

MIKROELEMTARTALOM-VIZSGÁLATOK DOLOMITSZIKLAGYEP ÉS FEKETE FENYVES TALAJÁN

HALBRITTER ANDRÁS¹, TAMÁS JÚLIA², ANTON ATTILA¹, UZINGER NIKOLETT¹

¹MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet
1022 Budapest, Herman Ottó út 15. e-mail: hal@rissac.hu
²Magyar Természettudományi Múzeum, Növénytár
1476 Budapest, Pf. 222. e-mail: tjuli@bot.nhmus.hu

Kulcsszavak: Budai-hegység, dolomit, fekete fenyő, mikroelem-tartalom, talajkémia, talajszennyezés, zárt sziklagyep

Összefoglalás: Munkánk során egy zárt dolomitsziklagyep és egy északi kitétségsű fekete fenyves talajának mikroelem tartalmát hasonlítottuk össze a Budai hegységben kijelölt 5–5 db mintavételi hely alapján. Minden mintavételi helyről három talajrétegből (0–5 cm, 5–10 cm és 10–15 cm) vettünk kompozit mintákat. A laboratóriumi elemanalízis eredményeként kapott koncentrációkat *t*-próbával hasonlítottuk össze a két mintaterület megfelelő talajrétegei vonatkozásában. A szignifikáns eltérést mutató mikroelemek száma a talaj mélyebb rétegei felé haladva nőtt. A legmélyebb talajrétegben már 10 mikroelem mennyisége mutatott szignifikáns különbséget (Pb, Al, Cd, Sr, Fe, Ba, Zn, Co, Ni, Mn), és itt már minden esetben a fekete fenyves talajából mutattuk ki a nagyobb koncentrációkat. A környezetvédelmi szempontból meghatározott háttérkoncentráció értékét az ólom- és kadmiumtartalom lépte át, mégpedig összesen 3, illetve 4 esetben. A fekete fenyvesek talajában e két porral ülepedő szennyezőanyagot szokatlan módon a 10–15 cm-es mélységből nagyobb mennyiségben lehetett kimutatni, mint a felszínhez közelebbi 5–10 cm-es rétegből. Ugyanitt további mikroelemek koncentrációi is hasonló inverziót mutattak. A két mintaterület talajában megfigyelt különbségek magyarázataként a fekete fenyő hatását, illetve a fenyvesítéskor végzett talajmunkálás hatását vettük figyelembe.

Bevezetés

A természetes dolomitvegetációval borított száraz hegyoldalakon a 20. század kezdetétől megjelent, majd elsősorban a Dunántúli-középhegység területén, több hullámban egyre növekedett a fekete fenyves állományok kiterjedése (SZABÓ 1997, TAMÁS 2001a). A kopárosok fenyvesítésének elsődleges célja a talajerózió megállítása, visszafordítása volt. A korabeli elképzelés szerint a fekete fenyő (*Pinus nigra* Arn.), mivel dús tűavart produkál (CSERESNYÉS et al. 2003), talajjavító hatást fejt ki, ami lehetővé teszi egy viszonylag rövid vágásidejű fenyves stádiumot követően a termőhely iparilag értékesebb fajokkal történő hasznosítását (PODHRADSKY 1866, SZÉKELY 1868). A későbbiekben a tervezett faj váltás a legtöbb területen elmaradt (TAMÁS 2003), noha a virágos kőrís spontán betelepődése egyértelműen jelezte, hogy jó alkalmazkodó képessége révén e faj használható lenne a fekete fenyvesek leváltására (KALÁPOS és CSONTOS 2000, 2003). Ugyanakkor a fekete fenyvesek létesítése egyet jelentett a dolomitgyepek felszámolásával az érintett területeken, ami elsősorban a természetvédelem oldaláról értékelve jelent komoly veszteséget. A pannoni vegetáció történetében jelentős szerepet játszó sziklagyep (BORBÁS 1900), és különösen a dolomitsziklagyep (ZÓLYOMI 1942) ma is számtalan reliktum, illetve endemizmus őrzői (ZÓLYOMI 1958, 1987). Bennük a védett fajok előfordulási aránya és a fajkoalíciók változatossága más növénytársulásokhoz viszonyítva általában elég magas (CSONTOS és LŐKÖS 1992, ISÉPY és CSONTOS 1996,

BARTHA 2001, PENKSZA et al. 2002), így e gyeppek eltűnése érzékeny veszteséget jelent. A kopárfásításoknak a vegetációra tett közvetlen hatásáról BORHIDI (1956) korai munkáját követően többen is beszámoltak (DRASKOVITS és MOLNÁR 1970, BÓDIS 1993, CSONTOS et al. 1996), míg a gyepregeneráció lehetőségeit TAMÁS és CSONTOS (1998), valamint TAMÁS (2001b) vizsgálták.

A dolomitsziklagyeppek esetében különösen markánsan mutakozó cönológiai eltérések viszonylag rövid időn belül felkeltették ökológusaink érdeklődését a mintázatokért felelős háttértényezők iránt is. A jelenlegi témánk szempontjából releváns, talajtani kutatási előzmények közül említendő BABAI (1966) dolgozata, amely a Kis-Szénás északi oldalán, a *Botrychium lunaria* (L.) Sw. (kis holdruta) élőhelyéül szolgáló sziklagyep talajtani elemzését adja. Ugyanebben az évben KOVÁCSNÉ LÁNG (1966) már összehasonlító talajvizsgálatok eredményeit közli nyílt mészkő- és dolomitsziklagyepekre vonatkozóan. Dolgozata a talaj-növény kapcsolat vizsgálatára is kiterjed, mészkőről három, dolomitról hét fajt bevonva. Az utóbbi kutatási irányban később FEKETE et al. (1989) végeztek részletes vizsgálatokat.

A kutatási előzmények tekintetében feltétlenül említendő még JÁRÓ (1996) munkássága, aki vizsgálatsorozatában a Kis- és Nagy-Szénás sziklagyepain túl a kapcsolódó egyéb társulások talajairól is beszámolt és érdeklődését a tájidegen feketefenyvesek talaja sem kerülte el.

A felsorolt talajtani dolgozatok a talajok pH viszonyaira, humusztartalmára és a fő tápelemek koncentrációinak vizsgálatára fektették a hangsúlyt. Adataik összevetését a saját vizsgálatsorozatunkban kapott eredményekkel egy korábbi dolgozatunkban már közzöltük (HALBRITTER et al. 2003). Az általunk vizsgálthoz hasonló talajok mikroelemre vonatkozóan eddig csak KOVÁCSNÉ LÁNG (1966) végzett méréseket, elemelve a Mn és Cu-tartalmat két nyílt dolomitsziklagyepben. A dolomitkopárokra telepített feketefenyvesek talajainak mikroelem-tartalmát korábban senki sem vizsgálta.

Mivel egy eredendően gypes élőhely fenyvesítése meglehetősen nagy beavatkozásnak tűnik, feltételezhető, hogy ez a talaj tápanyagtőkénének mikroelem komponenseiben is mennyiségi változásokat indukál, valamint a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak megváltoztatásán keresztül a mikroelemek felvehetőségére is kihatással van (PAYET et al. 2001).

Miután a Budai-hegység vidékén a leggyakrabban északi lejtőkön találkozhatunk feketefenyvessel, ezért munkánk során annak talaját a zárt dolomitsziklagyep talajával hasonlítottuk össze. Célunk az volt, hogy egységesített módon végrehajtott, és statisztikai eljárásokkal is értékelhető mintavétel és elemzések segítségével megállapítsuk a feketefenyves telepítés hatására a talaj mikroelem-tartalmában bekövetkező változásokat.

Anyag és módszer

Célkitűzéseinknek megfelelően egy zárt sziklagyepet és egy feketefenyvessel borított hegyoldalt választottunk mintaterületül. Mindkettő a Budai-hegységben található, lejtésük 25–35°-os. Az alapkőzet triász földolomit, amelynek aprózódása változatos felszíni formákat, meredek lejtőket hoz létre, amelyeken rendszerint csak igen sekély, kőtörmelekes talaj alakulhat ki. A feketefenyves mintaterület (jelölése FF) a Zsíros-hegy északra tekintő lejtőjén található. A faállományt a második világháború utáni kopárfásítások

során telepítették. Egy korabeli fényképfelvétel szerint (PÁPA 1956) a terület ezt megelőzően erdőtlen volt és jelentős részben sziklagyep uralta. Jelenleg a feketefenyő zárt állománya erősen fényszegény élőhelyet biztosít: talajszinten a relatív megvilágítottság mindössze 5–10%-os (TAMÁS 2003). Az eredeti sziklagyepi fajok csak elenyésző számban élnek túl, a lombos fafajok közül a virágos kőris (*Fraxinus ornus* L.) fiatal példányai fordulnak elő (CSONTOS et al. 1996, 2001). A kiválasztott zárt dolomitsziklagyep, *Festuco-Brometum erecti* archimatricum (ZÓLYOMI 1958), a Nagy-Szénás északi lejtőjén található (jelölése ZG). A fajgazdag gyeperő uralkodó fajai a magyar rozsnok (*Bromus pannonicus* Kumm. et Sendt.), a lappangó sás (*Carex humilis* Leyss.) és az ágas homokliliom (*Anthericum ramosum* L.).

A sziklagyepi mintaterületen 5 db 2 m 4 m-es állandó kvadrátot jelöltünk ki (ezek korábbi botanikai mintavételek helyszínei voltak; TAMÁS és CSONTOS 1998), míg a feketefenyvesben 5 db ugyanakkora méretű, ideiglenes kvadrátot alkalmaztunk. Minden kvadrát pozícióját műholdas helymeghatározóval (Garmin GPS-12) rögzítettük. A mintaterületekre vonatkozó geográfiai adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A mintaterületek általános jellemzői, és az 5–5 kvadrát GPS-koordinátái.

ZG = zárt dolomitsziklagyep, FF = feketefenyves

Table 1. General characteristics of the sampling sites and the GPS co-ordinates of the 5–5 quadrats

Jel	Hely	Expozíció	Lejtőszög	Tszf. m. (m)	GPS-koordináták	
					É-i szélesség	K-i hosszúság
ZG	Nagy-Szénás, zárt dolomit sziklagyep	ÉNy(320°)- É(20°)	25–30°	385–400	1. 47 35,695'	18 52,778'
					2. 47 35,699'	18 52,779'
					3. 47 35,709'	18 52,803'
					4. 47 35,767'	18 52,739'
					5. 47 35,767'	18 52,727'
FF	Zsíros-hegy, feketefenyves	É(350°)- É(20°)	20–30°	390–405	1. 47 35,452'	18 53,928'
					2. 47 35,445'	18 53,915'
					3. 47 35,440'	18 53,903'
					4. 47 35,455'	18 53,934'
					5. 47 35,452'	18 53,918'

Mintaterületeink taljai dolomit alapkőzetén kialakult, fekete színű, mull típusú humusztakaróval rendelkező, morzsás-köves szerkezetű vázталajok, melyekben az 5–10 cm vastag humuszos feltalaj alatt egy törmelékes C szint következik. Igen jó vízáteresztő és jó víztartó képességgel, a gyors felmelegedés következtében fellépő szélsőséges vízgazdálkodással, gyengén lúgos kémhatással jellemezhetők és így a fekete rendzina talajtípusba sorolhatók.

A talajminta-vételezésekre 2002. március 19-én (a FF mintaterületeken) és 2002. április 24-én (a ZG mintaterületen) került sor. A mintaterületek minden egyes kvadrátjánál négy helyen, a kvadrátbelső megkímélésével, az oldalaktól 20–40 cm-es távolságban vettünk részmintákat a 0–5 cm-ig, az 5–10 cm-ig és a 10–15 cm-ig terjedő talajrétegekből csőfúró, spatula, illetve laboratóriumi vegyszerkanál segítségével. A laboratóriumban légszáraz állapotot elért mintákból szitalással távolítottuk el a 2 mm-nél nagyobb kődarabokat, gyökereket és egyéb növényi törmeléket. (Az eltávolított rész tömege ese-

tenként a 80%-ot is elérte.) A kvadrátonkénti 4–4 rész minta talajrétegenként azonos tömegei (<2 mm szemcseméret) a későbbiekben egyesítésre kerültek, így módon egy-egy kvadrátot három, kompozit átlagminta reprezentál az egyes rétegeknek megfelelően.

A laboratóriumi vizsgálatok keretében meghatározásra került a talajminták szervesanyag-tartalma, kémhatása, mikroelem-összetétele és néhány makroelem mennyisége. Az alkalmazott módszerek a következők voltak: minta-előkészítés, pH: MSz 21470/2-81; szervesanyag-tartalom (tömegszázalékban kifejezve): TYURIN (1951) szerint; K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} : 1 : 5 arányú vizes kivonatból, MSz 08-0213-2:1978; felvehető K (K_2O): Lakanen-Erviö (LE)-kivonatból (LAKANEN és ERVIÖ 1971); összes As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, Zn: MSz 20135:1999 szerint. A mikroelemek meghatározása Jobin-Yvon Ultrace 2000 plazmaemissziós spektrométerrel történt.

A statisztikai feldolgozás során *t*-próbák segítségével vetettük össze a zárt sziklagyep és a feketefenyves azonos talajrétegeiben meghatározott talajtani jellemzők értékeit a mintaterületenként vett ($n=5$) alminta alapján. A varianciák egyenlőségének megállapításához F-próbát használtunk.

Eredmények és megvitatásuk

Jelen dolgozatunkban a talajok mikroelemeinek vizsgálatából megállapítható, erősen szignifikáns (*t*-próba: $p > 99\%$) összefüggések feltárására törekszünk. Ezen felül külön figyelmet fordítunk a talajokra vonatkozó szennyezettségi határértékekre. A pH, a szervesanyag-tartalom és a fontosabb makroelem mennyiségeket csak tájékoztató jelleggel hagytuk meg a táblázatokban.

A talaj felső 5 cm-es rétegét vizsgálva a zárt sziklagyepben és a feketefenyvesben talált mikroelem koncentrációk hat esetben tértek el szignifikáns mértékben (2. táblázat). A bárium (Ba), a kobalt (Co), a nikkelt (Ni) és a mangán (Mn) mennyisége a feketefenyves talajában, míg a bór (B) és a cink (Zn) mennyisége a sziklagyep talajában volt jelen nagyobb koncentrációban. A környezetvédelmi szempontból meghatározott természetes háttérkoncentráció értékét két nehézfém, az ólom (Pb) és a kadmium (Cd) lépte túl, mindkét mintaterület esetében hasonló mértékben (KÖM 2000).

Az 5–10 cm-ig terjedő talajrétegben a két vizsgált terület mikroelem-koncentrációi közötti különbség fokozódott, kilenc esetben mutatkozott szignifikánsnak. A feketefenyves talajában, hasonlóan a 0–5 cm-es réteghez, itt is magasabbnak találtuk a Ba, Co, Ni és Mn koncentrációját, amelyekhez ötödik elemként csatlakozott még a kadmium (Cd). A zárt sziklagyep talajában az arzén (As), a bór (B), az ólom (Pb) és a vas (Fe) mennyisége volt szignifikánsan magasabb. A környezetvédelmi háttérértéket meghaladó koncentrációt itt csak két esetben találtunk, a zárt sziklagyepben az ólom (Pb), a feketefenyvesben a kadmium (Cd) értéke volt túl magas.

A 10–15 cm közötti talajrétegben még tovább emelkedett a szignifikáns mikroelem koncentráció különbségek száma, és érdekes módon az értékek mind a 10 esetben (Ba, Zn, Pb, Co, Cd, Ni, Fe, Mn, Al és Sr) a feketefenyves talaján voltak magasabbak.

A környezetvédelmi háttérértéket csak a kadmium (Cd) feketefenyvesben mért koncentrációja haladta meg. Emellett feltétlenül említést érdemel még az ólom is, amelynek mennyisége ugyan nem lépi át a megengedett küszöböt, de koncentrációja szignifikánsan több mint a zárt sziklagyep talajában, és ezen kívül inverziót is mutat, azaz a feketefenyvesben magasabb.

2. táblázat A zárt dolomitsziklagyep és a feketefenyves 0–5 cm mélységű talajrétegeinek összehasonlítása *t*-próba alapján (n=5)

Table 2. Comparisons of the 0–5 cm soil layers of the closed dolomite rock grassland and the Austrian pine plantation, based on *t*-test (n=5)

Feltárás	Jellemző	zárt dsz. (ZG)		feketefenyves (FF)		
		átlag	szórás	átlag	szórás	szign.
	szervesanyag, t %	24,9	6,5	20,5	0,7	–
1:5 arányú vizes kivonat	pH (H ₂ O)	7,4	0,1	7,1	0,1	++
	Ca ²⁺ , mg/kg	271	31,1	161	14,8	++
	Mg ²⁺ , mg/kg	105	13,7	70,4	8,5	++
	Na ⁺ , mg/kg	5,7	1,1	6,0	2,4	–
	K ⁺ , mg/kg	19,5	2,7	2,8	3,8	++
LE-kivonat	K ₂ O, mg/kg	186	41,5	185	18,0	–
Királyvizes feltárás	Ba, mg/kg	9,6	0,9	11,1	1,2	+
	As, mg/kg	0,4	0,2	0,4	0,1	–
	Hg, mg/kg	0,1	0,1	0,0	0,0	–
	Se, mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,1	–
	Mo, mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	–
	B, mg/kg	4,6	0,6	3,8	0,5	+
	Zn, mg/kg	54,3	15,8	30,7	4,6	+
	Pb, mg/kg	46,2(!)	17,3	30,3(!)	4,9	–
	Co, mg/kg	0,7	0,1	1,4	0,4	+
	Cd, mg/kg	0,8(!)	0,2	0,8(!)	0,0	–
	Ni, mg/kg	1,5	0,3	2,5	0,3	++
	Fe, mg/kg	529,2	100,6	474,0	39,9	–
	Cr, mg/kg	0,4	0,6	0,2	0,0	–
	Mn, mg/kg	218,6	39,5	304,6	88,3	+
	Cu, mg/kg	10,1	10,3	4,8	0,3	–
	Al, mg/kg	153,0	38,9	192,8	35,9	–
Sr, mg/kg	6,9	0,8	6,2	0,4	–	
	<2 mm frakció, tömeg%	55,3	16,4	100,0	0,0	

Rövidítések: ++ = szignifikáns eltérés $p > 99\%$ valószínűséggel, illetve + = $99\% < p < 95\%$ valószínűséggel; – = az eltérés nem szignifikáns ($p > 95\%$); szign.= szignifikancia; dsz.= dolomitsziklagyep; * = az adott jellemző értéke jelentős eltérést mutat, de elvi okból (0-érték) szignifikancia nem számolható; ! = a környezetvédelmi határértéket meghaladó koncentráció. A mérés határ alatti értékeknél az átlagot és a szórást önkényesen 0-val jelöltük.

fenyvesben 10–15 cm-es mélységben szignifikánsan több van belőle, mint ugyanott az 5–10 cm-es talajrétegben. Hasonló „koncentráció inverziót” a feketefenyves talajában még a cink és kisebb, de még mindig szignifikáns mértékben a kadmium esetében is kimutattunk. Ezzel szemben a zárt sziklagyep esetében az ólom, a cink és a kadmium koncentrációi egyaránt csökkenő tendenciát mutattak a talaj mélyebb rétegei felé haladva.

Az eddigiek összegzéseként tehát megállapíthatjuk, hogy a két vizsgált élőhely talajának mikroelem összetétele között a különbség a talajmélységgel egyre növekszik és a legmélyebb (10–15 cm-es) talajrétegben már minden esetben a feketefenyvesben talál-

hatunk nagyobb mikroelem mennyiségeket. Emellett a mikroelemek egy részének koncentrációja a feketefenyves 10–15 cm-es talajrétegében magasabb, mint az 5–10 cm-es rétegben.

A kapott eredmények értékelésekor figyelembe kell vennünk, hogy a háttérkoncentrációnál magasabb értéket mutató két mikroelem, az ólom és a kadmium elsősorban az ülepedő porral kerülhet a talajba (KOVÁCS et al. 1986, MIGON et al. 1991, FILEP 1999). Szennyezőforrásként mindenekelőtt a közlekedésre gondolhatunk. A Pilisvörösvári-árokban húzódik a Dunakanyart „levágó” Budapest-Dorog főközlekedési útvonal (a 10-es út), amelynek gépjárműfogalmából eredő szennyeződés az uralkodó szélirány segítségével könnyen eljuthat az általunk vizsgált területekre. Ezen kívül, megfelelő időjárási helyzet esetén elérheti területünket a budapesti közlekedés általi emisszió is, amelynek erős talajszennyező hatását számos adat teszi kétségtelenné (KOVÁCS 1985). A közlekedésen kívül Kovács et al. (1986) a kőtörő üzemeket és a téglagyárakat említik, mint potenciális nehézfém kibocsátókat. A kutatott területeinktől légvonalban 3, illetve 3,2 km távolságban található – éppen az uralkodó szélirány útjában – a pilisvörösvári kőfeldolgozó (Terranova), amelynek bányái már 1945 előtt is üzemeltek (Horánszky András szóbeli közlése). Ezen kívül több téglagyár is régóta működik a környéken.

A felsorolt emissziós források magyarázatát adhatják a tapasztalt nehézfém szennyeződésnek. Egyben elgondolkodtató (és akár ijesztőnek is mondható) a feltáruló helyzet, ha meggondoljuk, hogy mindezen szennyeződések egy tájvédelmi körzetben, részben annak fokozottan védett központi területén mutatunk ki, mintegy 400 m-es tengerszint feletti magasságban.

A diszkusszió során foglalkoznunk kell még a tapasztalt „inverzió” jelenségével. Ha ugyanis a területre jutó nehézfémek az ülepedő porral érkeztek, akkor mennyiségüknek a talaj mélyebb rétegei felé csökkenniük kell, amint ezt a zárt sziklagyep talajában meg is figyelhettük (2–4. táblázat). A feketefenyves talajában azonban a legmélyebb (10–15 cm-es) talajrétegben a cink, az ólom és a kadmium határozottan magasabb koncentrációban volt jelen, mint az 5–10 cm-es talajrétegben. Egyébként számos további mikroelem koncentrációja is inverziót mutatott a feketefenyvesben (3–4. táblázat), de ezek esetében a különbségek nem voltak szignifikánsak.

Az inverzió magyarázataként egy biogén és egy antropogén ok lehetőségét tárgyaljuk meg. Mint biogén ok a feketefenyő jön számításba. Állományaiban a felső talajréteg kissé elsavanyodik (7,4-ről 7,1-es pH értékre; 2. táblázat), amelyhez hasonló folyamatot egyébként más *Pinus* fajok ültetvényeiben is kimutattak (PAYET et al. 2001, RITTER et al. 2003). A feketefenyő gyökerei mélyebbre hatolnak mint a gyepképző fajok gyökérzete, így gyökérsavaik kibocsátásával a mélyebb talajrétegekben is okozhatnak lokális pH csökkenést. Ismert, hogy a talaj savanyodásakor viszonylag jelentősen megnő a fémionok oldatbeli koncentrációja és mobilitása (FILEP 1999). Így a fenyvesek feltalajában mért pH csökkenés elvben hozzájárulhat a szennyező mikroelemek lemosódásához a mélyebb talajrétegekbe. Oldhatósági vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy komplex képződése és specifikus adszorpciós folyamatok révén, az ólom a legerősebben lekötött fém. Mobilitása csak pH<5 esetén növekszik jelentősen, míg semleges pH körüli talajban (amilyen a jelenlegi eset is) mintegy 80%-a kötötten van jelen. A mobilizálódását elősegítő kelátképzők hatása is csak pH 6 alatt érvényesülne számottevően (FILEP 1999).

A kadmium az ólomnál mobilisabb, a talajoldatbeli koncentrációja már 6,5–6 pH-nál jelentősen megnő, de pH 7 körüli helyzetben még igen alacsony. Ráadásul a magas

3. táblázat Az 5–10 cm mélységű talajrétegek összehasonlítása *t*-próba alapján (n= 5)
(a rövidítések feloldása a 2. táblázatnál olvasható)

Table 3. Comparisons of the 5–10 cm soil layers of the closed dolomite rock grassland, the open dolomite rock grassland and the Austrian pine plantation, based on *t*-test (n= 5)

Feltárás	Jellemző	zárt dsz. (ZG)		feketefenyves (FF)		
		átlag	szórás	átlag	szórás	szign.
	szervesanyag, t %	18,3	2,5	11,2	1,9	++
1:5 arányú vizes kivonat	pH (H ₂ O)	7,4	0,0	7,4	0,1	–
	Ca ²⁺ , mg/kg	226	8,2	169	10,9	++
	Mg ²⁺ , mg/kg	87,1	3,9	62,4	7,3	++
	Na ⁺ , mg/kg	5,6	0,7	0,5	0,9	++
	K ⁺ , mg/kg	14,9	2,6	0,4	0,8	++
LE-kivonat	K ₂ O, mg/kg	124	8,7	171	14,4	++
Királyvizes feltárás	Ba, mg/kg	7,3	1,0	9,8	1,6	++
	As, mg/kg	0,3	0,2	0,1	0,1	+
	Hg, mg/kg	0,1	0,1	0,0	0,0	–
	Se, mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	–
	Mo, mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	–
	B, mg/kg	4,8	0,4	4,3	0,5	+
	Zn, mg/kg	38,3	37,0	10,1	2,5	–
	Pb, mg/kg	29,7(!)	9,7	12,4	1,3	++
	Co, mg/kg	0,6	0,2	1,5	0,4	++
	Cd, mg/kg	0,5	0,1	0,6(!)	0,1	+
	Ni, mg/kg	0,9	0,1	1,5	0,4	++
	Fe, mg/kg	383,2	53,9	280,6	38,2	++
	Cr, mg/kg	0,1	0,0	0,1	0,0	–
	Mn, mg/kg	186,8	41,0	354,4	94,5	++
	Cu, mg/kg	3,1	0,5	2,8	0,4	–
	Al, mg/kg	88,2	16,9	89,7	24,9	–
Sr, mg/kg	6,1	0,4	5,8	0,6	–	
	<2mm frakció, tömeg%	48,3	13,8	100,0	0,0	

kalcium-karbonát tartalmú talajokban rosszul oldódó CdCO₃ csapadékot képez (FILEP 1999).

A fentiek szerint tehát a fenyvesítés okozta talajsavanyodás játszhat bizonyos szerepet a mikroelemek lejutásában a talaj mélyebb rétegeibe, de ez a hatás nehezen meghatározható mértékű, és nem egyértelműen meggyőző. Az intercepció, amely a fenyvesekben különösen számottevő (SANTA REGINA és TARAZONA 2000), például közvetlenül csökkenti a talajra jutó csapadék mennyiségét a szomszédos gyepterületekhez viszonyítva. PAYET et al. (2001) szintén óvatosan foglalnak állást a mikroelem mobilizáció kérdésében, és bár sikerült kimutatniuk a Ni és a Cr koncentrációk bizonyos emelkedését sziklagyepre telepített *Pinus elliottii* Engelm. állományok alatt, az eredményeiket nem tekintik elegendően meggyőzőnek (PAYET et al. 2001). Egy további szempont, ami a fenyvesnek a talajra tett hatását kérdésessé teheti, hogy a talajok általában csak igen hosszú idő alatt reagálnak a növényzet változására. Például BARCZI et al. (2004) egy telepített,

dél-tiszántúli kiserdő alatt lényegében ugyanolyan csernozjom talajt mutattak ki, mint a szomszédos, fátlan területeken; hasonlóan RITTER et al. (2003) eredményeihez, akik szántóföldek helyére telepített *Quercus robur* L. és *Picea abies* (L.) Karst. erdők alatti talaj elemzésekor igen lassú változásokról számoltak be.

Az „inverzió” már előrevetített antropogén okaként a talajmegmunkálás hatásait vizsgáljuk meg. A zsíros-hegyi feketefenyvesek telepítésére a kopárfásítási program keretében, az 1950-es években került sor (TAMÁS 2003). A facsemeték kiültetése előtt a hegyoldalakon kéziszerszámok (kapa, csákány) segítségével padkákat alakítottak ki. Ez a művelet a talaj átfogatásával járt, ami így magyarázatot adhat arra, hogy miként kerülhetett a felszínközeli mikroelem szennyezés a talaj mélyebb rétegeibe. Az erősen kötőmelékes talaj megmunkálása közben a használt kéziszerszámok intenzív kopását is joggal feltételezhetjük. Ezáltal értelmezhetővé válik a fenyves 10–15 cm-es talajrétegének a gyepéhez képest szignifikánsan magasabb vastartalma, valamint a többi szignifikáns növekedést mutató mikroelem mennyisége is (4. táblázat); különösen a mangáné, a nikkelé és az alumíniumé, mivel ezek a vasgyártás során használt adalékanyagok. Természetesen ez utóbbi állításunk igazolásához a korabeli kéziszerszámok elemösszetételét is célszerű volna megvizsgálni, de erre a jelen vizsgálat sorozat keretében nem volt lehetőségünk.

Az inverzióra vonatkozóan a fentiekben megvitattott két lehetőség közül az antropogén változat ad átfogóbb magyarázatot a tapasztaltakra, ezért a biogén magyarázat lehetőségét sem kizárva, az antropogén magyarázatot tartjuk valószínűbbnek.

4. táblázat A 10–15 cm mélységű talajrétegek összehasonlítása *t*-próba alapján ($n = 5$)
(a rövidítések feloldása a 2. táblázatnál olvasható)

Table 4. Comparisons of the 10–15 cm soil layers of the closed dolomite rock grassland, the open dolomite rock grassland and the Austrian pine plantation, based on *t*-test ($n = 5$)

Feltárás	Jellemző	zárt dsz. (ZG)		feketefenyves (FF)		
		átlag	szórás	átlag	szórás	szign.
	szervesanyag, t %	12,0	4,8	12,9	2,7	–
1:5 arányú vizes kivonat	pH (H ₂ O)	7,5	0,1	7,3	0,1	–
	Ca ²⁺ , mg/kg	200	14,4	165	9,8	++
	Mg ²⁺ , mg/kg	65,7	25,2	64,1	6,3	–
	Na ⁺ , mg/kg	4,4	2,7	0	0	*
	K ⁺ , mg/kg	12,4	2,8	0	0	*
LE-kivonat	K ₂ O, mg/kg	91,2	19,1	218	6,5	++
Királyvizes feltárás	Ba, mg/kg	5,0	1,6	10,8	1,2	++
	As, mg/kg	0,2	0,1	0,2	0,1	–
	Hg, mg/kg	0,1	0,1	0,0	0,0	–
	Se, mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	–
	Mo, mg/kg	0,0	0,1	0,0	0,0	–
	B, mg/kg	3,9	0,6	4,3	0,6	–
	Zn, mg/kg	11,7	6,9	19,2	3,7	+
	Pb, mg/kg	12,7	1,5	18,6	2,1	++
	Co, mg/kg	0,5	0,2	1,6	0,4	++
	Cd, mg/kg	0,3	0,1	0,7(!)	0,1	++

4. táblázat folytatás
Contd. Table 4.

Feltárás	Jellemző	zárt dsz. (ZG)		feketefenyves (FF)		
		átlag	szórás	átlag	szórás	szign.
	Ni, mg/kg	0,5	0,1	1,9	0,3	++
	Fe, mg/kg	261,2	44,6	339,2	41,9	+
	Cr, mg/kg	0,4	0,7	0,2	0,0	-
	Mn, mg/kg	135,2	57,3	350,0	90,9	++
	Cu, mg/kg	6,6	11,0	3,7	0,4	-
	Al, mg/kg	68,0	34,0	122,7	27,3	+
	Sr, mg/kg	5,0	0,3	6,3	0,6	++
	<2mm frakció, tömeg%	37,8	17,1	>90		

Köszönetnyilvánítás

A terepi mintavételezésben nyújtott segítségért Radimsky Lászlónak, az elemanalízisek elvégzéséért Koncz Józsefnek tartozunk köszönettel. A kézirat lektorainak hasznos észrevételeit és pontosító megjegyzéseit ezúton is hálásan megköszönjük. Munkánkhoz az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) T-037732 és T-038280 számú pályázatai anyagi támogatást biztosítottak.

Irodalom

- BABAI Á. 1966: Cönológiai és talajökológiai vizsgálatok a *Botrychium lunaria* (L.) SW. kis-szénási lelőhelyén. Acta Biol. Debrecina 4: 3–15.
- BARCZI A., PENKSZA, K., JOÓ K. 2004: Alföldi kunhalmok talaj-növényösszefüggés-vizsgálata. Agrokémia és talajtan 53(1–2): 3–15.
- BARTHA S. 2001: Életre keltett mintázatok. A JNP-modellekről. In: OBORNY B. (szerk.) Teremtő sokféleség. Emlékezések Juhász-Nagy Pálra. MTA-ÖBKI, Vácrátót. pp. 61–95.
- BORBÁS V. 1900: A Balaton tavának és partmellékének növényföldrajza és edényes növényzete. A M. Földrajzi Társaság Balaton-Bizottsága kiadása, Budapest.
- BORHIDI A. 1956: Feketefenyveseink társulási viszonyai. Bot. Közlem. 46: 275–285.
- BÓDIS J. 1993: A feketefenyő hatása nyílt dolomit sziklagyepre. I. Texturális változások. Bot. Közlem. 80(2): 129–139.
- CSERESNYÉS I., BÓZSING E., CSONTOS P. 2003: Erdei avar mennyiségének változása dolomitra telepített feketefenyvesekben. Természetvédelmi Közlemények 10: 37–49.
- CSONTOS P., LŐKÖS L. 1992: Védett edényes fajok térbeli eloszlás-vizsgálata a Budai-hg. dolomitvidéken – Szünbotanikai alapozás természetvédelmi területek felméréséhez. Bot. Közlem. 79(2): 121–143.
- CSONTOS, P., HORÁNSZKY, A., KALÁPOS, T., LŐKÖS, L. 1996: Seed bank of *Pinus nigra* plantations in dolomite rock grassland habitats, and its implications for restoring grassland vegetation. Annls hist.-nat. Mus. natn. hung. 88: 69–77.
- CSONTOS, P., TAMÁS, J. & KALÁPOS, T. 2001: Correlation between age and basal diameter of *Fraxinus ornus* L. in three ecologically contrasting habitats. Acta Botanica Hungarica 43: 35–43.
- DRASKOVITS, R., MOLNÁR, E. 1970: Vergleich einiger zöologischer, ökologischer Merkmale der xerothermen Eichen- und gepflanzten Schwarzkieferbestände in den Csiki-Bergen. Ann. Univ. Sci. Budapest 12: 111–115.
- FEKETE, G., TÖLGYESI, Gy., HORÁNSZKY, A. 1989: Dolomite versus limestone habitats: a study of ionic accumulation on a broader floristic basis. Flora 183: 337–348.
- FILEP Gy. 1999: Talajszennyeződés, talajtisztítás. In: STEFANOVITS P., FILEP, Gy., FÜLEKI Gy. Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 363–381
- HALBRITTER A., CSONTOS P., TAMÁS J., ANTON A. 2003: Dolomitziklagyeppek és feketefenyvesek talajainak összehasonlító vizsgálata. Természetvédelmi Közlemények 10: 19–35.

- ISÉPY, I., CSONTOS, P. 1996: Comparison of 24 grassland communities in the Carpathian-Basin with the emphasis on their role in nature conservation. Proceedings of the „Research, Conservation, Management” Conference, Aggtelek, Hungary, 1–5 May, Vol. 1. pp. 309–317.
- JÁRÓ Z. 1996: Ökológiai vizsgálatok a Kis- és Nagy-Szénáson. Természetvédelmi Közlemények 3–4: 21–53.
- KALAIPOS T., CSONTOS P. 2000: A lomblevél szerkezeti és működési sajátosságainak változatossága különböző termőhelyen nőtt *Fraxinus ornus* populációknál. V. Magyar Ökol. Kongr., 1. rész, Előadások és poszterek kivonatai. Acta Biol. Debr. Oecol. Hung. 11/1: 242.
- KALAIPOS, T., CSONTOS, P. 2003: Variation in leaf structure and function of the Mediterranean tree *Fraxinus ornus* L. growing in ecologically contrasting habitats at the margin of its range. Plant Biosystems 137(1): 73–82.
- KOVÁCS M. 1985: A nagyvárosok környezete. Gondolat Kiadó, Budapest, 108 pp.
- KOVÁCS M., PODANI J., TUBA Z., TURCSÁNYI G. 1886: A környezetszennyezést jelző és mérő élőlények. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 191. pp.
- KOVÁCSNÉ LÁNG E. 1966: Összehasonlító talaj- és növényanalízis dolomit- és mészkő-sziklagyepekben. Bot. Közlem. 53(3): 175–184.
- KÖM 2000: KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről. [10/2000. (VI. 2.)]
- LAKANEN, E., ERVIÖ, R. 1971: A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Fenn. 123: 223–232.
- MIGON, C., MORELLI, J., NICOLAS, E., COPINMONTÉGUT, G. 1991: Evaluation of total atmospheric deposition of Pb, Cd, Cu and Zn to the Ligurian sea. Science of the Total Environment 105: 135–148.
- PÁPA M. 1956: Budai hegyek útikalauz. Sport lap- és könyvkiadó, Budapest.
- PENKSZA K., KÁDER F., SÜLE Sz. 2002: Vegetációtanulmány a Balatonalmádi Megye-hegyről. Folia Musei Hist.-Nat. Bakonyiensis 19: 7–24.
- PAYET, C., SCHOLLES, M. C., BALKWILL, K. 2001: Some effects of the cultivation of pine on the chemistry of ultramafic soils. South African Journal of Science 97: 603–608.
- PODHRADSKY, A. 1866: Előhegyeink kopár déoldalainak, tisztásainak s vizmosásainak legbiztosb és legolcsóbb erdősítéséről. Erdészeti és Gazdászati Lapok 5: 22–32.
- RITTER, E., VESTERDAL, L., GUNDERSEN, P. 2003: Changes in soil properties after afforestation of former intensively managed soils with oak and Norway spruce. Plant and Soil 249(2): 319–330.
- SANTA REGINA, I., TARAZONA, T. 2000: Nutrient return to the soil through litterfall and throughfall under beech and pine stands of Sierra de la Demanda, Spain. Arid Soil Research and Rehabilitation 14: 239–252.
- SZABÓ, P. (szerk.) 1997: Magyarország erdőállományainak főbb adatai 1996. Országos adatok. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest.
- SZÉKELY M. 1868: A feketefenyő (*Pinus austriaca*) művelésének és terjesztésének hasznairól. Erdészeti Lapok 7: 205–210.
- TAMÁS J. 2001a: A feketefenyvesek telepítése Magyarországon, különös tekintettel a dolomitkopárokra. Természetvédelmi Közlemények 9: 75–85.
- TAMÁS J. 2001b: Tűz utáni szukcesszió vizsgálata feketefenyvesekben. Ph.D. értekezés, ELTE, Budapest, 140. pp.
- TAMÁS J. 2003: The history of Austrian pine plantations in Hungary. Acta Botanica Croatica 62: 147–158.
- TAMÁS J., CSONTOS P. (1998): A növényzet tűz utáni regenerálódása dolomitra telepített feketefenyvesek helyén. In: CSONTOS P. (szerk.) Sziklagyepek szünbotanikai kutatása, Scientia Kiadó, Budapest, pp. 231–264
- TYURIN, I. V. 1951: K metodike analiza dlja szovesennogo uzucsenyija szosztava pocsvnogo peregnjo ili gumusza. In: Trudü Pocsvennogo Insztituta V. V. Dokucsajeva, AN. SSSR, Moszkva. 38: 5.
- ZÓLYOMI B. 1942: A középdunai flóraválasztó és a dolomitjelenség. Die Mitteldonau-Florenscheide und das Dolomitphänomen. Bot. Közlem. 39(5): 209–231.
- ZÓLYOMI B. 1958: Budapest és környékének természetes növénytakarója. In: PÉCSI M. (szerk.) Budapest természeti képe. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 508–642.
- ZÓLYOMI B. 1987: Coenotone, ecotone and their role in preserving relic species. Acta Bot. Hung. 33: 3–18.

MICROELEMENT CONTENT STUDIES IN SOILS OF DOLOMITE GRASSLANDS
AND AUSTRIAN PINE PLANTATIONS

ANDRÁS HALBRITTER¹, JÚLIA TAMÁS², ATTILA ANTON¹ NIKOLETT UZINGER¹

¹Res. Inst. for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hung. Acad. Sci.
Herman Ottó út 15., Budapest, H-1022 e-mail: hal@rissac.hu

²Botanical Department of the Hungarian Natural History Museum
P.O. Box 222., Budapest, H-1476 e-mail: tjuli@bot.nhmus.hu

Keywords: Buda Hills, dolomite, microelement content, *Pinus nigra*, rock grassland, soil analyses, soil pollution

Soil microelement content of closed dolomite grassland (ZG) and *Pinus nigra* Arn. plantation (FF) of north facing slopes were compared. At FF sites the original vegetation was ZG prior to afforestation. For each vegetation type 5 sampling sites were selected in the Buda Mts., Hungary. At each sites soil samples were taken from three depths (0–5 cm, 5–10 cm and 10–15 cm) then transported to the laboratory. Microelement concentrations of the corresponding soil layers of the two vegetation types were statistically analyzed (*t*-test). Number of microelements showing significant differences in their concentrations was increased with soil depth. At the deepest layer (10–15 cm) significant differences were found for 10 microelements (Pb, Al, Cd, Sr, Fe, Ba, Zn, Co, Ni, Mn) and their concentrations were always higher in the pine plantation. Values exceeding the limits of background concentrations were found for lead (Pb) and cadmium (Cd) in three and four cases, respectively. Surprisingly, in case of FF sites these airborne trace-element pollutants showed concentrations higher at depth 10–15 cm than at depth 5–10 cm. Concentrations of some further trace-elements showed similar inversion at FF sites, but their amounts did not exceed limits of background concentrations. Possible causes of the observed differences between soils of grassland and pine plantation sites were discussed.