

Kaszálás felhagyás hatása helyreállított szikes és löszgyepek vegetációjára

Kelbert Bernadett

Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar,
Ökológiai Tanszék, Debrecen
kelbertb@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

Természetvédelmi gyeprekonstrukció során felhagyott szántóterületeken gyakran alkalmazzák a kevésfajos magkeverék vetését. A rekonstrukciós beavatkozásokat követően pedig létfontosságú a területek utókezelésének hosszú távú fenntartása is. Mivel Magyarországon a legelő állatállomány az utóbbi évtizedekben drasztikusan lecsökkent, így a kaszálás vált nagy kiterjedésű korábban legeltetett gyepterületek kezelésének a leginkább fenntartható módszerévé. A rendszeres kaszálás fontosságának hangsúlyozásának okán a kaszálás felhagyásának hatásait vizsgáltuk olyan telepített gyepekben, amelyekben már kialakult a vetett, őshonos pázsitfűvek által dominált gyepvegetáció. Az alábbi kérdésekre kerestük a választ. (1) Milyen hatással van a kaszálás felhagyása a vetett gyepvek szerkezetére? (2) Milyen hatással van a kaszálás felhagyása a vetett pázsitfűvek, a kísérő célfajok és a gyomok mennyiségére? (3) Elégséges-e az évi egyszeri kaszálás a vetett gyepvek kedvező állapotának megőrzéséhez? Eredményeink alapján kijelenthető, hogy a kaszálás felhagyásának következtében az avar mennyisége megnőtt, ezzel párhuzamosan a gyepvegetáció összbortúsága és a vetett pázsitfűvek borításának lecsökkent. A felhagyott területeken jellemző volt az élő gyomok borításának növekedése. Vizsgálataink alapján elmondható, hogy a rendszeres, évi egyszeri kaszálás fontos és elégséges kezelés lehet a vetett gyepvek kedvező állapotának megőrzéséhez. Azonban a természetközeli, fajgazdag gyepvekhez hasonló vegetáció kialakítása érdekében további beavatkozásokra van szükség. Eredményeink rávilágítanak arra, hogy a gyeprekonstrukciós beavatkozások során, már a tervezési fázisban számolni kell a hosszútávú utókezelés fenntartásával és költségeivel.

Kulcsszavak: gyeprekonstrukció, kevésfajos magkeverék, utókezelés, Hortobágy, *Cirsium arvense*

SUMMARY

Grasslands recovered by sowing of low diversity seed mixtures are frequently managed by mowing. However only a few studies focused on the direct effects of post-restoration mowing on recovered grassland vegetation. In this study we followed vegetation changes in 13 recovered grasslands, in 5x5-m-sized exclosures with continuous and ceased mowing in Hortobágy, East-Hungary. We asked the following study questions: (i) What are the effects of cessation of mowing on the vegetation structure of recovered grasslands? (ii) What are the effects of cessation of mowing on the abundance of sown grasses, target and weed species? (iii) Is yearly mowing an appropriate management for the maintenance of recovered grasslands? Our results showed that the cessation of mowing caused litter accumulation, decrease in total cover and decrease in the cover of sown grasses compared to the continuously mown exclosures. The cover of perennial weeds was significantly higher in unmown exclosures compared to the mown ones. The species composition in mown exclosures remained more

similar to reference grasslands than to the unmown ones. Our results suggest that without a regular post-restoration mowing the favourable stage of recovered grasslands can be rapidly vanished caused by litter accumulation and/or by the expansion of undesirable weedy species. We also stress that yearly mowing is solely enough to maintain grasslands recovered by low-diversity seed sowing, but cannot be considered to be enough to recover target vegetation composition.

Keywords: grassland restoration, seed sowing, abandonment, post-restoration management, biodiversity, *Cirsium arvense*

BEVEZETÉS

Az utóbbi évtizedekben a gyepvek fajgazdagsága és területe hazánkban, valamint Európa szerte egyaránt lecsökkent, amihez a nagy kiterjedésű tájrendezések, beépítések, lecsapolások mellett a területek kezelésének felhagyása vagy a hasznosítás intenzívebbé válása is hozzájárult (Bischoff et al., 2005; Valkó et al., 2012). Mivel Európa keleti felén évről évre nő a szántóföldi művelésből kivont területek nagysága, ezért fontos a gyepvek megóvása szempontjából a korábbi szántóterületek gyepesedésének kutatása (Cramer és Hobbs, 2007). Magyarországon például 1990 és 2004 között a szántó művelési ágba tartozó területek több mint 10%-án (mintegy 600000 ha) hagytak fel a műveléssel (Cramer és Hobbs, 2007). Természetvédelmi szempontból kézenfekvő megoldás a felhagyott szántóterületek gyepesítése, amelynek fő célja az adott tájra jellemző gyepvekhez hasonló közösségek kialakítása (Cramer és Hobbs, 2007).

A gyepvek jelentős szerepet játszanak a biológiai sokféleség megőrzésében és fenntartásában (Pullin et al., 2009; Habel et al., 2013). Kiemelten fontos a tájleptékben egyedülálló gyepközösségek, így a veszélyeztetett pannon szikes és löszgyepek biodiverzitás megőrzése és védelme (Valkó et al., 2013a).

Gyepterületek létrehozása támaszkodhat a spontán szukcessziós folyamatok támogatására (Vida et al., 2008; Kelemen et al., 2010; Török et al., 2011a), de a korábban intenzíven művelt mezőgazdasági területek spontán gyepesedése egyes esetekben lassú, alacsony hatékonyságú vagy sikertelen folyamat (Hutchings és Booth, 1996; Kelemen, 2010). Nagy területű, természetvédelmi célú gyepesítések kivitelezésére leggyakrabban a kevésfajos magkeverék vetését használják (Deák és Kapocsi, 2010; Deák és Valkó, 2013). A kevésfajos magkeverékeket általában a céltársulásra jellemző domináns fajok (2-8 faj) magjaiból, terméseiből

állítják össze (Török et al., 2011b; Kelemen et al., 2013a; Szentés et al., 2013). A vetett féltermészetes gyepek alkalmasak a természetes élőhelyek körül pufferzónák kialakítására, vízgyűjtő területek helyreállítására, valamint a feldarabolódott élőhelyeket összekötő zöld folyosók létrehozására (Török et al., 2013).

A gyepesítés kivitelezését követően, a területek hosszú távú kezelése (általában kaszálás vagy legeltetés) a természetes gyepekhez hasonló összetételű gyepek kialakulása szempontjából is nagyon fontos (Penksza et al., 2007, 2008, 2010; Zimmermann et al., 2011; Szabó et al., 2011; Kiss et al., 2011; Harcsa et al., 2008; Póti, 1998; Bedő és Póti, 1999; Pajor et al., 2007; Póti et al., 2007; Penksza et al., 2013). Mind a természetes gyepek, mind a vetett gyepek esetén a kaszálás az egyik legelterjedtebb területkezelési módszer (Antonsen és Olsson, 2005; Valkó et al., 2012). Annál is inkább, mert Magyarországon a legelő állatállomány az utóbbi évtizedekben drasztikusan lecsökkent, így nagy kiterjedésű területek esetében sok helyen a kaszálás a vált a leginkább fenntartható kezelési módszerre (Isselstein et al., 2005). A legtöbb gyeprekonstrukciós programot támogató pályázati konstrukció viszonylag rövid ideig nyújt támogatást, továbbá gyors és látványos eredményeket vár el a kivitelezőktől. Ez megnehezíti a hosszú távú területkezelés és monitoring kivitelezését. Az egykori szántóterületeken zajló gyepesítések esetén gyakori, hogy a hosszú távú szántóföldi művelés következtében magas a talaj tápanyag- és gyommag tartalma (Huston, 1999; Török et al., 2012a). A tápanyagtöbblet a magvetést követően intenzív avar felhalmozódást okozhat, míg a magas gyommag tartalom ezzel összefüggésben igen intenzív gyomosodást eredményezhet. Mindkét tényező hosszútávon akadályozhatja a természetes gyepekre jellemző fajok betelepülését (Manchester et al., 1999; Török et al., 2010; Deák et al., 2011). A kaszálás csökkenti az élő fitomassza és az avar mennyiségét, ezáltal hozzájárul olyan szabad foltok kialakulásához melyek lehetőséget és teret biztosítanak számos kísérő faj megtelepedésére (Billeter et al., 2007; Gerard et al., 2008; Kelemen et al., 2013b).

A kaszálás felhagyása negatív hatással lehet a gyepek szerkezetére és fajkészletére, mivel a felhagyás után jellemző az avar felhalmozódása és az élőlégyomok, illetve fászszerűak térnyerése (Diemer et al., 2001; Saláta et al., 2011; Uj et al., 2013). Kevés olyan publikáció született, mely a kaszálás felhagyásának hatását vizsgálja vetett gyepekben. A legtöbb, ezzel a témával foglalkozó publikációban olyan területeket vizsgáltak, amelyeket a rekonstrukciós beavatkozást követő első évtől kaszáltak, illetve nem kaszáltak (Antonsen és Olsson, 2005; Kiehl és Pfandenauer, 2007; Lawson et al., 2004). A kaszálás segítségével történő utókezelés fontossága miatt szükség van olyan vizsgálatokra is, amelyek már a jól gyepesedett vetett gyepekben vizsgálják a kaszálás felhagyásának hatásait. A jelen vizsgálatban ennek okán a kaszálás felhagyásának hatásait vizsgáltuk olyan vetett gyepekben,

amelyekben kialakult egy a vetett pázsitfűvek által dominált gyepvegetáció. Az alábbi kérdésekre kerestük a választ: (1) Milyen hatással van a kaszálás felhagyása a vetett gyepek szerkezetére? (2) Milyen hatással van a kaszálás felhagyása a vetett fűvek, a célfajok és a gyomok mennyiségére? (3) Elegendő-e az évi egyszeri kaszálás a kialakult gyepek kedvező állapotának megőrzéséhez?

ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintaterület jellemzése és története

Vizsgálati területeink az Egyek-Pusztakócsi mocsárrendszer magasabban fekvő térszínein, Tiszafüred és Egyek községek közigazgatási határában helyezkednek el. A tájat egykor nagy kiterjedésű lösz- és szikes pusztákból, és mocsarokból álló mozaikos vegetáció borította. A növényzetet a Tisza áradásai mellett, a vadon élő, majd az ezeket felváltó háziasított nagytestű növényevők legelése alakította és tartotta fent, de időszakosan a tűz hatása is igen jelentős lehetett (Sümegei, 2004; Valkó et al., 2013b).

Az Egyek-Pusztakócsi mocsárrendszer területe mintegy 4000 hektár, átlagos tengerszint feletti magassága 88-92 m. Az évi középhőmérséklet 9,5 °C, a csapadék éves összege jellemzően mintegy 550 mm. A szántóföldi művelés elsősorban a tetőhelyzetben található löszgyepeket, valamint a magasabb térszíneken elhelyezkedő cickafarkfüves szikes gyepeket érintette (Varga Sípos, 1984).

A mocsárrendszer helyreállítása 1976-ban kezdődött, mely a mocsarak vízutánpótlásának megoldását és a vizes élőhelyek rehabilitációját tűzte ki célul. A hosszú távú tájrekonstrukciós program sikere érdekében elengedhetetlen volt a mocsarak között húzódnak szántóterületek helyén korábban jellemző gyepterületek visszaállítása. Mivel ezek a meliorált területek a mocsarak vízgyűjtő területein helyezkedtek el, jelentősen csökkentették a vizes élőhelyek vízutánpótlását. A területekről vegyszerek (műtrágya és növényvédőszer) mosódtak be a természetes vizekbe, ami növelte az eutrofizáció sebességét a mocsarakban. A 2004-ben indult LIFE-Nature program egyik legfontosabb célja ezért ezeknek az intenzíven művelt területeknek gyepekké alakítása volt. A program keretében mintegy 760 ha szántóterület gyepesítése történt meg, amely az egyik legnagyobb területű ilyen jellegű beavatkozás Európában (ld. Török et al., 2010; Valkó et al., 2010).

Gyepesítési módszer

A gyepesítés program során az egykori szikes gyepek (*Achilleo setaceae-Festucetum pseudovinae* Soó (1933) 1947 corr. Borhidi 1996) és löszgyepek (*Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae* Soó 1940 corr. 1964) helyreállítását tűzték ki célul, mely során kétféle, szikes- illetve löszgyepi vázfajokat tartalmazó magkeveréket használtak. Szikes magkeveréket a 90 m-es tengerszint feletti

magasságnál alacsonyabban, míg a lősz magkeveréket a 90 m-es tengerszint fölötti magasságnál magasabban fekvő térszínekre vetettek. A szikes gyepek vázfajait (*Festuca pseudovina* 67%, *Poa angustifolia* 33%) tartalmazó magkeveréssel vetett hét gypesítés összterülete 56,1 ha volt. A Hortobágyra jellemző lőszgyepi vázfajokat (*Festuca rupicola* 40%, *Poa angustifolia* 30%, *Bromus inermis* 30%) tartalmazó magkeveréssel vetett hat gypesítés összterülete 37,3 ha volt. A magkeverékek összeállításának körülményeit, a fajok arányait és a vetést Deák et al. (2008) cikke részletesen ismerteti. Az őszi vetés (2005. október) során a magkeveréket teljes talajelőkészítést követően 25 kg/ha vetőmagnormával vetették. A vetést követően a területeket évi egyszeri, június második felében végzett kaszálással kezelték (Deák et al., 2008). A vetés és a kaszálás hatására az első évben kialakult, egyéves gyomokból álló közösséget a harmadik évre felváltotta egy, a vetett fűvek nagy borításával jellemezhető közösség.

Mintavétel

A mintavétel során 13 gypesített szántón 1-1 pár, 5×5 m-es blokkot jelöltünk ki. A mintavételi blokkokat hat éven keresztül mintavételeztük. A blokkok mindegyike a vetést követő három évben (2006, 2007, 2008) kaszálva volt, a negyedik (2009) évben minden párból az egyikben felhagytunk a kaszálással, míg a másikat továbbra is évi egyszeri, június közepén végzett kaszálással kezeltük. A vegetáció változásait a kaszálás felhagyását követő két évben (2010, 2011) vizsgáltuk. A blokkokban 4 db 1×1 m-es, szabályos elrendezésben elhelyezett kvadrátban felírtuk az ott előforduló edényes növényfajokat, a vegetáció magasságát, és százalékos borításbecslést is végeztünk, minden évben, május végén. Ugyanekkor blokkonként 10 db 20×20 cm-es fitomassa mintát is vettünk. Referenciaként természetközeli állapotú szikes (*Achilleo setaceae-Festucetum pseudovinae*) és lőszgyep (*Salvio nemorosae-Festucetum rupicolae*) 3-3 állományát is felmértük a fent leírtak szerint.

Adatfeldolgozás

A felvételekben szereplő fajokat a gypesítési célok tükrében célfajokként, illetve gyomokként soroltuk be. A *Festuco-Brometea* cönológiai osztály fajait tekintettük célfajnak, az erre a kategóriára nem jellemző fajokat pedig gyomoknak tekintettük. A fajok besorolását Soó (1964-1980) és Borhidi (1995) munkái alapján végeztük el. Az alkalmazott magkeverék, a kezelés és a terület az egyes vegetációjellemzőkre gyakorolt hatását egyszempontú GLM (Zuur et al., 2009) segítségével vizsgáltuk. A leíró és egyszempontú statisztikákat SPSS 17.0 programcsomaggal számoltuk. A

vegetációjellemzők évek közötti különbségeit a két különböző magkeveréssel vetett területeken belül RM ANOVA segítségével vizsgáltuk. A szignifikánsan elváló csoportok kiválasztásához, post-hoc tesztként Tukey-tesztet használtunk ($p < 0,05$). Az elemzést STATISTICA 10.0 programmal végeztük. A nem kaszált és kaszált karámok, illetve a referencia gyepek vegetációjának összehasonlításához borítás adatokon alapuló DCA ordinációt használtunk, melyet CANOCO 4.5 programmal számoltuk (ter Braak és Šmilauer, 2002).

EREDMÉNYEK

A kaszálás felhagyása szignifikáns hatással volt az avar mennyiségére és a vegetáció borítására (1. táblázat). Az avar mennyisége magasabb, míg a vegetáció borítása alacsonyabb volt a nem kaszált blokkokban (1. ábra). Hasonló trendeket tapasztaltunk az eltérő típusú magkeveréssel vetett területeken, bár a hatás mértéke szignifikánsan függött az alkalmazott magkeveréktől és a vizsgált állománytól is (1. táblázat). Az avar mennyisége a felhagyott blokkokban az évek során szignifikánsan növekedett (RM ANOVA, $p < 0,05$). Az élő fitomassa esetében nem tapasztaltunk egyértelmű trendeket. A kezelés a vegetáció magasságára nem gyakorolt szignifikáns hatást, a gypmagasság leginkább a vizsgált állománytól függött (1. táblázat). A vetett fűvek borítására mind a kezelésnek, mind az adott állománynak szignifikáns hatása volt (1. táblázat). A vetett fűvek borítása az összes vizsgált gypben alacsonyabb volt a nem kaszált, mint a kaszált blokkokban (1. ábra) és az évek során a nem kaszált blokkokban magkeveréktől függetlenül egyre alacsonyabb lett (RM ANOVA, $p < 0,05$, 2. ábra). A kaszálásnak nem volt szignifikáns hatása a célfajok borítására és fajszámára (1. táblázat). A rövidéletű gyomok borítása a magkeveréktől és a vizsgált területtől, míg az évelő gyomok borítása inkább a kezeléstől függött; és szignifikánsan nagyobb volt a nem kaszált blokkokban (1. táblázat, 1. ábra). Ez igaz volt mind a két gyakori évelő gyomra, a *Cirsium arvense*-re és az *Elymus repens*-re, melyek borítására az alkalmazott magkeveréknek is szignifikáns hatása volt (1. táblázat). Az évelő gyomok mennyisége a lősz magkeveréssel gypesített területeken szignifikánsan kisebb volt, mint a szik magkeveréssel gypesített területeken (1. és 3. ábra). A kaszálás felhagyása a Shannon-diverzitásra szignifikánsan negatív hatást gyakorolt (1. táblázat).

A DCA ordináció azt mutatja, hogy a kaszált területek vegetációja a magkeverék típusától függetlenül, jobban hasonlít a referencia gyepek vegetációjára, mint a nem kaszált területeké. A DCA ordinációban a kaszált és nem kaszált területek elválását főként az eltérő avar mennyiségek okozták (4. ábra).

A magkeverék, a kezelés (független faktor) és a vizsgált terület (kovariáns) hatása a vegetációjellemzőkre (függő változók)
A GLM elemzés a 6. év fitomassza és vegetáció felméréseinek adatain alapul

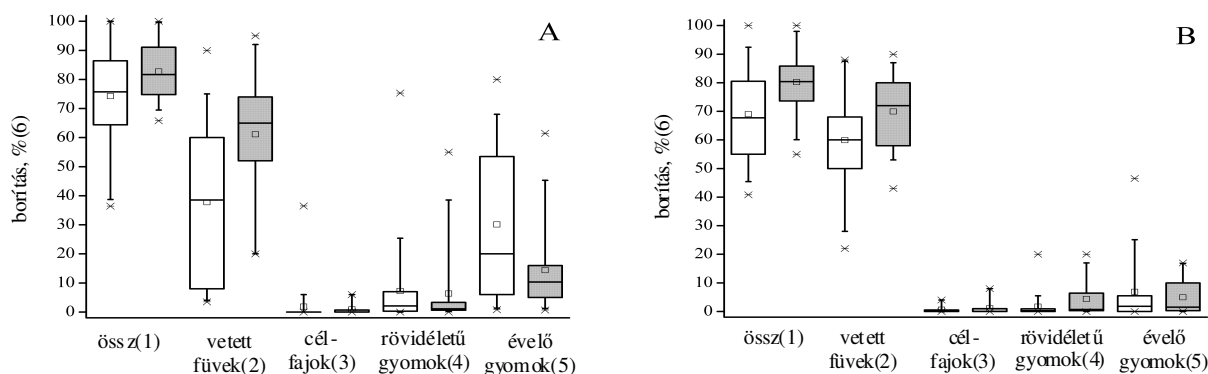
	Magkeverék(1)		Kezelés(2)		Magkev.×Kez.(3)		Terület(4)	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Avar(5)	26,90	***	60,12	***	2,92		33,57	***
Élő fitomassza(6)	0,06		0,16		7,20	**	0,31	
Vegetáció magasság(7)	3,26		0,90		0,93		8,07	**
Összborítás(8)	16,37	***	6,68	*	0,87		14,53	***
Vetett fű borítás(9)	0,66		22,66	***	3,10		11,72	***
Célfaj borítás (kivéve vetett fű)(10)	2,35		0,30		1,28		1,70	
Célfajok száma (kivéve vetett fű)(11)	0,04		1,75		0,01		0,30	
Rövidéletű gyomok borítása(12)	14,04	***	0,01		1,48		10,69	***
Évelő gyomok borítása(13)	0,08		6,97	**	3,23		6,26	*
<i>Cirsium arvense</i> borítás(14)	30,20	***	6,70	*	0,88		19,52	***
<i>Elymus repens</i> borítás(15)	12,53	***	3,89	*	1,60		36,90	***
Shannon-diversitás(16)	0,09		5,75	*	2,23		11,15	***

Jelmagyarázat: *** – $p < 0,001$; ** – $p < 0,01$; * – $p < 0,05$; nincs jelölés – nem szignifikáns(17)

Table 1: Effects of seed mixture, management (fix factors) and site (covariant) on vegetation characteristics (independent variables), a GLM based on the vegetation and biomass data in Year 6

Seed mixture(1), Management(2), Seed mixture×Management(3), Site(4), Litter(5), Living biomass(6), Vegetation height(7), Total vegetation cover(8), Cover of sown grasses(9), Cover of target species (except sown grasses)(10), Number of target species (except sown grasses)(11), Cover of short-lived weeds(12), Cover of perennial weeds(13), Cover of *Cirsium arvense*(14), Cover of *Elymus repens*(15), Shannon diversity(16), Notations: *** – $p < 0.001$; ** – $p < 0.01$; * – $p < 0.05$; no sign – non significant(17)

1. ábra: A vegetáció egyes funkcionális elemeinek megoszlása a vizsgálat 6. évében

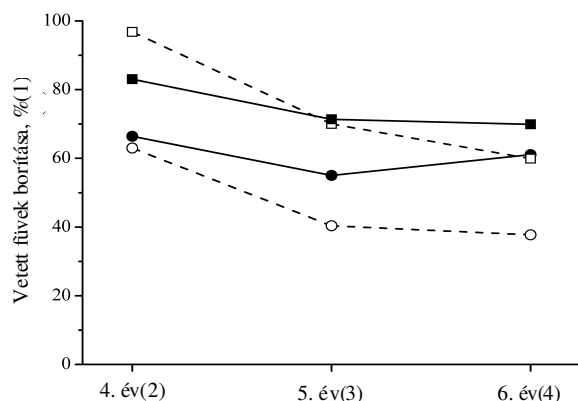


Megjegyzés: (A) szik magkeverékkel gyepesített területek, (B) lösz magkeverékkel gyepesített területek. Az üres a nem kaszált, a szürke dobozok a kaszált területeket jelöli(7)

Figure 1: Vegetation characteristics (total cover, cover of sown grasses, target species, short-lived weeds and perennial weeds, respectively) in Year 6 in the restored grasslands sown by alkali

Total cover(1), Cover of sown grasses(2), Target species(3), Short-lived weeds(4), Perennial weeds(5), Cover (%) (6), Note: (A) and loess seed-mixture (B). Notations: empty boxes – unmown sites, full boxes – mown sites(7)

2. ábra: A vetett fűvek borításváltozása a vizsgálat utolsó három évében (átlag)

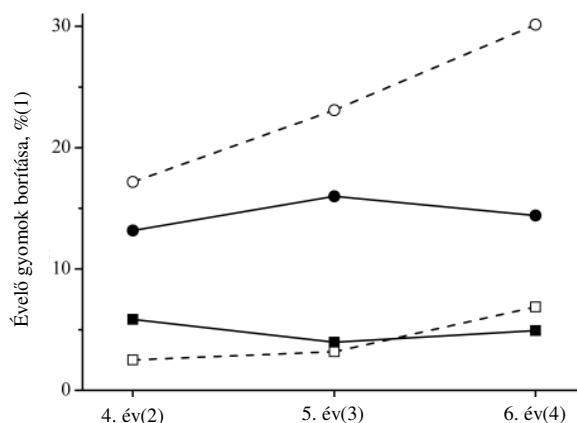


Jelmagyarázat: ○ – szik magkeverék, nem kaszált; ● – szik magkeverék, kaszált területek; □ – lösz magkeverék, nem kaszált; ■ – lösz magkeverék, kaszált területek(5)

Figure 2: Cover of sown grasses in Year 4-6 (mean)

Cover of sown grasses (%) (1), Year 4(2), Year 5(3), Year 6(4), Notations: ○ – alkali seed mixture, unmown; ● – alkali seed mixture, mown; □ – loess seed mixture, unmown; ■ – loess seed mixture, mown(5)

3. ábra: Az évelő gyomok borításváltozása a vizsgálat utolsó három évében (átlag)

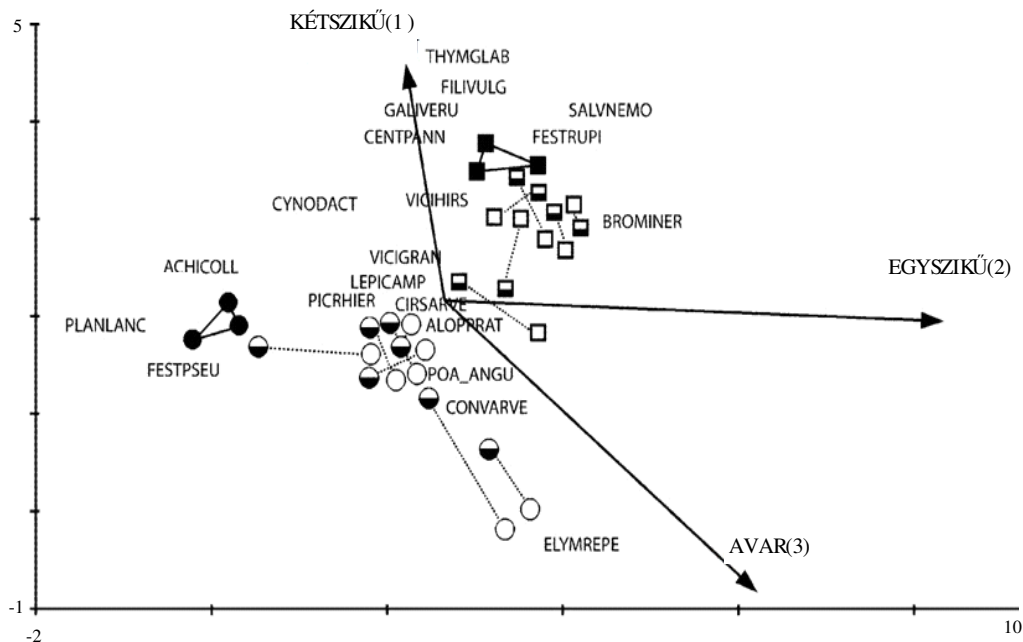


Jelmagyarázat: ○ – szik magkeverék, nem kaszált; ● – szik magkeverék, kaszált területek; □ – lösz magkeverék, nem kaszált; ■ – lösz magkeverék, kaszált területek(5)

Figure 3: Cover of perennial weeds in Year 4-6 (mean)

Cover of perennial weeds (%) (1), Year 4(2), Year 5(3), Year 6(4), Notations: ○ – alkali seed mixture, unmown; ● – alkali seed mixture, mown; □ – loess seed mixture, unmown; ■ – loess seed mixture, mown(5)

4. ábra: A vegetáció összetétele és a különböző fitomassza frakciók kapcsolata a kaszált és nem kaszált területeken, és a referencia gyepekben. A DCA ordináció a vegetáció fajainak utolsó évben mért borításértékein és a fitomassza frakciók tömegén alapul



Jelmagyarázat: ○ – szik magkeverék, nem kaszált; ◐ – szik magkeverék, kaszált blokkok; ● – referencia szikes gyepek; □ – lösz magkeverék, nem kaszált; ◑ – lösz magkeverék, kaszált blokkok; ■ – referencia löszgyepek. Az egy területen található kaszált – nem kaszált párokat pontozott vonallal kötöttük össze(4)

Figure 4: Vegetation composition and biomass in mown and unmown restored grasslands and reference grasslands, a DCA ordination based on percentage cover scores and biomass scores detected in Year 6

Forb biomass(1), Grass biomass(2), Litter(3), Notations: ○ – alkali seed mixture, unmown; ◐ – alkali seed mixture, mown; ● – reference alkali grasslands; □ – loess seed mixture, unmown; ◑ – loess seed mixture, mown; ■ – reference loess grasslands(4)

DISZKUSSZIÓ

Kimutattuk, hogy (1) a gyepesített szántók vegetáció szerkezete nagymértékben függ a kaszálás fenntartásától, illetve hogy (2) az avar mennyisége meghatározó a gyepesített szántók diverzitása szempontjából. Az alacsony mennyiségű avar általában pozitívan hat a gyepék diverzitására, viszont a nagy mennyiségben felhalmozódó avar a legtöbb esetben negatív módon befolyásolja azt (Carson és Peterson, 1990; Kelemen et al., 2013c; Házi et al., 2011, 2012). Ezt a negatív hatást korábbi vizsgálatokban olyan gyepesedett szántókon mutatták ki, ahol már kialakult a vetett füvek dominanciája és legalább 300-400 g/m²-es avarmennyiség volt jelen (Carson és Peterson, 1990; Deák et al., 2011). A vizsgálatunkban a nem kaszált blokkokban az avar mennyisége minden területen 400 g/m² felett volt. A legtöbb vizsgálat szerint az ilyen magas avarmennyiség már erősen akadályozza a természetes gyepekre jellemző kísérfajok betelepülését (Carson és Peterson, 1990; Deák et al., 2011; Kelemen et al., 2012; Míglécz et al., 2013; Szentes et al., 2009a, b, 2011). A nagy mennyiségű avar felhalmozódása jellemző egykori szántóművelést követően felhagyott területeken, ahol a talaj gazdag visszamaradt szervetlen tápanyagokban (Huston, 1999; Török et al., 2009). A kaszálás elmaradása még inkább elősegíti a felhalmozódó avar mennyiségének növekedését (Billeter et al., 2007; Huhta et al., 2001).

A vetett füvek borítása minden terület esetében alacsonyabb volt a nem kaszált blokkokban. Számos tanulmány foglalkozott a kaszálás és a kaszálás felhagyásának füvekre gyakorolt hatásával. Ezekben a tanulmányokban ellentmondásos eredményeket találtak: egyes esetekben a kaszálás hatására csökkent, más esetekben nőtt a füvek mennyisége (Huhta et al., 2001; Antonsen és Olsson, 2005; Bonanomi et al., 2013). A jelen vizsgálatban kimutattuk, hogy a kaszálás felhagyásának hatására csökkent a vetett füvek fitomasszája, melynek oka főként a nagymértékű avarfelmozódás lehet (Carson és Peterson, 1990).

Annak ellenére, hogy a kaszálásnak szignifikáns pozitív hatása volt a Shannon diverzitásra, a célfajok fajsámára és borítására a vizsgált időléptékben nem volt hatással. A legtöbb vizsgálatban azt találták, hogy a propagulum limitáltság és a megtelepedéshez szükséges nyílt foltok hiánya a célfajok betelepülésének legfőbb akadálya (Gerard et al., 2008). A kaszált területek alacsonyabb avarmennyisége egyúttal a vetett füvek magasabb borításával járt együtt. A célfajok a folyamatosan kaszált területekre is csak kis mennyiségben települtek be. Ennek az lehet az oka, hogy ezeknek a fajoknak a kompetíciós képessége kisebb, mint a vetett füveké (Stampfli és Zeiter, 1999). Az évi egyszeri kaszálás általában csupán szezonálisan alakít ki a vegetációban a célfajok megtelepedése számára alkalmas nyíltabb foltokat; és ez az időszak nem esik egybe a legtöbb célfaj magszórásai illetve csírázási időszakával (Jaquemyn et al., 2011). A propagulum limitáltságnak szintén szerepe lehet

abban, hogy a célfajok betelepülésének határfoka alacsony. A gyepesített területek környezetében kevés természetközeli állapotban megmaradt gyepfolt található (Török et al., 2010). Így a célfajok nagy része valószínűleg a propagulum limitáltság következtében nem tudott betelepülni a gyepesített területekre.

Az évelő gyomok borítása szignifikánsan növekedett a kaszálás felhagyását követően. Ezeknek a fajoknak a borítás növekedése kedvezőtlen hatással van a vegetációfejlődésre és akadályozza a gyepesítési célok elérését (Prach és Pyšek, 2001). Vizsgálati területeinken a legnagyobb borítással jelentkező évelő gyom a *Cirsium arvense* volt. A faj erős kompetitor sajátosságai és jó terjedő-képessége miatt az ellene való védekezés nehéz. Egyes vizsgálatok szerint a rendszeres kaszálás hatékony módszer lehet a visszaszorítására (McLachlan és Knispel, 2005). A kaszálás hosszútávú fenntartása fontos eleme a *Cirsium arvense* elleni védekezésnek, mivel a kaszálás felhagyása esetén gyors konális növekedésének és hosszútávú perzisztens magbankjának köszönhetően gyorsan újra megjelenhet a gyepesített területeken (Lawson et al., 2004; Vida et al., 2010). A *Cirsium arvense* elleni védekezés gazdasági szempontból is igen fontos, mivel rontja a széna minőségét így megnehezíti a gazdálkodók érdeklteté tételét a természetvédelmi kezelés hosszú távú fenntartásában. A *Cirsium arvense* és a másik nagytömegben előforduló évelő gyom jellegű faj, az *Elymus repens* inkább a szik magkeverékekkel gyepesített, nem kaszált területeken volt jelen. A lősz magkeverék nagy mennyiségben tartalmazta a jó kompetíciós képességgel rendelkező *Bromus inermis* terméseit, amely vélhetően a folyamatos kaszálással együtt hatékonyan szorította vissza az évelő gyomokat.

A bemutatott vizsgálatok alapján elmondható, hogy a rendszeres évi egyszeri kaszálás fontos és elégséges lehet a gyepesített területek kedvező állapotban való fenntartásához. A természetközeli, fajgazdag gyepéhez hasonló vegetáció kialakulása érdekében azonban további természetvédelmi beavatkozásokra lehet szükség (Török et al., 2012b). Török et al. (2012b) eredményei alapján a területek legeltetéses kezelése, a szénaráhordás, illetve a célfajok propagulumainak vetéssel történő bejuttatása a gyepesedett területekre hatékonyan elősegítheti a célfajok megtelepedését. Eredményeink rávilágítanak a gyeprekonstrukciót követő kaszálásos utókezelés fontosságára, ami a rekonstrukciós ökológiai beavatkozások fontos részét kell, hogy képezze. Végezetül kiemelhetjük, hogy a gyeprekonstrukciós projektek esetén, már a tervezési fázisban számolni kell a hosszú távú utókezelés költségeivel és fenntarthatóságának megvalósíthatóságával.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetemet kifejezni Dr. Tóthmérész Bélának, dr. Török Péternek, dr. Kelemen Andrásnak, dr. Valkó Orsolyának, dr. Deák Balásznak, Míglécz Tamásnak sokrétű

támogatását és segítségét. Köszönöm Tóth Katalinnak, Ölvedi Tamás Botondnak, Albert Ágnesnek és dr. Lengyel Szabolcsnak a terepmunkában és a laboratóriumi munkában nyújtott segítségét.

Köszönettel tartozom a Hortobágyi Nemzeti Park munkatársainak, Gál Lajosnak, Kapocsi Istvánnak és Molnár Attilának munkánk során nyújtott segítségükért, hasznos tanácsaikért.

IRODALOM

- Antonsen, H.-Olsson, P. A. (2005): Relative importance of burning, mowing and species translocation in the restoration of a former boreal hayfield: responses of plant diversity and the microbial community. *Journal of Applied Ecology* 42: 337-347.
- Bedő S.-Póti P. (1999): A legelő mint takarmány szerepe a juhtenyésztésben. *Állattenyésztés és Takarmányozás* 48(6.): 690-692.
- Billeter, R.-Peintinger, M.-Diemer, M. (2007): Restoration of montane fen meadows by mowing remains possible after 4-35 years of abandonment. *Acta Botanica Helvetica* 117: 1-13.
- Bischoff, A.-Augeb, H.-Mahn, E. G. (2005): Seasonal changes in the relationship between plant species richness and community biomass in early succession. *Basic and Applied Ecology* 6: 385-394.
- Bonanomi, G.-Incerti, G.-Allegrezza, M. (2013): Assessing the impact of land abandonment, nitrogen enrichment and fairy-ring fungi on plant diversity of Mediterranean grasslands. *Biodiversity and Conservation* 22: 2285-2304.
- Borhidi, A. (1995): Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higher plants in the Hungarian Flora. *Acta Botanica Hungarica* 39: 97-181.
- ter Braak, C. J. F.-Šmilauer, P. (2002): CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows. Software for Canonical Community Ordination (version 4. 5). Centre for Biometry Wageningen/Microcomputer Power, Wageningen, NL/Ithaca
- Carson, W. P.-Peterson, C. J. (1990): The role of litter in an old-field community: impact of litter quantity in different seasons on plant species richness and abundance. *Oecologia* 85: 8-13.
- Cramer, V. A.-Hobbs, R. J. (ed.) (2007): Old fields: dynamics and restoration of abandoned farmland. Island Press, Washington
- Deák B.-Kapocsi I. (2010): Természetvédelmi célú gyepesítés a gyakorlatban: Mennyibe kerül egy hektár gyep? *Tájökológiai Lapok* 8: 395-409.
- Deák B.-Valkó O. (2013): Fajszegény és fajgazdag magkeverékek és alternatív gyepesítési módszerek alkalmazása természetvédelmi szempontok figyelembe vételével. In: Török P. (szerk.) (2013): Gyeptelepítés elmélete és gyakorlata az ökológiai szemléletű gazdálkodásban. *Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet, Budapest*, pp. 31-38.
- Deák B.-Török P.-Kapocsi I.-Lontay L.-Vida E.-Valkó O.-Lengyel Sz.-Tóthmérész B. (2008): Szik- és löszgyep-rekonstrukció vázfajokból álló magkeverék vetésével a Hortobágyi Nemzeti park területén (Egyek-Pusztaköcs). *Tájökológiai Lapok* 6: 323-332.
- Deák, B.-Valkó, O.-Kelemen, A.-Török, P.-Migléc, T.-Ölvedi, T.-Lengyel, Sz.-Tóthmérész, B. (2011): Litter and graminoid biomass accumulation suppresses weedy forbs in grassland restoration. *Plant Biosystems* 145: 730-737.
- Diemer, M.-Oetiker, K.-Billeter, R. (2001): Abandonment alters community composition and canopy structure of Swiss calcareous fens. *Applied Vegetation Science* 4: 237-246.
- Gerard, M.-El Kahloun, M.-Rymen, J.-Beauchard, O.-Meire, P. (2008): Importance of mowing and flood frequency in promoting species richness in restored floodplains. *Journal of Applied Ecology* 45: 1780-1789.
- Habel, J. C.-Dengler, J.-Janišová, M.-Török, P.-Wellstein, C.-Wiezik, M. (2013): European grassland ecosystems: threatened hotspots of biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 22: 2131-2138.
- Harcza M.-Szemán L.-Bajnok M.-Penksza K. (2008): Extenzív gyeptermesztés hatása a telepített gyepalkotó fajok állomány-összetételére. *AWETH* 4: 761-768.
- Házi, J.-Bartha, S.-Szentés, Sz.-Wichmann, B.-Penksza, K. (2011): Seminatúrális gyepgazdálkodás mogyórozás által. *Plant Biosystems* 145: 699-707.
- Házi, J.-Penksza, K.-Bartha, S.-Hufnagel, L.-Tóth, A.-Gyuricza, Cs.-Szentés, Sz. (2012): Cut mowing and grazing Effects with grey cattle on plant species composition in case of Pannon wet grasslands. *Applied Ecology and Environmental Research* 10(3): 223-231.
- Huhta, A. P.-Rautio, P.-Tuomi, J.-Laine, K. (2001): Restorative mowing on an abandoned semi-natural meadow: short-term and predicted long-term effects. *Journal of Vegetation Science* 12: 677-686.
- Huston, M. A. (1999): Local processes and regional patterns: appropriate scales for understanding variation in the diversity of plants and animals. *Oikos* 86: 393-401.
- Hutchings, M. J.-Booth, K. D. (1996): Studies on the feasibility of re-creating chalk grassland vegetation on ex-arable land. I. The potential roles of the seed bank and the seed rain. *Journal of Applied Ecology* 33: 1171-1181.
- Isselstein, J.-Jeangros, B.-Pavlů, V. (2005) Agronomic aspects of biodiversity targeted management of temperate grasslands in Europe – A review. *Agronomy Research* 3: 139-151.
- Jacquemyn, H.-Van Mechelen, C.-Bryns, R.-Honnay, O. (2011): Management effects on the vegetation and soil seed bank of calcareous grasslands: An 11-year experiment. *Biological Conservation* 144: 416-422.
- Kelemen, A. (2010): Szántóföldi kultúrák helyén végzett gyepvetés korai szakaszában megjelenő gyomközösségek vizsgálata a Hortobágyi Nemzeti Parkban. *Tájökológiai lapok* 8: 1-10.
- Kelemen A.-Török P.-Deák B.-Valkó O.-Lukács B. A.-Lengyel Sz.-Tóthmérész B. (2010): Spontán gyepregeneráció extenzívén kezelt lucernásokban. *Tájökológiai Lapok* 8:33-44.
- Kelemen A.-Török P.-Valkó O.-Migléc T.-Tóthmérész B. (2012): A fitomassza és fajgazdagság kapcsolatát alakító tényezők hortobágyi szikes és löszgyepekben. *Botanikai Közlemények* 100: 1-13.
- Kelemen A.-Szentés Sz.-Török P. (2013a): A gyeptelepítéshez hazánkban leggyakrabban felhasznált és az ökológiai gyepgazdálkodásban kívánatos fajok és jellemzésük. In: Török P. (szerk.): Gyeptelepítés elmélete és gyakorlata az ökológiai szemléletű gazdálkodásban, pp. 15-30. *Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet, Budapest*

- Kelemen, A.-Török, P.-Valkó, O.-Deák, B.-Migléc, T.-Kapocsi, I.-Tóthmérész, B. (2013b): Litter and green biomass in a traditionally managed alkali landscape in Hungary (Hortobágy). In: Vrahnakis, M.-Kyriazopoulos, A. P.-Chouvardas, D.-Fotiadis, G. (eds.) *Dry Grasslands of Europe: Grazing and Ecosystem Services*, pp. 175-180. Hellenic Range and Pasture Society (Hervas), Thessaloniki, Greece
- Kelemen, A.-Török, P.-Valkó, O.-Migléc, T.-Tóthmérész, B. (2013c): Mechanisms shaping plant biomass and species richness: plant strategies and litter effect in alkali and loess grasslands. *Journal of Vegetation Science* 24: 1195-1203.
- Kiehl, K.-Pfadenhauer, J. (2007): Establishment and persistence of target species in newly created calcareous grasslands on former arable fields. *Plant Ecology* 189: 31-48.
- Kiss, T.-Lévai, P.-Ferencz, Á.-Szentés, Sz.-Hufnagel, L.-Nagy, A.-Balogh, Á.-Pintér, O.-Saláta, D.-Házi, J.-Tóth, A.-Wichmann, B.-Penksza, K. (2011): Change of composition and diversity of species and grassland management between different grazing intensity – in Pannonian dry and wet grasslands. *Applied Ecology and Environmental Research* 9(3): 197-230.
- Lawson, C. S.-Ford, M. A.-Mitchley, J. (2004): The influence of seed addition and cutting regime on the success of grassland restoration on former arable land. *Applied Vegetation Science* 7: 259-266.
- Manchester, S. J.-McNally, S.-Treweek, J. R.-Sparks, T. H.-Mountford, J. O. (1999): The cost and practicality of techniques for the reversion of arable land to lowland wet grassland - an experimental study and review. *Journal of Environmental Management* 55: 91-109.
- McLachlan, S. M.-Knispel, A. L. (2005): Assessment of long-term tallgrass prairie restoration in Manitoba, Canada. *Biological Conservation* 124: 75-88.
- Migléc, T.-Tóthmérész, B.-Valkó, O.-Kelemen, A.-Török, P. (2013): Effects of litter on seedling establishment: an indoor experiment with short-lived Brassicaceae species. *Plant Ecology* 214: 189-193.
- Pajor, F.-Láczó, E.-Póti, P. (2007): Sustainable sheep production: evaluation of effect of temperament on lamb production. *Cereal Research Communications* 35(2): 873-876.
- Penksza K.-Tasi J.-Szentés Sz. (2007): Eltérő hasznosítású dunántúli-középhegységi gyepek takarmányértékeinek változása. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 5: 26-33.
- Penksza K.-Tasi J.-Szentés Sz.-Centeri Cs. (2008): Természetvédelmi célú botanikai, takarmányozástani és talajtani vizsgálatok a Tapolcai és Káli-medence szürkemarha és bivaly legelőin. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 6: 47-53.
- Penksza K.-Szentés Sz.-Dannhauser C.-Loksa G.-Házi J. (2010): A legeltetés hatása a gyepekre és természetvédelmi vonatkozásai a Tapolcai- és a Káli-medencében. *Természetvédelmi Közlemények* 16: 25-49.
- Penksza K.-Házi J.-Tóth A.-Wichmann B.-Pajor F.-Gyuricza Cs.-Póti P.-Szentés Sz. (2013): Eltérő hasznosítású szürkemarha legelő szezonális táplálóanyag tartalom alakulás, fajdiverzitás változása és ennek hatása a biomassza mennyiségére és összetételére nedves pannon gyepekben. *Növénytermelés* 62(1): 73-94.
- Póti P. (1998): Korszerű tartástechnológiák a juhtenyésztésben. *Állattenyésztés és Takarmányozás* 47: 337-342.
- Póti, P.-Pajor, F.-Láczó, E. (2007): Sustainable grazing in small ruminants. *Cereal Research Communications* 35(2): 945-948.
- Prach, K.-Pyšek, P. (2001): Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: Experience from Central Europe. *Ecol Eng* 17: 55-62.
- Pullin, A. S.-Báldi, A.-Can, O. E.-Dieterich, M.-Kati, V.-Livoreil, B.-Lövei, G.-Mihók, B.-Nevin, O.-Selva, N.-Sousa-Pinto, I. (2009): Conservation focus on Europe: Major conservation policy issues that need to be informed by Conservation Science. *Conservation Biology* 23: 818-824.
- Saláta D.-Wichmann B.-Házi J.-Falusi E.-Penksza K. (2011): Botanikai összehasonlító vizsgálat a cserépfalui és az erdőbényei fás legelőn *AWETH* 7(3): 234-262.
- Soó, R. (1964–1980): Synopsis systematic-geobotanica florum Hungariae, I-VI. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Stampfli, A.-Zeiter, M. (1999): Plant species decline due to abandonment of meadows cannot easily be reversed by mowing. A case study from the southern Alps. *Journal of Vegetation Science* 10: 151-164.
- Sümegei P. (2004): A Hortobágy madárvilága. In: Ecsedi Z. (szerk.) (2004): A Hortobágy fejlődéstörténete. Hortobágy Természetvédelmi Egyesület Winter Fair Balmazújváros-Szeged pp. 33-38.
- Szabó G.-Zimmermann Z.-Bartha S.-Szentés Sz.-Sutyinszki Zs.-Penksza K. (2011): Botanikai, természetvédelmi és gyepgazdálkodási vizsgálatok Balaton-felvidéki szarvasmarha-legelőkön. *Tájékológiai Lapok* 9(2): 431-440.
- Szentés Sz.-Wichmann B.-Házi J.-Tasi J.-Penksza K. (2009a): Vegetáció és gyep termelés havi változása badacsonytördemici szürkemarha legelőkön és kaszálón. *Tájékológiai Lapok* 7(2): 319-328.
- Szentés Sz.-Tasi J.-Wichmann B.-Penksza K. (2009b): Botanikai és gyepgazdálkodási vizsgálatok 2008. évi eredményei a badacsonytördemici szürkemarha legelőn. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 7: 73-78.
- Szentés, Sz.-Dannhauser, C.-Coetzee, R.-Penksza, K. (2011): Biomass productivity, nutrition content and botanical investigation of Hungarian Grey cattle pasture in Tapolca basin. *AWETH* 7(2): 180-198.
- Szentés Sz.-Kelemen A.-Török P. (2013): Eltérő termőhelyekre és hasznosítási módokra alkalmazható magkeverékek javasolt összetétele. In: Török P. (szerk.): Gyeptelepítés elmélete és gyakorlata az ökológiai szemléletű gazdálkodásban, pp. 39-48. *Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet*, Budapest
- Török P.-Kelemen A.-Valkó O.-Migléc T.-Vida E.-Deák B.-Lengyel Sz.-Tóthmérész B. (2009): Avar-felhalmozódás szerepe a gyepesítést követő vegetáció-dinamikában. *Természetvédelmi Közlemények* 15: 160-170.
- Török, P.-Deák, B.-Vida, E.-Valkó, O.-Lengyel, Sz.-Tóthmérész, B. (2010): Restoring grassland biodiversity: Sowing low-diversity seed mixtures can lead to rapid favourable changes. *Biological Conservation* 143: 806-812.
- Török, P.-Kelemen, A.-Valkó, O.-Deák, B.-Lukács, B.-Tóthmérész, B. (2011a): Lucerne dominated fields recover native grass diversity without intensive management actions. *Journal of Applied Ecology* 48: 257-264.
- Török, P.-Vida, E.-Deák, B.-Lengyel, Sz.-Tóthmérész, B. (2011b): Grassland restoration on former croplands in Europe: an assessment of applicability of techniques and costs. *Biodiversity and Conservation* 20: 2311-2332.
- Török, P.-Migléc, T.-Valkó, O.-Kelemen, A.-Deák, B.-Lengyel, Sz.-Tóthmérész, B. (2012a): Recovery of native grass biodiversity by sowing on former croplands: Is weed suppression a feasible goal for grassland restoration? *Journal of Nature Conservation* 20: 41-48.

- Török, P.-Migléc, T.-Valkó, O.-Kelemen, A.-Tóth, K.-Lengyel, Sz.-Tóthmérész, B. (2012b): Fast recovery of grassland vegetation by a combination of seed mixture sowing and low-diversity hay transfer. *Ecological Engineering* 44: 133-138.
- Török P.-Migléc T.-Valkó O. (2013): A természetközeli gyepek szerepe a változatos élővilág és az ökológiai folyamatok fenntartásában. In: Török P. (szerk.) 2013. Gyeptelepítés elmélete és gyakorlata az ökológiai szemléletű gazdálkodásban. *Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet, Budapest*, pp. 7-10.
- Uj B.-Juhász L.-Szemán L.-ifj. Viszló L.-Penksza A.-Szentés Sz.-Tóth A.-Penksza K. (2013): Cönológiai vizsgálatok különböző telepített és felújított gyepekben, *Agrártudományi Közlemények* 2013/51. 55-58.
- Valkó O.-Vida E.-Kelemen A.-Török P.-Deák B.-Migléc T.-Lengyel Sz.-Tóthmérész B. (2010): Gyeprekonstrukció napraforgó- és gabonatóblák helyén alacsony diverzitású magkeverék vetésével. *Tájökológiai Lapok* 8: 53-64.
- Valkó, O.-Török, P.-Matus, G.-Tóthmérész, B. (2012): Is regular mowing the most appropriate and cost-effective management maintaining diversity and biomass of target forbs in mountain hay meadows? *Flora* 207: 303-309.
- Valkó, O.-Tóthmérész, B.-Kelemen, A.-Simon, E.-Migléc, T.-Lukács, B.-Török, P. (2013a): Environmental factors driving vegetation and seed bank diversity in alkali grasslands. *Agriculture Ecosystems & Environment*. doi: 10.1016/j.agee.2013.06.012
- Valkó, O.-Török, P.-Deák, B.-Tóthmérész, B. (2013b): Prospects and limitations of prescribed burning as a management tool in European grasslands. - Review paper, *Basic and Applied Ecology*, DOI:10.1016/j.baae.2013.11.002.
- Varga Sípós J. (1984): A Hortobágyi Nemzeti Park sziki gyepeinek fitocönológiai viszonyai és szukcessziós kapcsolatai. *Botanikai Közlemények* 71: 63-77.
- Vida E.-Török P.-Deák B.-Tóthmérész B. (2008): Gyepek létesítése mezőgazdasági művelés alól kivont területeken: a gyepesítés módszereinek áttekintése. *Botanikai Közlemények* 95: 101-113.
- Vida, E.-Valkó, O.-Kelemen, A.-Török, P.-Deák, B.-Migléc, T.-Lengyel, Sz.-Tóthmérész, B. (2010): Early vegetation development after grassland restoration by sowing low-diversity seed mixtures in former sunflower and cereal fields. *Acta Biologica Hungarica* 61: 246-255.
- Zimmermann Z.-Szabó G.-Bartha S.-Szentés Sz.-Penksza K. (2011): Juhlegeltetés hatásainak természetvédelmi célú vizsgálata legelt és művelésből kivont gyepek növényzetére. *AWETH* 7(3): 234-262.
- Zuur, A. F.-Ieno, E. N.-Walker, N.-Saveliev, A. A.-Smith, G. M. (2009): *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York