

Homokpuszta gyepi boszorkánykör növénytani és takarmányozási vizsgálata

Balogh János¹ – Kárpáti Edina² –
Tóth Adrienn Gréta² – Freiler-Nagy Ágnes³ –
Moravszki Leticia² – Hetényi Nikolett² –
Orosz Szilvia²

¹Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Növénytermesztési-tudományok Intézet, Gödöllő
Állatorvostudományi Egyetem

²Állattenyésztési, Takarmányozási és Laboratóriumi
Állattudományi Tanszék, Budapest

³Állathigiéniai, Állomány-egészségtani Tanszék és Mobilklinika,
Budapest

Hetenyi.Nikoletta@univet.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A Pannon homoki gyepek kiemelkedő természetvédelmi értéket képviselnek, melyek fenntartásához a megfelelő gyepgazdálkodási gyakorlatok ismerete nélkülözhetetlen. Kutatásunk egy olyan jelenség, a boszorkánykörök – konkrétan az *Agaricus xanthodermus* által képzett kör – komplex hatásait vizsgálta, amelyek a talajt és a növényzetet egyaránt átalakítják. A 14 m átmérőjű boszorkánykör különböző zónáiban összesen 288 db, 0,5 m×0,5 m területű kvadráttal végeztünk részletes növénytani felvételezést, melyet a Borhidi-féle ökológiai mutatókkal, valamint a Balázs-féle termés- és takarmányérték-becslő módszerrel értékeltünk.

A boszorkánykör a növényzetre kettős, térben tagolt hatást gyakorol. A gombafronton intenzív nitrogén-mobilizáció zajlott, ami a nitrogénigényes, ruderalis *Elymus repens* gyors dominanciájához vezetett. Ennek a zónának a jellemzői az összborítás meredek növekedése, a diverzitás drasztikus csökkenése és a növényzet természetesség értékének degradációja voltak. A kör belseje felé haladva a hatás enyhült; regeneráció zajlott, itt a takarmányozási szempontból értékes *Poa angustifolia* dominált, ami a kör középső részén a legmagasabb takarmányértéket (K-érték) eredményezte, ám a diverzitás itt is alacsony maradt a monodominancia miatt.

Összességében megállapítható, hogy az *A. xanthodermus* boszorkányköre ökoszisztéma-mérnökként működik, jelentős térbeli heterogenitást kialakítva a gyepek. Eredményeink alapján a boszorkánykörök hatásainak komplex értékelése elengedhetetlen a pannon gyepek fenntartható gazdálkodási és természetvédelmi gyakorlatának kidolgozásához, különös tekintettel a takarmánytermelés és a biodiverzitás közötti egyensúlyra.

Kulcsszavak: boszorkánykör, *Agaricus xanthodermus*, homoki sztyeppré, nitrogén-mobilizáció, takarmányérték, diverzitás, gyepgazdálkodás

SUMMARY

Pannonian sand grasslands represent a prominent nature conservation value, for the maintenance of which knowledge of appropriate grassland management practices is indispensable. Our research investigated the complex effects of a phenomenon known as fairy rings – specifically, rings formed by *Agaricus xanthodermus* – which transform both the soil and the vegetation. In the different zones of a 14 m diameter fairy ring, we performed detailed botanical surveys using a total of 288 quadrats, each 0.5 m×0.5 m in area. These were evaluated using Borhidi's

ecological indicators and the Balázs method for estimating yield and fodder value.

The fairy ring exerts a dual, spatially distinct effect on the vegetation. Intensive nitrogen mobilisation occurred at the fungal front, leading to the rapid dominance of the nitrogen-demanding, ruderal species *Elymus repens*. The characteristics of this zone included a steep increase in total cover, a drastic decrease in diversity, and a decline in the vegetation's naturalness value. Moving inwards from the ring, the effect weakened; regeneration was taking place, where the fodder-valuable *Poa angustifolia* dominated, resulting in the highest fodder value (K-value) in the central part of the ring. However, diversity remained low here as well, due to monodominance.

In summary, it can be concluded that the *A. xanthodermus* fairy ring functions as an ecosystem engineer, generating significant spatial heterogeneity in the grassland. Based on our results, a comprehensive assessment of the effects of fairy rings is essential to develop sustainable management and conservation practices for Pannonian grasslands, with particular regard to the balance between forage production and biodiversity.

Keywords: fairy ring, *Agaricus xanthodermus*, sandy steppe grassland, nitrogen mobilization, forage value, diversity, grassland management

BEVEZETÉS

A Pannon homoki gyepek kizárólag a Pannon biogeográfiai régióban előforduló közösségi jelentőségű élőhelyek, melyek kiterjedése bár mára csak töredéke az egykorinak, és ezeknek is csak az egyharmada természetközeli állapotú (Máté, 2014), még mindig jelentős területen, mintegy 40 000 hektáron fordulnak elő hazánkban (Molnár et al., 2011a, b). Létüket azonban több tényező is veszélyezteti. Ilyenek a feldarabolódás (Penksza et al., 2008), a gazdálkodás felhagyása (Matus et al., 2003), a klímaváltozás (Turcsányi-Járdi et al., 2022), az inváziós (Török et al., 2021) és lokális felszaporodásra hajlamos (Szentés et al., 2011, 2012, 2025a) C₄-es fajok. Fontos azonban megjegyezni, hogy még a gyeptöredékek, mezsgyék növényzete is rejthet védett, értékes fajokat (Sutyinszki és Szentés, 2014; Sutyinszki et al., 2013; Szentés et al., 2022). Fennmaradásukhoz a legeltetés (Kiss et al., 2011)

mellett a katonai tevékenység (Bajnok et al., 2024), illetve a hazai és Európai Unió védettség szintén jelentősen hozzájárulhat a szárazgyepek fennmaradásához. Ehhez azonban fenntartható gazdálkodási gyakorlatok alkalmazása szükséges, mivel számos kutatás szerint, különösen az alacsony minőségű pannon gyepeken a felszínfeletti fitomassza mennyisége enyhe zavarás esetén pozitív hatással van a fajok számára (Gillman és Wright, 2006). A termelékenység javulása hozzájárulhat a fajgazdagsághoz, amely számos tényezőtől függ, például a földrajzi elhelyezkedéstől (Dolt et al., 2005), az élőhely kiterjedésétől (Csecserits et al., 2011), a fragmentációtól (Clevell, 2000), az életközösség típusától (Catorci et al., 2017) és az élőhely szukcessziós állapotától (Csecserits et al., 2011).

A homoki gyepek legeltetésére elsősorban a juh alkalmas (Penszsa et al., 2009a, b, c, „2023, 2024, 2025; Zimmermann et al., 2012), de mivel a laza talajszerkezet kedvez a lovak lábízületeinek, gyakran találkozhatunk kisebb-nagyobb ménesekkel, illetve lovardákkal is homokterületeinken. Fontos azonban tudni, hogy a lovak legelésük során intenzíven igénybe veszik a gypet (Szentés et al., 2009). Ezért a legelőterhelés szakszerű meghatározása rendkívül fontos, mert a túl- és alullegetetés is káros lehet a gypre nézve (Kiss et al., 2008, 2011; Magyar et al., 2017; Penszsa et al., 2009a, b; Szabó et al., 2011a, b, 2021; Szentés et al., 2008, 2009a, b, 2011b;).

Az extenzív hasznosítású gyepek jelentős természetvédelmi értékek őrzői (Penszsa et al., 2010; Szentés et al., 2007a, b). Megóvásuk, felújításuk növelheti a biológiai sokféleséget (Prangel et al., 2024). Ezért helyreállításuk kiemelten fontos (Zachar et al., 2023; Szentés et al., 2024), mert számos ökoszisztéma szolgáltatást nyújtanak (Bengtsson et al., 2019; Maestre et al., 2022; Pauler et al., 2025; Rodríguez-Ortega et al., 2014). Ilyen ökoszisztéma szolgáltatásnak tekinthetők a különböző gombafajok által (pl. *Agaricus* spp.) alkotott boszorkánykörök is. Ezek a gombafajok egyben ökoszisztéma-mérnök fajok is, mivel a gyepi életközösségek működésében, fajösszetételében és diverzitásuk téridőváltozásában mélyreható változásokat okoznak (Jones et al., 1997), továbbá a gyepi ökoszisztémák növény-talaj kölcsönhatásainak sajátos esetei is (Bonanomi et al., 2012; Caesar-Ton et al., 2013; Edwards, 1984).

Jellemző térbeli mintázatuk a niche újrafelosztásokon és a tápanyagciklusokra gyakorolt hatásain keresztül a tájmintázatra is hatással van (Bonanomi et al., 2013; van der Wal et al., 2013; Xu et al., 2011). Niche újrafelosztásuk alapján hatással lehetnek a szukcesszió középső állapotában invázióra hajlamos kis nitrogénigényű fajok (pl. *Bothriochloa ischaemum*, *Calamagrostis epigeios*, *Solidago* spp. (Bartha et al., 2014; Házi et al., 2011) betelepülésére és terjedésére.

A gyepek földfeletti produkciója nemcsak a gazdálkodás szempontjából fontos, hanem szerepet játszik a pannon gyepek számos ökológiai folyamatában és a diverzitásuk megőrzésében, így a gyepeink fenntartásában (Deák et al., 2011; Házi et al., 2022, 2024; Török et al., 2014, 2018).

A boszorkánykörképző gombafajok képesek növelni a gyepek terméshozamát (Liu et al., 2021, 2024a; Yang et al., 2019), amiben a talajflórát átalakító képességük is jelentős szerepet játszik (Li et al., 2022; Liu et al., 2024a; Wang et al., 2022). Ehhez az egyik legfontosabb képességük, hogy biológiailag hozzáférhetővé alakítják a nitrogént és más tápanyagokat, mikroelemeket (Elliott, 1926; Xu et al., 2011; Yang et al., 2019). Ez pedig a legelő állat számára több és jobb minőségű legelőfűvet eredményez (Albrecht et al., 1951; Rogers és McAllister, 1969), ami többek között azért fontos, mert a gyep produkciójának éves változása nagyban meghatározza annak állattartó-képességét (Magyar et al., 2017; Szentés et al., 2023a). Hazai gyepeinkben számos ilyen faj található, melyek közül a leggyakoribbak: *Marasmius oreades*, *Agaricus bernardii*, *Agaricus crocodilinus*, *Agaricus xanthodermus*, *Lepista panaeolus*.

Jelen munka egy, a boszorkánykörök sokrétű ökológiai szerepének megértéséhez épülő adatbázis első alapköve, melynek során több szempontból és módszerrel is vizsgáltuk a gyepeken található boszorkányköröket, mint például távérzékelési technikák bevonásával (Karst et al., 2016), ami támogatja a részletesebb kutatásokat lehetővé tevő terepi vizsgálatokat. Ez az esettanulmány csak az *Agaricus xanthodermus* faj növényzetre gyakorolt hatására koncentrált. Kérdéseinek az alábbiak voltak:

1. Milyen hatással van az *Agaricus xanthodermus* a homoki gyep növényzetére és terméshozamára?
2. Hogyan változtatja meg a különböző relatív talajnedvesség- és nitrogénigényű fajok arányát?
3. Milyen hatással van a gyep növénydiverzitására?

ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintaterület

A mintaterületeket a Magyar Alföldön, a Pesti hordalékkúp-síkságon Fót határában jelöltük ki egy homoki sztyeppré falton (É.sz.: 47°35'41,75"; K.h.: 19°10'52,26"; tengerszint feletti magasság: 136 m). A terület korábban legelő volt, 2000 óta a vízmű területe, 4 db használaton kívüli víznyerőkút található rajta. A gypet hosszú ideje minden évben júliusban kaszálják (1. ábra).

A növényteni felvételezés módszere

A vizsgált gombakör egy karbolszagú csiperke (*Agaricus xanthodermus*) 14 m átmérőjű köre volt. Légi fotók és Google Earth fotók alapján a kört alkotó gombatelep 5-6 éves, 2020-ban készült Google Earth felvételen látható először. A kört a gombfront mentén egymással érintkező 92 db 0,5×0,5 m-es kvadratokkal felvételeztük, melynek során %-os értékben becsültük a jelenlévő fajok borítását. A kör 6 átlója mentén, ugyanekkora kvadrátméretet használva, a kör átmérőjénél mindkét irányban 2-2 m-rel hosszabb, 6 db transzszekt (6×36 db kvadrát) mentén felvételeztük a növényállományt. A fajnevek Király (2009) nomenklatúráját követik.

1. ábra: A mintaterület ortofotója (A) és állományképe (B)

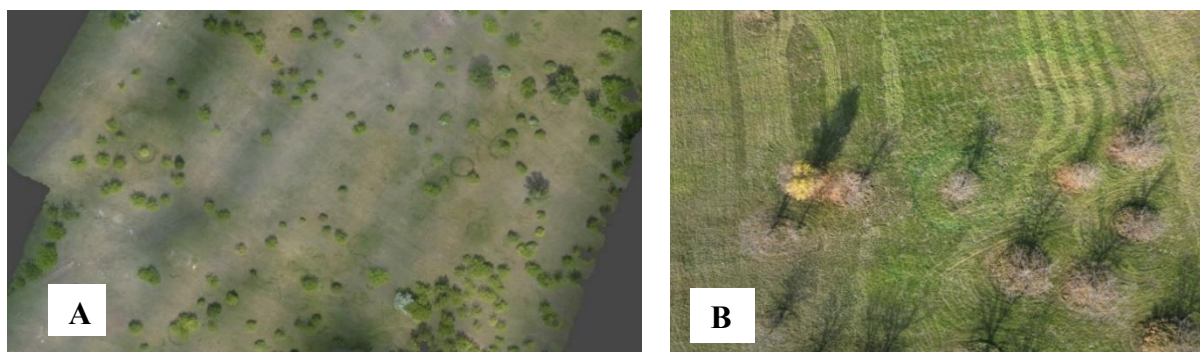


Figure 1: (A) Orthophoto of the sample area, (B) Habitat image of the sample area

Adatfeldolgozás

A Borhidi-féle relatív ökológiai mutatók (Borhidi, 1995) közül a relatív nitrogénigény (NB) és a relatív vízigény (WB) értékszámait alapján értékeltük a kvadrátokat. Természetességi állapotukat és annak tendenciáit a Borhidi-féle szociális magatartásformák, illetve annak pontszámait (SBT_VAL) (Borhidi, 1995) alapján értékeltük. A diverzitás vizsgálatokhoz a Shannon diverzitás indexet használtuk.

Termésbecslés

A termésbecslési vizsgálat során Balázs (Balázs, 1949, 1960; Szentés et al., 2023b, 2025b) módszerével a cönológiai felvételekből és a növénymagassági adatokból, terméshozam és takarmányminőség szerint is értékeltük a vizsgált gyepeket.

A gyepprodukciónak a becslést az alábbi képlet alapján végeztük el:

$$P = \frac{(M - s) \times BM \times b}{100}$$

P : Terméshozam [kg/ha]

M : A gyepek aktuális átlagos magassága [cm]

s : Tarlómagasság [cm]

BM : tömegkoefficiens (400 kg/ha/cm)

b : A gyepek átlagos borítása [%]

Az egyes gyepek takarmányértékét az alábbi képlet (Balázs, 1949; Szentés et al., 2025b) alapján határoztuk meg:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i \times b_i \times m_i)}{\sum_{i=1}^n (b_i \times m_i)}$$

K : A gyepek takarmányértéke

k_i : Az i -edik növényfaj takarmányérték-kategóriája

b_i : Az i -edik faj borítása (% vagy D_B)

m_i : Az i -edik faj átlagos magassága (cm)

n : A fajok száma a gyepekben

EREDMÉNYEK

Összborítás

A boszorkánykőrön kívüli kontroll terület átlagos összborítása 64% volt, ami a gombafronton hitelen 84%-ra megugrott. Ezután befelé haladva a gyűrű sávjában 81%-ra csökkent, majd tovább haladva a kör belseje felé (a fronttól számított 4,5 m-ig) fokozatosan a kontroll gyepek értékeire, illetve az alá csökkent. Végül a kör közepén egy 4 m sugarú körben a kettő közötti, 71%-os értéket mutatott (2. ábra).

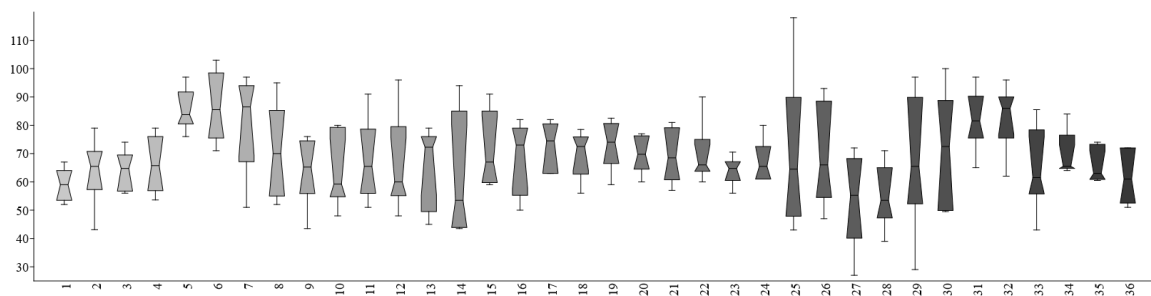
Fiziognómia

A gomba hatására bekövetkező fajcsere a gyeppmagasság változásával is nagyon jól lekövethető (3. ábra). A körön kívül a *Festuca pseudovina* átlagosan 30-35 cm-es magas gyeppet alakít ki. A gombafronton (5. kvadrát) az *Elymus repens* válik dominánssá, míg a 32. kvadrátban az *Elymus repens* mellett a *Poa angustifolia* is nagyobb borítással van jelen, ezért van némileg alacsonyabb. Ahogy haladunk a kör közepe felé, egyre jobban dúsul fel a *Poa angustifolia*, és vele fokozatosan csökken a gyepp átlagmagassága is, de így is meghaladja a körön kívüli magasságot.

Takarmányérték

A kvadrátok Balázs-féle takarmányértéke (K -érték) a kör közepén a legnagyobb (4. ábra). Ez a *Poa angustifolia* dominanciájának köszönhető. A kontroll terület és a gombafront között ezen szempontrendszer szerint fokozatosabb az átmenet, mint az egyéb paraméterek szerint.

2. ábra: Az összborítás alakulása a transzszektek mentén

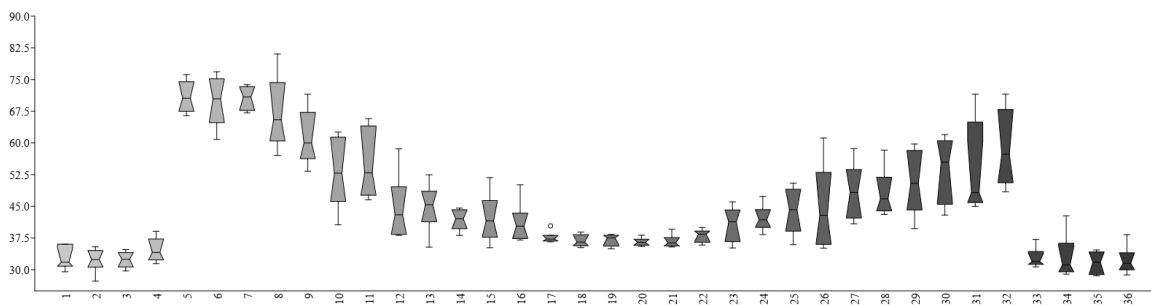


Jelmagyarázat: x tengely: a kvadrátok száma, y tengely: borítási százalék(1)

Figure 2: Total coverage along the transects

Note: x-axis: sequential number of quadrats, y-axis: coverage percentage(1)

3. ábra: A gyepterület Balázs-féle átlagmagasságának alakulása

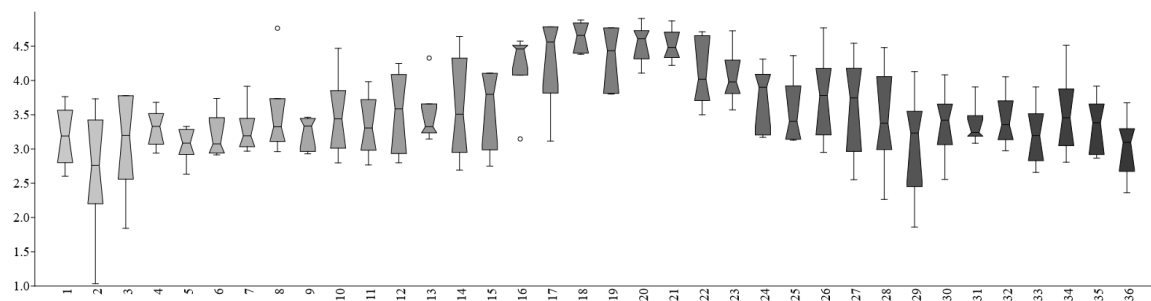


Jelmagyarázat: x tengely: a kvadrátok száma, y tengely: átlagos gyepterület(1)

Figure 3: Changes in the average height of the grassland according to Balázs

Note: x-axis: number of squares, y-axis: average lawn height(1)

4. ábra: A gyepterület tápanyagértékének alakulása a transzszektek mentén



Jelmagyarázat: x tengely: a kvadrátok száma, y tengely: átlagos gyepterület(1)

Figure 4: Changes in the nutritional value of grass along transects

Note: x-axis: number of squares, y-axis: average lawn height(1)

MEGVITATÁS

A Pannon biogeográfiai régió homokpuszta gyepei kiemelkedő természetvédelmi értéket képviselnek, melyek fenntartása a megfelelő gyeptáborozási gyakorlatoktól függ. E rendszerek jellegzetes, de még mindig kevésbé ismert ökológiai elemei a boszorkánykörök, amelyek a talajban és a növényzetben egyaránt mélyreható változásokat hoznak létre (Bonanomi et al., 2012; Zotti et al., 2020).

A boszorkánykörök vizsgálatára ökológiai fontosságuk és mezőgazdasági potenciáljuk ellenére nemzetközi szinten is kevés tudományos kutatás történt, annak ellenére, hogy több szerző is kiemeli az interdiszciplináris kutatások elengedhetetlen szerepét a hozzájuk kötődő sokszínű ökológiai folyamatok komplex feltáráshoz (Bonanomi et al., 2012; Karst et al., 2016; Zotti et al., 2025).

A „fairy chemical”-ek fokozhatják a növény ellenálló képességét a környezeti stresszhatásokkal szemben, és termésmenvelő hatásuk is lehet, valamint biológiai aktivitásuk is lehet, mint például öregedésgátlás és az antikarcinogén hatás (Choi et al., 2010, 2014; Liu et al., 2024b). Termésmenvelő hatásukat a gazdasági szempontból kiemelkedően fontos búza (Tobina et al., 2014) és rizs (Asai et al., 2015) esetében már igazolták.

Kutatásunk egyértelműen kimutatta, hogy az *Agaricus xanthodermus* által képzett boszorkánykör komplex és térben tagolt hatással van a homoki sztyeppré névénytakaráulására, mely a növényzet fizionómiájától a takarmányozási értékig számos paraméterben megnyilvánul.

A gombafronton bekövetkező intenzív nitrogén-mobilizáció azonnali és markáns választ váltott ki a gyeptáborozatból. A nitrogénigényes ruderalis fajok, mint az *Elymus repens* gyorsan dominánssá váltak, ami az összborítás meredek növekedésével, a diverzitás csökkenésével és a szociális magatartásformák értékeinek drasztikus romlásával (erős degradáció) járt együtt. Ez a zóna a gombakör frontján, a kör leginkább zavart részeként jellemezhető, ami egybe vág Zotti et al. (2020) eredményeivel. A kör belseje felé haladva azonban a hatás egyre csökken. Bár itt a nagyobb relatív talajnedvesség- és nitrogénigényű *Poa angustifolia* a domináns faj, de ez takarmányozási szempontból kedvező. Ennek következtében a kör középső részén találtak a legmagasabb takarmányértéket (K-érték), bár ez a monodominancia a növényi diverzitás radikális csökkenésével járt.

Összességében megállapítható, hogy az *A. xanthodermus* boszorkányköre nem egyszerűen egy ökológiai zavarás, hanem mint ökoszisztéma-mérnök, jelentős térbeli heterogenitást, mozaikosságot alakít ki a gyepon. Ez a heterogenitás egyrészt lehetőséget kínál egyes, takarmányozás szempontjából értékes fajok felszaporodására, másrészt azonban a diverzitás kis térléptékű csökkenésével is járhat. Eredményeink megerősítik, hogy a boszorkánykörök hatásainak értékelése csak a kör különböző zónáinak együttes vizsgálatával lehetséges. A jelenség komplexitása további kutatásokat igényel annak megértéséhez, hogy a boszorkánykörök hogyan integrálhatók a pannon gyepek fenntartható gazdálkodásába és természetvédelmi kezelésébe, különös tekintettel a terméshozam és a biodiverzitás közötti egyensúlyra.

IRODALOM

- Albrecht, Wm. A.-Sheldon, V. L.-Blue, Wm. G. (1951): "Fairy ring" mushrooms make protein-rich Grass. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 78(1): 83-88. <https://doi.org/10.2307/2482160>
- Asai, T.-Choi, J. H.-Ikka, T.-Fushimi, K.-Abe, N.-Tanaka, H.-Yamakawa, Y.-Kobori, H.-Kiriwa, Y.-Motohashi, R.-Deo, V. K.-Asakawa, T.-Kan, T.-Morita, A.-Kawagishi, H. (2015): Effect of 2-azahypoxanthine (AHX) produced by the fairy-ring-forming fungus on the growth and the grain yield of rice. Japan Agricultural Research Quarterly, 49: 45-49. <https://doi.org/10.6090/jarq.49.45>
- Bajnok, M.-Penksza, K.-Fűrész, A.-Penksza, P.-Csontos, P.-Szentés, S.-Stilling, F.-Saláta-Falusi, E.-Fuchs, M.-Melenya, C.-Házi, J.-Balogh, D.-Wagenhoffer, Z. (2024): Military activity impact on vegetation in Pannonian dry sandy grasslands. Land, 13, 252. <http://doi.org/10.3390/land13020252>
- Balázs F. (1949): A gyepek termésmenvelése növénytakaráológia alapján. Agrártudomány, 1: 26-35.
- Balázs F. (1960): A gyepek botanikai és gazdasági értékelése. A Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kiadványai, 8: 3-2.
- Bartha, S.-Szentés, S.-Horváth, A.-Házi, J.-Zimmermann, Z.-Molnár, C.-Dancza, I.-Margóczy, K.-Pál, R. W.-Purger, D.-Schmidt, D.-Óvári, M.-Komoly, C.-Sutyinszki, Z.-Szabó, G.-Csathó, A. I.-Juhász, M.-Penksza, K.-Molnár, Z. (2014): Impact of mid-successional dominant species on the diversity and progress of succession in regenerating temperate grasslands. Applied Vegetation Science, 17: 201-213. <http://doi.org/10.1111/avsc.12066>
- Bengtsson, J.-Bullock, J. M.-Egoh, B.-Everson, C.-Everson, T.-O'Connor, T.-O'Farrell, P. J.-Smith, H. G.-Lindborg, R. (2019): Grasslands – more important for ecosystem services than you might think. Ecosphere, 10: e02582. <http://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- Bonanomi, G.-Mingo, A.-Incerti, G.-Mazzoleni, S.-Allegrezza, M. (2012): Fairy rings caused by a killer fungus foster plant diversity in species-rich grassland. Journal of Vegetation Science, 23: 236-248. <http://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01353.x>

- 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. <http://doi.org/10.1007/s10531-013-0502-8>
- 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.
- Caesar-Ton, T. C.-Espeland, E.-Caesar, A. J.-Sainju, U. M.-Lartey, R. T.-Gaskin, J. F. (2013): Effects of *Agaricus lilaceps* fairy rings on soil aggregation and microbial community structure in relation to growth stimulation of western wheatgrass (*Pascopyrum smithii*) in Eastern Montana Rangeland. *Microbial Ecology*, 66: 120-131. <http://doi.org/10.1007/s00248-013-0194-3>
- Catorci, A.-Piermarteri, K.-Penksza, K.-Házi, J.-Tardella, F. M. (2017): Filtering effect of temporal niche fluctuation and amplitude of environmental variations on the trait-related flowering patterns: Lesson from sub-Mediterranean grasslands. *Scientific Reports*, 7: 12034. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-12226-5>
- Clevell, A. F. (2000): Restoring for natural authenticity. *Ecological Restoration*, 18(4): 216-217. <https://doi.org/10.3368/er.18.4.216>
- Choi, J.-H.-Fushimi, K.-Abe, N.-Tanaka, H.-Maeda, S.-Morita, A.-Hara, M.-Motohashi, R.-Matsunaga, J.-Eguchi, Y.-Ishigaki, N.-Hashizume, D.-Koshino, H.-Kawagishi, H. (2010): Disclosure of the “fairy” of fairy-ring-forming fungus *Lepista sordida*. *ChemBioChem*, 11: 1373-1377. <http://doi.org/10.1002/cbic.201000112>
- Choi, J.-H.-Ohnishi, T.-Yamakawa, Y.-Takeda, S.-Sekiguchi, S.-Maruyama, W.-Yamashita, K.-Suzuki, T.-Morita, A.-Ikka, T.-Motohashi, R.-Kiriiwa, Y.-Tobina, H.-Asai, T.-Tokuyama, S.-Hirai, H.-Yasuda, N.-Noguchi, K.-Asakawa, T.-Sugiyama, S.-Kan, T.-Kawagishi, H. (2014): The source of “fairy rings”: 2-azahypoxanthine and its metabolite found in a novel purine metabolic pathway in plants. *Angewandte Chemie International Edition*, 53: 1552-1555. <http://doi.org/10.1002/anie.201308109>
- Csecserits, A.-Czúcz, B.-Halassy, M.-Kroel-Dulay, G.-Rédei, T.-Szabó, K.-Szitár, R.-Torok, K. (2011): Regeneration of sandy old-fields in the forest steppe region of Hungary. *Plant Biosystems*, 145: 715-729.
- Deák, B.-Valkó, O.-Kelemen, A.-Török, P.-Migléc, T.-Ölvedi, T.-Lengyel, S.-Tóthmérész, B. (2011): Litter and graminoid biomass accumulation suppresses weedy forbs in grassland restoration. *Plant Biosystems*, 145: 730-737. <http://doi.org/10.1080/11263504.2011.601336>
- Dolt, C.-Goverde, M.-Baur, B. (2005): Effects of experimental small-scale habitat fragmentation on above- and below-ground plant biomass in calcareous grasslands. *Acta Oecologica*, 27: 49-56.
- Edwards, P. J. (1984): The growth of fairy rings of *Agaricus Arvensis* and their effect upon grassland vegetation and soil. *Journal of Ecology*, 72: 505-513. <http://doi.org/10.2307/2260062>
- Elliott, J. S. B. (1926): Concerning “fairy rings” in pastures. *Annals of Applied Biology*, 13: 277-288. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1926.tb04274.x>
- Gillman, L. N.-Wright, S. D. (2006): The influence of productivity on the species richness of plants. a critical assessment. *Ecology*, 87: 234-243.
- Házi, J.-Bartha, S.-Szentes, S.-Wichmann, B.-Penksza, K. (2011): Seminatural grassland management by mowing of *Calamagrostis epigejos* in Hungary. *Plant Biosystems*, 145: 699-707. <https://doi.org/10.1080/11263504.2011.601339>
- Házi, J.-Penksza, K.-Barczy, A.-Szentes, S.-Pápay, G. (2022): Effects of long-term mowing on biomass composition in Pannonian dry grasslands. *Agronomy*, 12: 1107. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051107>
- Házi, J.-Purger, D.-Penksza, K.-Bartha, S. (2024): Changes in species composition, diversity, and biomass of secondary dry grasslands following long-term mowing: A case study in Hungary. *Grasses*, 3: 130-142. <https://doi.org/10.3390/grasses3030009>
- Jones, C. G.-Lawton, J. H.-Shachak, M. (1997): Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78: 1946-1957. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[1946:PANEOO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1946:PANEOO]2.0.CO;2)
- Karst, N.-Dralle, D.-Thompson, S. (2016): Spiral and rotor patterns produced by fairy ring fungi. *PLOS ONE*, 11: e0149254. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149254>
- Király G. (2009): Új magyar fűvészkönyv: Magyarország hajtásos növényei; Határozókulcsok. Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság: Aggtelek, 616. pp.
- Kiss T.-Penksza K.-Tasi J.-Szentes S. (2008). Juh- és marhalegelő cönológiai és gyepgazdálkodási vizsgálata kiskunsági területeken. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 6(1-2). 39-45. <http://doi.org/10.55725/gygk/2008/6/1-2/10333>
- Kiss, T.-Lévai, P.-Ferencz, Á.-Szentes, S.-Hufnagel, L.-Nagy, A.-Balogh, Á.-Pintér, O.-Saláta, D.- Házi, J.-Tóth, A.-Wichmann, B.-Penszka, 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. http://doi.org/10.15666/aecer/0903_197230
- Li, J.-Guo, L.-Wilson, G. W. T.-Cobb, A. B.-Wang, K.-Liu, L.-Zhao, H.-Huang, D. (2022): Assessing soil microbes that drive fairy ring patterns in temperate semiarid grasslands. *BMC Ecology and Evolution*, 22: 130. <http://doi.org/10.1186/s12862-022-02082-x>
- Liu, F.-Liu, P.-Zhang, Y.-Sun, L.-Zhang, P.-Cao, M.-Zhou, H.-Wang, W.-Xu, J. (2021): Comparative metabolomics reveals that *Agaricus bisporus* fairy ring modulates the growth of alpine meadow plant on the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecological Indicators*, 129: 107865. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107865>
- Liu, M.-Wei, Y.-Lian, L.-Zhang, J.-Liu, N.-Wilson, G.W. T.-Rillig, M. C.-Jia, S.-Yang, G.-Zhang, Y. (2024a): Discovering the role of fairy ring fungi in accelerating nitrogen cycling to promote plant productivity in grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 199: 109595. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109595>
- Liu, S.-Ye, C.-Guo, J.-Chen, D.-Liu, J.-Zhou, X.-Jia, B.-Zheng, Y.-Wu, J.-Kawagishi, H.-Chen, K.-Liu, C. (2024b): From fairy rings to fairy chemicals: The story from nature phenomenon to commercial application. *Modern Agriculture*, 2: e24. <http://doi.org/10.1002/moda.24>
- Magyar, V.-Penksza, K.-Szentes, Sz. (2017): Comparative investigations of biomass composition in differently managed grasslands of the Balaton Uplands National Park, Hungary. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 15(1): 49-56.

- Matus, G.-Tóthmérész, B.-Papp, M. (2003): Restoration prospects of abandoned species-rich sandy grassland in Hungary. *Applied Vegetation Science*, 6(2): 169-178. <http://www.jstor.org/stable/1479016>
- Máté A. (2014): 6260 Pannon homoki gyepek. In: Haraszthy L. (szerk.): *Natura 2000 fajok és élőhelyek Magyarországon*. Pro Vértis Közalapítvány, Csákvár, 817-823.
- Molnár Zs.-Rédei T.-Fekete G.-Kröel-Dulay Gy.-Kun A.-Bartha S.-Juhász M.-Bauer N.-Lőkös L. (2011a): G1 – Nyílt homokpusztagyepek. In: Bölöni J.-Molnár Zs.-Kun A. (szerk.): *Magyarország élőhelyei: vegetációtípusok leírása és határozója*. ÁNÉR 2011. MTA, Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet
- Molnár Zs.-Varga Z.-Kun A.-Horváth A.-Juhász M. (2011b): H5b – Homoki sztyeprétek. In: Bölöni J.-Molnár Zs.-Kun A. (szerk.): *Magyarország élőhelyei: vegetációtípusok leírása és határozója*; ÁNÉR 2011. MTA, Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet
- Pauler, C. M.-Homburger, H.-Lüscher, A.-Scherer-Lorenzen, M.-Schneider, M. K. (2025): Ecosystem services in mountain pastures: a complex network of site conditions, climate and management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 377: 109272. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109272>
- Penszka, K.-Ádám, S.-Csontos, P.-Vona, M.-Malatinszky, Á. (2008): Signs of environmental change as reflected by soil and vegetation on sandy areas in the Carpathian basin. *Cereal Research Communications*, 36: 1063-1066. <http://www.jstor.org/stable/90002891>
- Penszka K.-Szentés S.-Centeri C.-Tasi J. (2009a): Juhlegelő természetvédelmi célú botanikai, takarmányozástani és talajtani vizsgálata a Káli-medencében. *Animal Welfare, Ethology and Housing Systems*, 5(1): 49-62.
- Penszka K.-Tasi J.-Szabó G.-Zimmermann Z.-Szentés S. (2009b): Természetvédelmi célú botanikai és takarmányozástani vizsgálatok adatai Káli-medencei juhlegelőhöz. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 7: 51-58.
- Penszka K.-Wichmann B.-Szentés S. (2009c): Szarvasmarha-, juh- és lólegelők összehasonlító vizsgálata a Tapolcai és a Káli-medencében – 2008. év. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 7(1-2): 59-63.
- Penszka 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.
- Penszka K.-Wagenhoffer Z.-Nagy B.-Szentés S.-Bajnok M.-Bodnár Á.-Fűrész A. (2023): Gyepgazdálkodási és cönológiai vizsgálatok Mezőszilas (Mezőföld) melletti juhlegelőn. *Animal welfare, ethology and housing systems*, 19(1): 60-67. <https://doi.org/10.17205/SZIE.AWETH.2023.1.060>
- Penszka, K.-Saláta D.-Fűrész A.-Penszka P.-Fuchs M.-Pajor F.-Sipos L.-Saláta-Falusí E.-Wagenhoffer Zs.-Szentés Sz. (2024): Are Hungarian Grey Cattle or Hungarian Racka Sheep the Best Choice for the Conservation of Wood-Pasture Habitats in the Pannonian Region? *Agronomy (Basel)* 14: 4. Paper: 846.
- Penszka, K.-Pajor, F.-Kevi, A.-Wagenhoffer, Zs.-Sipos, L.-Saláta-Falusí, E.-Penszka, P.-Poti, P.-Berke, J.-Saláta, D.-Bajnok, M.-Szentés, Sz. (2025): The Effect of Goat Grazing on the Biodiversity of Pannonian Dry Grassland. *Diversity* 17: 1 Paper: 13. 15. p.
- Rodríguez-Ortega, T.-Oteros-Rozas, E.-Ripoll-Bosch, R.-Tichit, M.-Martín-López, B.-Bernués, A. (2014): Applying the ecosystem services framework to pasture-based livestock farming systems in Europe. *Animal*, 8: 1361-1372. <http://doi.org/10.1017/S1751731114000421>
- Rogers, D. J.-McAllister, H. J. (1969): Preferential Grazing by Game on a Fungus "Fairy Ring." *The Journal of Wildlife Management*, 33: 1034-1036. <http://doi.org/10.2307/3799348>
- Sutyinszki Z.-Szentés Sz.-Katona Z.-Pusztai E.-Marinkás Á.-Penszka K. (2013): Kondorosi mezsgyék növényzete és tájtörténete közötti összefüggések vizsgálata. *Tájökológiai Lapok*, 11(2): 379-388.
- Sutyinszki Z.-Szentés Sz. (2014): Kondorosi mezsgyékben előforduló védett növények élőhelyének monitorozása I. *Tájökológiai Lapok*, 12(2): 345-354.
- Szabó G.-Zimmermann Z.-Szentés Sz.-Sutyinszki Z.-Penszka K. (2011a): Természetvédelmi és gyepgazdálkodási vizsgálatok a Dinnyési-Fertő gyepeiben. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 9(1-2): 31-38. <http://doi.org/10.55725/gygk/2011/9/1-2/10042>
- Szabó G.-Zimmermann Z.-Bartha S.-Szentés Sz.-Sutyinszki Zs.-Penszka K. (2011b): Botanikai, természetvédelmi és gyepgazdálkodási vizsgálatok Balatonfelvidéki szarvasmarhalegelőkön. *Tájökológiai Lapok*, 9(2): 431-440. <http://doi.org/10.56617/tl.3931>
- Szabó F.-Nagy G.-Gulyás L.-Tempfli K. (2020): A gyepfajta és annak várható módosulása a klímaváltozás tükrében. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 69(1): 9-16.
- Szabó, G.-Magyar, V.-Szentés, Sz.-Penszka, K. (2021): Comparative phytosociological study of longterm on Tihany Peninsula of the Balaton uplands National Park, Hungary. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 20: 37-38. <https://doi.org/10.55725/gygk/2022/19/2/10699>
- Szentés, Sz.-Kenéz, Á.-Saláta, D.-Szabó, M.-Penszka, K. (2007a): Comparative researches and evaluations on grassland management and nature conservation in natural grasslands of the Transdanubian mountain range. *Cereal Research Communications*, 35: 1161-1164.
- Szentés Sz.-Penszka K.-Tasi J. (2007b): Gyepgazdálkodási vizsgálatok a Dunántúli középhegység néhány természetes gyepeiben. *Animal welfare, ethology and housing systems*, 3: 127-149.
- Szentés Sz.-Penszka K.-Tasi J.-Malatinszky Á. (2008): A legeltetés természetvédelmi vonatkozásai a Tapolcai és Káli medencében. *Animal Welfare, Etológia és Tartástechnológia*, 4(2): 829-835.
- Szentés Sz.-Tasi J.-Házi J.-Penszka K. (2009a): A legeltetés hatásának gyepgazdálkodási és természetvédelmi vizsgálata Tapolcai- és Káli-medencei lólegelőn a 2008. évi gyepgazdálkodási idényben. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 7: 65-72. <https://doi.org/10.55725/gygk/2009/7/1-2/10275>
- Szentés Sz.-Tasi J.-Wichmann B.-Penszka K. (2009b): Botanikai és gyepgazdálkodási vizsgálatok 2008. évi eredményei a badacsonytördemici szürkemarle legelőn. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 7: 7378. <https://doi.org/10.55725/gygk/2009/7/1-2/10276>
- Szentés S.-Sutyinszki Z.-Zimmermann Z.-Szabó G.-Járdi I.-Házi J.-Penszka K.-Bartha S. (2011a): A fenyérfű (*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng 1936) gyep béta-diverzitására gyakorolt hatásainak vizsgálata és értékelése mikrocönológiai módszerekkel. *Tájökológiai Lapok*, 9(2): 469-481. <https://doi.org/10.56617/tl.3935>

- Szentes Sz.-Penksza K.-Dannhauser C.-Coezte R. (2011b): Nedves fekvésű gyepek botanikai összetételének, produktívitásának és beltartalmi értékeinek növekedéskénti változása szürkemárha legelőn a Tapolcai-medencében. *Animal welfare, etológia és tartástechnológia*, 7: 180-198.
- Szentes, Sz.-Sutyinszki, Z.-Szabó, G.-Zimmermann, Z.-Házi, J.-Wichmann, B.-Hufnágel, L.-Penksza, K.-Bartha S. (2012a): Grazed Pannonian grassland beta-diversity changes due to C4 yellow bluestem. *Central European Journal of Biology*, 7: 1055-1065. <https://doi.org/10.2478/s11535-012-0101-9>
- Szentes Sz.-Sutyinszki Zs.-Szabó G.-Zimmermann Z.-Járdi I.-Házi J.-Bartha S.-Penksza K. (2012b): A fenyérfű (*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng 1936) gyepek fajösszetételére gyakorolt hatásainak vizsgálata mikrocönológiai módszerekkel. *Animal welfare, etológia és tartástechnológia*, 8(1): 88-102.
- Szentes, Sz.-Sutyinszki, Z.-Kiss, T.-Fűrész, A.-Saláta, D.-Harkányiné Székely, Z.-Penksza, K. (2022): Verges as fragments of loess grasslands in the Carpathian Basin and their *Festuca* species. *Diversity*, 14(7): 510. <https://doi.org/10.3390/d14070510>
- Szentes S.-Fűrész A.-Wagenhoffer Z.-Penksza K. (2023a): Nedves fekvésű magyar szürke szarvasmarha-legelő produktívitásának és beltartalmi értékeinek havi változása és összefüggése a fajgazdagsággal. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 21(1): 19-28. <https://doi.org/10.55725/gygk/2023/21/1/13069>
- Szentes S.-Wagenhoffer Z.-Tasi J.-Penksza K.-Bajnok M. (2023b): Szemléltetés a gyepelemzésben, háromdimenziós termébebecslési és minősítési módszer. *Előtanulmány. Gyepgazdálkodási Közlemények* 21: 47-58. <https://doi.org/10.55725/gygk/2023/21/2/13226>
- Szentes, S.-Kevi, A.-Wagenhoffer, Z.-Saláta-Falusi, E.-Pajor, F.-Berke, J.-Tursányi-Járdi, I.-Penksza, P.-Kunos, V.-Kende, Z.-Penksza, K. (2024): Assessing the impact of grazing and restoration methods on Pannonian grasslands. *Land*, 13(12): 2135. <http://doi.org/10.3390/land13122135>
- Szentes, S.-Penksza, K.-Saláta-Falusi, E.-Sipos, L.-Kozma-Bognár, V.-Hoffmann, R.-Wagenhoffer, Z. (2025a): Effects of *Bothriochloa ischaemum* on the diversity of Pannonian sandy grasslands. *Land*, 14(5): 1107. <http://doi.org/10.3390/land14051107>
- Szentes, S.-Tursányi-Járdi, I.-Sipos, L.-Penksza, K.-Kende, Z.-Saláta-Falusi, E.-Szabó-Szöllősi, T.-Kevi, A.-Balogh, D.-Bajnok, M.-Wagenhoffer, Z. (2025b): Feed values for grassland species and method for assessing the quantitative and qualitative characteristics of grasslands. *Earth*, 6(4): 119. <https://doi.org/10.3390/earth6040119>
- Szentes, S.-Pajor, F.-Penksza, K.-Saláta-Falusi, E.-Balogh, D.-Balogh, J.-Sári, L.-Balogh, P.-Bori, D.-Kárpáti, E.-Freiler-Nagy Á.-Orosz Sz.-Penksza P.-Szőke P.-Pintér O.-Szatmári I.-Wagenhoffer Zs. (2025c): What Are the Effects of Cattle Grazing on Conservation and Forage Value Across Grazing Pressure Gradients in Alkali Grasslands? *Diversity* 17: 741. <https://doi.org/10.3390/d17110741>
- Takács A.-Wagenhoffer Z.-Bajnok M.-Penksza K.-Saláta-Falusi E.-Szentes S. (2024): Különböző gyepek kezeléseinek gyepgazdálkodási eredményei Aba melletti kaszálón. *Animal welfare, etológia és tartástechnológia*, 20(1): 65-84. <http://doi.org/10.17205/aweth.5909>
- Tobina, H.-Choi, J.-H.-Asai, T.-Kiriwa, Y.-Asakawa, T.-Kan, T.-Morita, A.-Kawagishi, H. (2014): Azahypoxanthine and imidazole-4-carboxamide produced by the fairy-ring-forming fungus increase wheat yield. *Field Crops Research*, 162: 6-11. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.03.008>
- Török, P.-Valkó, O.-Deák, B.-Kelemen, A.-Tóthmérész, B. (2014): Traditional cattle grazing in a mosaic alkali landscape: effects on grassland biodiversity along a moisture gradient. *PLOS ONE*, 9: e97095. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0097095>
- Török, P.-Penksza, K.-Tóth, E.-Kelemen, A.-Sonkoly, J.-Tóthmérész, B. (2018): Vegetation type and grazing intensity jointly shape grazing effects on grassland biodiversity. *Ecology and Evolution*, 8: 10326-10335. <http://doi.org/10.1002/ece3.4508>
- Török, P.-Schmidt, D.-Bátori, Z.-Aradi, E.-Kelemen, A.-Hábenczyus, A. A.-Tölgyesi, Cs.-Pál, R. W.-Balogh, N.-Tóth, E.-Matus, G.-Sramkó, G.-Laczkó, L.-Jordán, S.-McIntosh-Buday, A.-Kovacsics-Vári, G.-Sonkoly, J. (2021): Invasion of the North American sand dropseed (*Sporobolus cryptandrus*) – A new pest in Eurasian sand areas? *Global Ecology and Conservation*, 32: e01942. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01942>
- Tursányi-Járdi, I. S.-Falusi, E.-Penksza, K. (2022): Investigation on the effect of extreme climatic conditions in Pannonian grazed sandy grasslands in the Ipoly valley. *Journal of Landscape Ecology*, 20(2): 115-129. <https://doi.org/10.56617/l.3455>
- van der Wal, A.-Geydan, T. D.-Kuyper, T. W.-de Boer, W. (2013): A thready affair: linking fungal diversity and community dynamics to terrestrial decomposition processes. *FEMS Microbiology Reviews*, 37: 477-494. <http://doi.org/10.1111/1574-6976.12001>
- Wang, Q.-Wang, C.-Wei, Y.-Yao, W.-Lei, Y.-Sun, Y. (2022): Soil microbes drive the flourishing growth of plants from *Leucocalocybe mongolica* fairy ring. *Frontiers in Microbiology*, 13. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2022.893370>
- Xu, X.-Ouyang, H.-Cao, G.-Richter, A.-Wanek, W.-Kuznyakov, Y. (2011): Dominant plant species shift their nitrogen uptake patterns in response to nutrient enrichment caused by a fungal fairy in an alpine meadow. *Plant and Soil*, 341: 495-504. <http://doi.org/10.1007/s11104-010-0662-1>
- Yang, C.-Li, J.-Liu, N.-Zhang, Y. (2019): Effects of fairy ring fungi on plants and soil in the alpine and temperate grasslands of China. *Plant and Soil* 441: 499-510. <http://doi.org/10.1007/s11104-019-04141-7>
- Zimmermann Z.-Szabó G.-Szentes S.-Penksza, K. (2012): Juhlegeltetés hatásainak természetvédelmi célú vizsgálata legelt és művelésből kivont gyepek növényzetére. *Animal Welfare, Etológia és Tartástechnológia*, 8(1): 103-117.
- Zotti, M.-De Filippis, F.-Cesarano, G.-Ercolini, D.-Tesei, G.-Allegrezza, M.-Giannino, F.-Mazzoleni, S.-Bonanomi, G. (2020): One ring to rule them all: an ecosystem engineer fungus fosters plant and microbial diversity in a Mediterranean grassland. *New Phytologist*, 227: 884-898. <http://doi.org/10.1111/nph.16583>
- Zotti, M.-Bonanomi, G.-Mazzoleni, S. (2025): Fungal fairy rings: history, ecology, dynamics and engineering functions. *IMA Fungus*, 16: e138320. <http://doi.org/10.3897/ima fungus.16.138320>