagyobb abundanciával és biomasszával volt jellemezhető. A meszezés szintén növelte az abundanciát, ami az akácos állományban még kifejezettebb volt. Műtrágyakezelések közül általában mindig a közepes mennyiségű műtrágyázás parcellái bizonyultak a legnagyobb egyedszámúnak és biomasszájúnak. A tendencia szintű magasabb értékek leginkább a kedvezőbb talajnedvességi állapottal, a magasabb szervesanyagtartalommal és pH-val magyarázhatóak. A földigiliszták egyedszáma, valamint a talaj humusztartalma között pozitív kapcsolatot találtunk, ahogy az avar N-tartalma és az egyedszám, illetve biomassza között is. Ez igazolja, hogy a földigiliszták rendkívül hatékonyak az erdőtalajok avarszintjének lebontásában, így a talaj szervesanyagainak felhalmozásában is (Alban és Berry 1994).

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A leromlott, vagy gyenge minőségű szántóföldek beerdősítése bár világszerte egyre növekvő tendenciát mutat, szükségességéről és hasznosságáról megoszlanak a vélemények. Doktori kutatásom eredményei alapján a korábban intenzíven művelt szántóterületek beerdősítése után kedvező változások mentek végbe a talaj tápanyag-szolgáltató képességében és a talajfaunában. A fás vegetáció tehát pozitív hatással van az agrárterületek talajállapotára, továbbá a talajéletet serkentésével hozzájárul a talaj tápanyagforgalmának optimalizálásához.

A kutatási erdményeink tükrében megállapíthatom, hogy az őshonos tölgyes, valamint idegenhonos akácos erdőállomány 20 év alatt egyaránt megváltoztatta talajállapotot, de különbözőképpen. Az akác felhasználta a talaj tápanyagait, a talajt homogenizálta, a humusztartalmat és a pH-t jelentősen megemelte. A tölgyes állományban még érzékelhetőek voltak az erdőtelepítés előtti műtrágyázás és meszelés következtében kialakult különböző talajtulajdonságok. Amíg azonban ez a P- és K-tartalom esetén kifejezett volt, a nitrogéntartalom erősen lecsökkent minden kezelésben és az erdőtelepítéskor meglévő különbségek eltűntek. A talaj N-tartalma tehát már az erdőtelepítést követő néhány éven belül limitáló tényezővé vált. Az akác, mint a Fabaceae család tagja, N-fixáló szimbionta gyökérgümőkkel rendelkezik, ami elősegítette a rendelkezésre álló N mennyiségének növelését és így a hatékonyabb tápanyagfelhasználást. A nagyobb mennyiségű tápanyag hatására tehát kedvezőbb talajállapot jött létre, a talaj homogenizálása hatékonyabban valósult meg. A nagyobb tápanyagtartalmú parcellákon a talajsavanyodás és a bázikus kationok kimosódása is kevésbé volt jellemző. A kedvezőbb tápanyagellátású talajokon mindkét fafaj növekedése erőteljesebb volt, de ez 20 év után már csak kis mértékben volt igazolható. Erdészeti kezelés nélkül a tölgy intraspecifikus kompetíciója erősebb volt a kedvezőbb tápanyagellátású parcellákon, amit a jelentősen alacsonyabb törzsszám és a nagyobb fatérfogatok támasztanak alá.

Az egykori intenzíven művelt szántóföldi kísérletek talajfaunája pozitívan reagált az erdőtelepítésre és jól jelezte a talajtulajdonságok változásait. Az ugróvillás-közösségek vizsgált paraméterei ugyan elmaradtak a kontroll erdőállományokétól, a szántóval összehasonlítva azonban magasabb fajgazdagság, diverzitás és abundancia volt megfigyelhető. A fafajmegválasztás hatása megmutatkozott a vizsgált kísérletekben. Az akácosban ugyan nagyobb ugróvillás-sűrűséget tapasztaltunk, a fajgazdagság, diverzitás és egyenletesség viszont az őshonos kocsánytalan tölgy esetében volt magasabb. A földigiliszták alapján bár nem mutatkozott jelentős különbség az állományok között, az abundancia és biomassza minden gyűjtésnél kissé magsabb volt az akácosban.

Eredményeink alapján **javaslataim** így a következők:

1. A leromlott talajállapotú szántóföldek erdővé történő átalakítását, mint az egyik lehetséges mezőgazdasági művelési módot mindenképp ösztönözni kell. Ez Magyarországon különösen a hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadék hatására erózióval veszélyeztetett dombvidéki területeken szükséges, ahol a jogszabályi előírásokban előírt talajművelési megoldások (pl. szintvonalas művelés) és termesztéstechnológiai eljárások (kapásnövények kizárása, folyamatos talajborítás) nem vezetnek eredményre. Ugyanakkor a felhagyott szántóterületen (FSZ) végzett vizsgálataink eredményei (humusztartalom, ugróvillás diverzitás) alátámasztják, hogy talajvédelmi szempontból a gyepesítés (kaszáló, legelő) is potenciális lehetőség lehet.

2. A rekultiváció során az akáccal való telepítés rövidtávon jelentős pozitív hatásokkal járhat (gyors növekedés, a talaj humusztartalmának növelése), azonban számolni kell a talaj tápanyagainak nagyarányú felhasználásával. Az akác azonban a talajt nitrogénben dúsítja, így gyomosít, ökológiailag is csak degradált élőhelyet jelent, valamint inváziós tulajdonságai miatt a telepítési helyéről továbbterjedhet. Védett természeti területen és Natura 2000 területen akác nem telepíthető.

3. A talaj biodiverzitásának megőrzése és növelése érdekében ezeknek az akáctelepítéseknek egy indokolt részét idővel érdemes őshonos állományokká alakítani. Az átalakítás során a folyamatos erdőállományt, így a talajfedettséget biztosítani kell. A cserjeszint megtartására törekedni kell. Meg kell azonban jegyezni, hogy az akác nagy regenerációs potenciálja miatt állományának környezetkímélő lecserélése jelenleg nem teljesen megoldott.

4. Kocsánytalan tölgy telepítése esetén a talaj N-tartalmát mindenképp figyelembe kell venni, mert az korlátozó tényező lehet, még a többi tápelem kedvezőbb mennyiségben való jelenléte mellett is. Leromlott minőségű, vagy erodált szántóföldek beerdősítése előtt érdemes megfontolni a talaj tápanyagainak (NPK) optimalizálását.

5. A rekultivációs célú erdőtelepítések fafajainak megválasztásánál a talajvédelmi, az erdészeti és természetvédelmi szempontokat is figyelembe kell venni és azokat mérlegelni kell.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatási eredményeimmel magyarországi termőhelyi körülmények mellett, Ramann-féle barna erdőtalaj rozsdabarna erdőtalaj altípusán igazoltam az alábbiakat.

1. **Az intenzív mezőgazdasági használat következtében leromlott talaj erdőtelepítés után 20 évvel regenerálódott, termékenysége javult**, az erdőtelepítés előtti talajállapothoz képest kedvezőbb állapot jött létre.

- Az intenzív mezőgazdasági használat következtében a feltalajban (0-20 cm) erősen lecsökkent ***humusztartalom*** 20 év alatt jelentősen megnőtt (telepítés előtt átlag: 1,17%, beerdősített kísérleti területek átlaga: 2,35%).
- Az intenzív mezőgazdasági használat következtében a feltalajban (0-20 cm) erősen lecsökkent ***pH*** 20 év alatt nem csökkent tovább, sőt megemelkedett (telepítés előtt átlag: pH_{KCl}=4,90, beerdősített kísérleti területek átlaga: pH_{KCl}=5,72).
- A ***mélységi nitrogénfelhalmozódás*** a beerdősített kísérleti területeken megszűnt, a fák hatékonyan felhasználták a rendelkezésre álló nitrogéntöbbletet, akár a mélyebb talajrétegekből is.
- A beerdősített kísérletek ***talajfaunája (Collembola, Lumbricidae)*** fajgazdag, abundáns és diverz, átmenetet képez a tájegységre jellemző erdei ökoszisztémák és az agrárterületek talajfaunája között.

2. **Az őshonos kocsánytalan tölggyel telepített állomány alatti talaj nagymértékben eltérő talajállapottal jellemezhető**, mind a tápanyag-szolgáltatás, mind a talajfauna tekintetében, mint az idegenhonos fehér akác állomány alatti talaj.

- Az akácállomány talajának (0-20 cm) ***humusztartalma*** jelentősen meghaladta a tölgyes állomány talajában mért értékeket (T: 1,73%, A: 2,96%).
- Az akácállomány talajának (0-20 cm) ***pH értékei*** (T: pH_{KCl}=5,12, A: pH_{KCl}=6,31), ***Ca^{2+}-tartalma*** (T: 384 $mg \cdot kg^{-1}$, A: 963 $mg \cdot kg^{-1}$) és ***Mg^{2+}-tartalma*** (T: 94 mg kg^{-1}, A: 108 mg kg^{-1}) jelentősen meghaladta a tölgyes állomány talajában mért értékeket.
- Az akácállomány talajának (0-20 cm) ***oldható foszfortartalma*** nagymértékben lecsökkent (telepítés előtt átlag: 200 mg kg^{-1}, A: 42 mg kg^{-1}).
- A tölgyesben 20 év alatt a 0-20 cm-es talajrétegben csökkent az ***oldható foszfortartalom***, a mélyebb talajrétegek (20-100 cm) oldható P mennyisége azonban minden kezelés esetében nőtt, főként 40-60 cm-en.
- Az akácos ***Collembola*** abundancia értékei jóval magasabbak, azonban a diverzitás és a kiegyenlítettség az őshonos kocsánytalan tölgyes állományban volt magasabb.

3. **A telepítés előtti nagy mennyiségű műtrágyázás a faállományok erőteljesebb növekedését és az erdei struktúra gyorsabb kialakulását eredményezte**, így ezzel összefüggésben a nagyobb tápanyagtartalmú parcellákon 20 év alatt kedvezőbb talajállapot jött létre.

– A tölgyes állomány talajában (0-20 cm) az ***oldható káliumtartalom*** nagyobb mértékű csökkenése esetén (1: -32 mg kg^{-1}, 5: -177 mg kg^{-1}) a ***Ca^{2+}-tartalom*** (1: -1263 mg kg^{-1}, 5: -138 mg kg^{-1}) és ***Mg^{2+}-tartalom*** (1: -68 mg kg^{-1}, 5: -20 mg kg^{-1}) fogyása kisebb mértékű volt, a ***pH értékek*** jobban megemelkedtek (1: pH_{KCl}=-0,60, 5: pH_{KCl}=0,77).

4. **A telepítés előtti meszezés kedvező hatással volt a cserjeborítottságra és a komplex erdei struktúra kialakulására,** ezzel összefüggésben a talajparaméterekre is.

– A telepítés előtti meszezés hatására mindkét állományban jelentősen nőtt cserjeborítottság (Ø: 21%, M: 42%), ami erős pozitív kapcsolatban volt a talaj (0-20 cm) ***humusztartalmával*** (r=70***), ***Ca^{2+}-tartalmával*** (r=50***) és ***Mg^{2+}-tartalmával*** (r=57***), valamint ***pH_{KCl} értékeivel*** (r=45**).

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Folyóirat cikk
IF-os idegen nyelvű, lektorált folyóiratcikk

Harta I., Simon B., Vinogradov Sz., Winkler D. (2020): Collembola communities and soil condition in forest plantations established in an intensively managed agricultural area. In: *Journal of Forestry Research*, 1-14. DOI: 10.1007/s11676-020-01238-z

Lektorált folyóiratcikk IF nélkül, idegen nyelven

Harta I., Winkler D., Füleky Gy. (2018): Impact of former long-term fertilization on springtail communities in a reforested experimental area. *Columella - Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5(1): 13-25. DOI: 10.18380/SZIE.COLUM.2018.5.1.13

Lektorált folyóiratcikk IF nélkül, magyarul

Harta I., Gulyás M., Füleky Gy. (2016): Műtrágyázás tartamhatásának vizsgálata akácosban. In: *Agrokémia és Talajtan*, 65(1): 31-45 p. DOI: 10.1556/0088.2016.65.1.3

Harta I., Winkler D., Füleky Gy. (2018). Újraerdősítés hatása a talaj tulajdonságaira és a mezofaunára (Collembola) egykori szántóföldi műtrágyázási tartamkísérleti területen. *Erdészettudományi Közlemények*, 8(2): 83-97. DOI: 10.17164/EK.2018.024

Konferenciakiadványok
Konferenciakiadványban megjelent magyar nyelvű absztrakt

Harta I., Gulyás M., Füleky Gy. (2016): A talajadottság és a tápanyagellátás hatása különböző művelési ágaknál. In: Nagy Zita Barbara (szerk.) LVIII. Georgikon Napok: Kivonat-kötet. 166

p. Konferencia helye, ideje: Keszthely, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, 2016.09.29-30., p. 73. (ISBN 978-963-9639-84-3)

Harta I., Füleky Gy. (2017): Műtrágyázás utóhatásainak vizsgálata agrárerdő-állományban In: Keresztes Gábor, Kohus Zsolt, Szabó P. Katalin, Tokody Dániel (szerk.) Tavaszi Szél Konferencia 2017: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia: Absztraktkötet. 477 p. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2017.03.31-2017.04.02. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2017. p. 11. (ISBN:978-615-5586-14-9)

Harta I., Füleky Gy., Winkler D. (2017): Újraerdősítés hatása a talajlakó mesofaunára egykori szántóföldi műtrágyázási tartamkísérleti területen. In: Bidló A., Facskó F. (szerk.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia Absztraktkötet. Sopron, Magyarország, 2017.10.24. Soproni Egyetem Kiadó, p. 46. ISBN: 978-963-359-088-1 Soproni Egyetem Kiadó 2017. 59 p.

Harta I. (2018): Újraerdősítés hatása a talajlakó mesofaunára (Collembola), egykori szántóföldi műtrágyázási tartamkísérleti területen. In: Tóth T., Áldorfai Gy. (szerk.) „SZIE Kiváló Tehetségei" Konferencia Előadásainak Összefoglaló Kiadványa. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2018.02.09. Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., 2018, p. 41. ISBN: 978-963-269-732-1

Harta I., Winkler D., Füleky Gy. (2018): Beerdősített szántóföldi tartamkísérletek talajlakó mezofaunájának (Collembola) vizsgálata. Tavaszi Szél Konferencia 2018: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia: Absztraktkötet. p. 49. Konferencia helye, ideje: Győr, Magyarország, 2018.05.04-06. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2018. ISBN: 978-615-5586-26-2

Harta I., Simon B., Vinogradov Sz., Winkler D. (2019): Újraerdősítés hatása a talaj szántott rétegének (0-20 cm) tulajdonságaira, egykori szántóföldi műtrágyázási tartamkísérleti területen. Tavaszi Szél Konferencia 2019: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia: Absztraktkötet. p. 55. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2019.05.03-05. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2019. ISBN: 978-615-5586-42-2

Konfernciakiadványban megjelent magyar nyelvű cikk

Füleky Gy., Harta I. (2016): A gödöllői műtrágyázási kísérlet 45 éve In: Kátai János, Sándor Zsolt, Szász Gabriella (szerk.) Talajtani Vándorgyűlés: "Okszerű talajhasználat - Talajvédelem": Program ; Az előadások és a poszterek összefoglalója. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2016.09.01-2016.09.03. Debrecen: MAE Talajtani Társaság, p. 75.

Harta I., Gulyás M., Füleky Gy. (2016): Célszerű volt–e akácot telepíteni a gödöllői műtrágyázási kísérletben In: Füleky György (szerk.) A táj változásai a Kárpát-medencében. Tájgazdálkodás, tájtermelés; hungarikumok és helyi értékek a mezőgazdaság területén történeti áttekintés. 267 p. Konferencia helye, ideje: Gyöngyös, Magyarország, 2016.06.30-2016.07.02. Gödöllő: Környezetkímélő Agrokémiáért Alapítvány, 2016. pp. 131-135. (ISBN: 978-963-06-2214-1)

Harta I., Gulyás M., Füleky Gy. (2016): A talajadottság és a tápanyagellátás hatása különböző művelési ágaknál. In: Nagy Zita Barbara (szerk.) LVIII. Georgikon Napok. Felmelegedés, ökolábnyom, élelmiszerbiztonság. 610 p. Konferencia helye, ideje: Keszthely, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, 2016.09.29-30., Kivonat-kötet, pp. 602-610. (ISBN 978-963-9639-85-0)

Harta I., Füleky Gy. (2017): Foszfor és káliumtartalom mélységi eloszlása a gödöllői műtrágyázási tartamkísérletben. In: Nagy Zita Barbara (szerk.) LIX. Georgikon Napok. A múlt mérföldkövei és a jövő kihívásai. Konferencia helye, ideje: Keszthely, Magyarország, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, 2017.09.28-29., Kivonat-kötet. pp. 164-174. ISBN: 978-963-9639-89-8

Harta I., Füleky Gy. (2018): Hosszantartó műtrágyázás hatása a talaj tulajdonságaira. XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi konferencia. Magyar nyelvű Tudományos Konferenciakötet (könyv), Szerk.: Füleky György. p. 121. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2018.04.05-07. Gödöllő: MAG Mezőgazdaságért Alapítvány, 2018. ISBN: 978-615-0016-45-0

A TÉZISFÜZETBEN FELHASZNÁLT IRODALOM

Alban, D. H., Berry, E. C. (1994). Effects of earthworm invasion on morphology, carbon, and nitrogen of a forest soil. In: *Applied Soil Ecology*, 1(3): 243-249.

Auclerc A., Ponge J. F., Barot S., Dubs, F. (2009): Experimental assessment of habitat preference and dispersal ability of soil springtails. In: *Soil Biology and Biochemistry*, 41(8): 1596-1604.

Berthrong, S. T., Jobbágy, E. G., Jackson, R. B., (2009): A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, carbon, and nitrogen with afforestation. In: *Ecological Applications*, 19(8): 2228-2241.

Bidló A., Szűcs P., Horváth A., Király É., Hofmann E. (2014): Telepített kocsánytalan tölgy és akác fiatalosok hatása a talaj szénkészletére néhány dunántúli erdőtelepítés példáján. In: *Erdészettudományi Közlemények*, 4(2): 121-133.

Brown, K., Doube, B. M. (2004): Earthworm ecology. Second. CRC Press, Boca Raton, 213-239.

Chauvat, M., Wolters V., Dauber J. (2007): Response of collembolan communities to land-use change and grassland succession. In: *Ecography*, 30: 183–192.

Chen, C. R., Condron, L. M., Davis, M. R., Sherlock, R. R. (2000): Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil. In: *Plant and Soil*, 220(1-2): 151-163.

Chen, C. R., Condron, L. M., Xu, Z. H. (2008): Impacts of grassland afforestation with coniferous trees on soil phosphorus dynamics and associated microbial processes: a review. In: *Forest Ecology and Management*, 255(3-4): 396-409.

Cunningham, S. C., Mac Nally, R., Baker, P. J., Cavagnaro, T. R., Beringer, J., Thomson, J. R., Thompson, R. M. (2015): Balancing the environmental benefits of reforestation in agricultural regions. In: *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 17(4): 301–317.

Dányi L., Traser G. (2008): An annotated checklist of the springtail fauna of Hungary (Hexapoda: Collembola). In: *Opuscula Zoologica*, 38: 3–82.

Debeljak, M., Cortet, J., Demšar, D., Krogh, P. H., Džeroski, D. (2007): Hierarchical classification of environmental factors and agricultural practices affecting soil fauna under cropping systems using Bt maize. In: *Pedobiologia*, 51(3): 229–238.

Deng, Q., McMahon, D. E., Xiang, Y., Yu, C. L., Jackson, R. B., Hui, D. (2017): A global meta-analysis of soil phosphorus dynamics after afforestation. In: *New Phytologist*, 213(1): 181-192.

Dövényi Z. (ed.) (2010): Gödöllői-dombság. In: Magyarország kistájainak katasztere. MTA FKI, Budapest. pp. 705-709.

Füleky Gy., Debreczeni B. (1991): Tápelem-felhalmozódások 17 éves kukorica monokultúra talajában. In: *Agrokémia és Talajtan*, 40: 119-130.

Harta I., Gulyás M., Füleky Gy. (2016): Műtrágyázás tartamhatásának vizsgálata akácosban. In: *Agrokémia és Talajtan*, 65(1): 31–45.

Hong, S., Piao, S., Chen, A., Liu, Y., Liu, L., Peng, S., Sardans, J., Sun, Y., Peñuelas, J., Zeng, H. (2018): Afforestation neutralizes soil pH. In: *Nature communications*, 9(1): 520.

Jobbágy, E. G., Jackson, R. B. (2003): Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. In: *Biogeochemistry*, 64: 205–229.

Jobbágy, E. G., Jackson, R. B. (2004): The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales. In: *Ecology*, 85(9): 2380-2389.

Kovács K., Füleky Gy. (1991): Trágyázási tartamkísérlet eredményei gödöllői barna erdőtalajon 1972-1990. Gödöllő: Gödöllői Agrártudományi Egyetem (GATE), 1991. 274 p.

Li, D. Z., Niu, S.L., Luo, Y.Q. (2012): Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis. In: *New Phytology*, 195: 172–181.

Li, X., Li, Y., Peng, S., Chen, Y., Cao, Y. (2019): Changes in soil phosphorus and its influencing factors following afforestation in Northern China. In: *Land Degradation* & *Develpoment*, 30: 1655–1666.

Ockert, J. (2006): Biomasse- und Nährstoffbilanzierung für einen unterschiedlich gedüngten 11jährigen Robinienbestand (*Robinia pseudoacacia* L.) auf einer ehemaligen landwirtschaftlichen Dauerversuchsfläche bei Gödöllő (Ungarn). Diplomaarbeit, Westungarische Universität, Sopron, 157 p.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., Hayes, D. (2011): A large and persistent carbon sink in the world's forests. In: *Science*, 333(6045): 988–993.

Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., Khanna, P. K. (2002): Change in soil carbon following afforestation. In: *Forest ecology and management*, 168(1-3): 241-257.

Ponge, J, F., Gillet, S., Dubs, F., Fedoroff, E., Haese, L., Sousa, J. P., Lavelle, P. (2003): Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. In: *Soil Biology and Biochemistry*, 35:813–826.

Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Fujimori, S., Strefler, J., Hasegawa, T., Marangoni, G., Krey, V., Kriegler, E., Riahi, K., Vuuren, D. P., Doelman, J., Drouet, L., Edmonds, J., Fricko, O., Harmsen, N., Havlík, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Tavoni, M. (2018): Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5° C. In: *Nature Climate Change*, 8(4): 325.

Traser Gy., Csóka Gy. (2001): A mezofauna – Insecta: Collembola – ásotthalmi fenyő- és tölgyerdők talajában. In: *Erdészeti Kutatások*, 90: 231–240.

Traser Gy. (2003): Hansági nemesnyár és éger erdők ugróvillás (Insecta: Collembola) faunája. Magyar Biológiai Társaság, Budapest. III. Kárpát-medencei Biológiai Szimpózium kiadványa. 153–157.

Twardowski, J. P., Hurej, M., Gruss, I. (2016): Diversity and abundance of springtails (Hexapoda: Collembola) in soil under 90-year potato monoculture in relation to crop rotation. In: *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(8): 1158-1168.

Vanhée, B., Devigne, C. (2018): Differences in collembola species assemblages (Arthropoda) between spoil tips and surrounding environments are dependent on vegetation development. In: *Scientific Reports*, 8: 18067.

Winkler D., Tóth V. (2012): Effects of Afforestation with Pines on Collembola Diversity in the Limestone hills of Szárhalom (West Hungary). In: *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 8: 9–20.

Zhao, Q., Zeng, D. H., Lee, D. K., He, X. Y., Fan, Z. P., Jin, Y. H. (2007): Effects of Pinus sylvestris var. mongolica afforestation on soil phosphorus status of the Keerqin Sandy Lands in China. In: *Journal of Arid Environments*, 69(4): 569-582.