

Boszorkánykörök – gyepeink rejtett erőforrásai (review)

Balogh János¹ – Tóth Adrienn² – Freiler-Nagy Ágnes³ –
Moravszki Leticia² – Hetényi Nikolett² – Orosz Szilvia²

¹Magyar Élettudományi Egyetem, Növénytermesztési Intézet,
Gödöllő

²Állatorvostudományi Egyetem

³Állattenyésztési, Takarmányozástani és Laborállattudományi
Intézet, Budapest

³Állathigiéniai, Állomány-egészségügyi Tanszék és Mobilklinika,
Budapest

ÖSSZEFOGLALÁS

Ez az áttekintő tanulmány a mérsékelt övi gyepekben előforduló boszorkányköröket (fairy ring), és azok ökológiai szerepét vizsgálja, kiemelve a hazai előfordulásokat. Bemutatja a Magyarországon előforduló 92 ilyen gombafajt, és részletesen tárgyalja a körök kialakulásának ökológiai mechanizmusait, növekedési ütemét (ami fajonként évi 7 cm és 125 cm között változik), és a különböző osztályozási rendszereket. Az ökológiai szerepük komplex és kettős: egyes fajok (1-es típus) a gombafronton negatív hatással vannak a növényzetre (pl. talajhidrofóbicitás, fitotoxikus anyagok), míg a körök belső zónájában serkentik a növekedést és növelik a diverzitást, részben az arbuskuláris mikorrhiza gombák (AM) felszaporodásán keresztül. A boszorkánykörök tehát ökoszisztéma-mérnökök: alapvetően befolyásolják a tápanyagciklusokat, a talaj mikrobiális közösségeit, a növényi diverzitást és a biomassza termelést. Az általuk termelt vegyületek egy része (fairy chemicals) potenciális mezőgazdasági hasznosíthatósága rendkívüli eredményekkel kecsegtetnek. A boszorkánykörök kutatása – annak ellenére, hogy kulcsfontosságúak a gyepei ökoszisztémák működésének megértéséhez – még mindig elégtelen. Az interdiszciplináris megközelítés, a távérzékelési technológiák alkalmazása és a matematikai modellezés alkalmazása a jövőbeli kutatásokban hozzájárulhat a gyepek megóvásához, helyreállításához és a klímaváltozásra való alkalmazkodásukhoz.

Kulcsszavak: gombakör, arbuskuláris mikorrhiza, ökoszisztéma-mérnök, növényi diverzitás

SUMMARY

This review examines fairy rings in temperate grasslands and their ecological role, highlighting their occurrence in Hungary. It presents the 92 fungal species recorded in Hungary that form these structures and provides a detailed discussion of the ecological mechanisms behind ring formation, their growth rates (which vary from 7 cm to 125 cm per year depending on the species), and the various classification systems. Their ecological role is complex and dual: some species (Type 1) harm vegetation at the fungal front (e.g., through soil hydrophobicity and phytotoxic compounds), while in the inner zone of the rings, they stimulate growth and increase diversity, partly by promoting the proliferation of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. Therefore, fairy ring fungi are ecosystem engineers: they fundamentally influence nutrient cycles, soil microbial communities, plant diversity, and biomass production. Some of the compounds they produce (fairy chemicals) show remarkable potential for agricultural application. Research on fairy rings – despite being crucial for understanding the

functioning of grassland ecosystems – is still insufficient. An interdisciplinary approach, the application of remote sensing technologies, and the use of mathematical modelling in future research could contribute to the protection, restoration, and climate change adaptation of grasslands.

Keywords: fairy rings, mushrooms, arbuscular mycorrhiza, ecosystem engineer, plant diversity

BEVEZETÉS

A globális ökoszisztémák közül a mérsékelt égövi gyepek a biológiai sokféleség olyan forró pontjai, amelyeknek a fajgazdagsága a trópusi erdőkével vetekszik (Dengler et al., 2014; Janišová et al., 2011, 2024; Pywell et al., 2002; Valkó et al., 2016; Wilson et al., 2012), emellett ezen gyepeknek a gazdasági és népességmegtartó szerepük is kiemelkedő (Prangel et al., 2023, 2024). Európában a legtöbb gyepterületet, köztük a természetes és féltermészetes gyepeket is, évszázadokon keresztül antropogén módon mezőgazdasági termelésre használták (Bardgett et al., 2021; Dengler et al., 2014; Feurdean et al., 2018; Pereira és Navarro, 2015). Ennek következtében, különösen a 20. század kezdete óta ezek a féltermészetes gyepek területe Európa-szerte jelentős mértékben csökkent, amely folyamatot a land use change is erősít (Elliott et al., 2023; Pazúr et al., 2024; Schils et al., 2022). Ennek ellenére az extenzív hasznosítású gyepek jelentős természetvédelmi és gazdasági értéket képviselnek (Penksza et al., 2010; Szentes et al., 2007a, 2009a). Melyet azonban számtalan veszély fenyegethet, melyek közül az egyik legaktuálisabb a klímaváltozás és a szárazodással az évelő C4-es pázsitfűvek felszaporodása (Szentes et al., 2011a, 2012a, b, 2025), köztük néhány agresszív invazív faj is, mint például a homoki prérifű (*Sporobolus cryptandrus*) (Török et al., 2021).

A klímaváltozás gyepeink hosszútávú biomasszadynamikáját is módosítja (Szabó et al., 2020), ami a gyepek diverzitására is kihat (Fraser et al., 2015). Olyan vonalas gyeppragmentumok is, mint a mezsgyék, gyakran védett növényfajokat is őrző vegetációmaradványok lehetnek (Sutyinszki és Szentes, 2014; Sutyinszki et al., 2013; Szentes et al., 2022), így a természetközeli gyepterületek helyreállítása növelheti a biológiai sokféleséget és

újáteremtve az ökoszisztéma-szolgáltatások forró pontjait (Prangel et al., 2024).

Ezért megóvásuk, helyreállításuk (Zachar et al., 2023; Szentes et al., 2024) több szempontból fontos, mivel például számos állatfaj legeltethető rajtuk.

Húsmarha legeltetés szántóföldi művelésre alkalmatlan területeken is végezhető, mint például mocsár- és lápréteken (Házi et al., 2012; Szabó et al., 1999; Penksza et al., 2008, 2013, 2023; Péter et al., 2023; Szentes et al., 2009b, c, 2023, 2025b; Wichmann et al., 2015). A gyepek fitomasszájának éves változása nagyban meghatározza annak állattartóképeségét (Magyar et al., 2017; Szentes et al., 2023). A bivalyok legeltetése, különösen a nedves élőhelyeken, mint amilyenek a szikes réttársulás, fontos, de a legelőtavak fenntartása is elképzelhetetlen lenne nélkülük (Fűrész et al., 2023a), és inváziós növény fajok ellen is sikerrel alkalmazhatóak (Fűrész et al., 2023b), de szárazgyepeken fenntartására is képesek (Fűrész et al., 2023c). A juhlegeltetés elsősorban a rövidfűvű gyepek hasznosítására alkalmas (Hajnáczi et al., 2014; Kiss et al., 2008; Penksza et al., 2023, 2024; Zimmermann et al., 2012), mellyel az olyan veszélyeztetett állatfajták, mint a gyimesi racka és a cikta (Kárpáti et al., 2023) megőrzése is megvalósul. A kecskék legeltetése megfelelő technológia alkalmazása mellett a biodiverzitás fenntartásában is komoly szerepet játszik (Stilling et al., 2023; Penksza et al., 2025). A legeltetés pedig a kecsketej minőségére kiváló hatással van (Pajor et al., 2014). A lovak inkább laza talajszerkezetű gyepeken legeltethetők, de legelésük során intenzíven igénybe veszik a gypet (Szentes et al., 2009a). Ezért a megfelelő legelőterhelés meghatározása rendkívül fontos, mivel a túllegeltetés a növényzet degradációjához és talajerózióhoz vezethet, míg az alullelegeltetés a gyp cserjésedését okozhatja (Szabó et al., 2010, 2011, 2021; Magyar et al., 2017; Penksza et al., 2009; Szentes et al., 2007a, b, 2008, 2009a, b, 2011; Kiss et al., 2011). A kaszálás (Házi et al., 2011, 2022; Takács et al., 2024) és a katonai tevékenység (Bajnok et al., 2024) is hozzájárulhat a gyepek ökológiai állapotának fenntartásához. Ezért fontos ismerni az egyes kezelések pontos várható hatását a gypre (Magyar et al., 2017; Szentes et al., 2007b).

A gyepek számos ökoszisztéma szolgáltatást is nyújtanak (Bengtsson et al., 2019; Maestre et al., 2022; Pauler et al., 2025; Rodríguez-Ortega et al., 2014), amely képességet a gyephasználat módja is befolyásol (Richter et al., 2024). Ilyen ökoszisztéma szolgáltatásnak tekinthetők a különböző gombafajok által (pl. *Agaricus* spp.) alkotott boszorkánykörök is.

EREDMÉNYEK

Taxonómiájuk

A növényzet kör alakú struktúráinak nevezéktanában Getzin et al. (2021) fontos pontosítást végeztek, mivel a nemzetközi szakirodalomban zűrzavaros helyzet alakult ki a „fairy ring” kifejezés körül. Megkülönböztettek a gomba taxonok alkotta

boszorkányköröket (Fungal Fairy Ring) a „boszorkányköröktől”, amelyek nem gombák által keletkeznek, és sivatagi füves területeken, például Namíbiában, Dél-Afrikában, Angolában és Nyugat-Ausztrália egyes részein, és kialakulásuk elsősorban a csapadékszegény környezettel állhat kapcsolatban. A hazai terminológiában azonban nem javasoljuk a boszorkánykör elnevezés megváltoztatását, mivel Európában ilyen struktúrák nem ismertek.

A bazídiumos gombák közül a természetes és a kezelt gyepeken boszorkányköröket képező leginkább tanulmányozott fajok a *Marasmius oreades* (Bolton) Fr., az *Agaricus campestris* L. és az *A. arvensis* Schaeff, míg az erdei fajok közül egy ektomikorrhizális gomba, a *Tricholoma matsutake* a legtöbb tanulmány tárgyát képezi. Ez a faj főleg Ázsiában, Japánban, a Koreai-félszigeten, Kínában, valamint Oroszországban tenyészik, de néhány Észak-Európai országban elő fordul (Brandrud, 2020; Brandrud és Bendiksen, 2014; Christensen és Heilmann-Clausen, 2013).

Zotti et al. (2025) monográfiájukban 134 boszorkánykör képző gombataxont sorolnak fel, ezek közül 92 taxon Magyarországon is előfordul (1. táblázat).

Ezek közül leggyakrabban az alábbi fajokkal találkozhatunk: *Marasmius oreades*, *Agaricus bernardii*, *Agaricus crocodilinus*, *Agaricus xanthodermus*, *Lepista panaeolus*.

Növekedésük

Növényfajok, valamint gombák és baktériumok esetében is kimutatták (Mazzoleni et al., 2015a, b), hogy a lebomlásuk során felszabaduló extracelluláris DNS-nek gátló hatása van ugyanazon faj más egyedeire. A jelenségnek erős hatása lehet klonális fajok gyűrűjének növekedési mintázatára (Carteni et al., 2012) és a fajok együttélésére (Carteni et al., 2016; Vincenot et al., 2017). Lényegében ez az egyik oka annak, hogy a boszorkánykörök gyűrű alakúak.

Bolygatatlan, közepes tápanyagszinttel és bőségesen rendelkezésre álló, lebomló szervesanyag-készlettel jellemezhető élőhelyek kedveznek a boszorkánykörök képződésének. Noha nem áll rendelkezésre közvetlen bizonyíték, amely a gyepterületek meghatározott tápanyagszintjeit konkrét gombafajokhoz kapcsolná, a gyepek gyakran támogatják a bazídiumos gombák (*Basidiomycetes*) fennmaradását, amelyek környezeti bolygatottság bioindikátoraként szolgálnak (Arnolds, 1992; Griffith et al., 2002; Durall et al., 2005).

A boszorkánykörök kialakulását számos, finom léptékben működő ökológiai tényező is befolyásolja, így különösen az avar minősége és összetétele, valamint a kompetitor fajok jelenléte vagy hiánya. A *Clitocybe nebularis* például kifejezetten lombos erdőkhez kötődik, ahol lombos fák avarát bontja le; gyepterületeken viszont a fűeredetű avar fizikai és kémiai sajátosságai miatt nem képes hosszú távon fennmaradni. A *Calocybe gambosa* előfordulása ezzel szemben elsősorban *Rosaceae* fajok – például *Prunus spinosa* L. és *Rubus ulmifolius* Schott – alatt, illetve

idős *Sorbus* L., *Malus* Mill. és *Pyrus* L. állományokban gyakoribb. Bár e fajspecifikus térbeli preferenciák mechanizmusa még nem teljesen tisztázott, valószínűsíthető, hogy a legtöbb Rosaceae-fajra jellemző ektomikorrhiza-hiány olyan talaj- és gyökérszónai környezetet eredményez, amely a szaprotróf gombák számára különösen kedvező (Gadgil és Gadgil, 1971).

A micéliumterjedés üteme nagymértékben eltér az egyes fajok és élőhelyek között, és többek között a gombafajok életmenet-stratégiájától, az évszakos dinamikától, valamint a vegetáció típusától függ (Ramsbottom, 1926; Pugh, 1980; Toohey, 1983). Kedvezőtlen környezeti feltételek esetén a gombafront horizontális terjeszkedése akár több évre is lelassulhat vagy átmenetileg leállhat. Ez arra utal, hogy a csupán korábbi terjedési sebességeken alapuló életkorbecslések könnyen felülbecsléshez vezethetnek (Ramsbottom, 1926). Mindazonáltal, a gombafront térbeli elmozdulásán alapuló terepi mérések jelenleg is a telepek növekedési rátájának és korának meghatározására szolgáló legmegbízhatóbb empirikus eljárások közé tartoznak.

A *Clitocybe* (Fr.) Staude nemzetség az egyik legnagyobb terjedési sebességű taxoncsoporthoz tartozik, amelynek fajai átlagosan mintegy évi 75 cm-rel növelik a gyűrűk átmérőjét (Toohey 1983; Dowson et al., 1989). A *Lepista* (Fr.) W.G. Sm. nemzetség fajai még ennél is dinamikusabb terjeszkedést mutathatnak: a *Lepista sordida* (Schumacher) Singer gyepterületeken évente akár 125 cm-es növekedést is elérhet (Terashima et al., 2004), noha a nemzetségre jellemző átlagos terjedési ráta inkább évi 60 cm körül alakul. Az *Agaricus* L. nemzetség fajai általában évi mintegy 55 cm-es átlagos növekedést mutatnak (Edwards, 1984; Bonanomi et al., 2012). A *Marasmius* Fr. nemzetség esetében a terjedési ráták még szélesebb tartományban mozognak, évi 7 és 39 cm között (Cosby, 1960; Burnett és Evans, 1966; Ingold, 1974; Hardwick és Heard, 1978; Dickinson, 1979). A spektrum lassabb végén az ektomikorrhizás taxonok, például a *Russula* Pers. és a *Tricholoma* (Fr.) Staude nemzetség fajai helyezkednek el, amelyekre rendre évi 22 cm-es, illetve 17 cm-es átlagos horizontális növekedés jellemző (Ohara és Hamada, 1967; Lian et al., 2006; Kataoka et al., 2012; Narimatsu et al., 2015).

1. táblázat

Magyarországon előforduló 92 gombakört alkotó gombafaj Zotti et al. (2025) monográfiája alapján

<i>Agaricus arvensis</i>	<i>Cystoderma amianthinum</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i>
<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Disciseda candida</i>	<i>Macrolepiota mastoidea</i>
<i>Agaricus bernardii</i>	<i>Entoloma porphyrophaeum</i>	<i>Macrolepiota procera</i>
<i>Agaricus campestris</i>	<i>Floccularia luteovirens</i>	<i>Marasmius graminum</i>
<i>Agaricus crocodilinus</i>	<i>Gliophorus psittacinus</i>	<i>Marasmius oreades</i>
<i>Agaricus gennadii</i>	<i>Gymnopus dryophilus</i>	<i>Marasmius collinus</i>
<i>Agaricus xanthodermus</i>	<i>Gymnopus erythropus</i>	<i>Melanoleuca malaleuca</i>
<i>Albatrellopsis confluens</i>	<i>Hebeloma crustuliniforme</i>	<i>Morchella esculenta</i>
<i>Amanita muscaria</i>	<i>Helvella crispa</i>	<i>Morchella semilibera</i>
<i>Amanita phalloides</i>	<i>Hydrellium suaveolens</i>	<i>Mycena galopus</i>
<i>Amanita vittadini</i>	<i>Hydnum repandum</i>	<i>Panaeolina foeniculii</i>
<i>Aspropaxillus lepistoides</i>	<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>	<i>Panaeolus papilionaceus</i>
<i>Bovista dermoxanta</i>	<i>Hygrophorus agathosmus</i>	<i>Parasola plicatilis</i>
<i>Bovista plumbea</i>	<i>Hygrophorus erubescens</i>	<i>Paxillus involutus</i>
<i>Calocybe gambosa</i>	<i>Infundibulicybe geotropa</i>	<i>Pheolepiota aurea</i>
<i>Cantharellus cibarius</i>	<i>Infundibulicybe gibba</i>	<i>Pluteus cervinus</i>
<i>Cantharellus cinereus</i>	<i>Inocybe lacera</i>	<i>Rhodocollybia butyracea</i>
<i>Clavaria fragilis</i>	<i>Lactarius insulsus</i>	<i>Russula aeruginea</i>
<i>Clavaria vermicularis</i>	<i>Lactarius semisanguifluus</i>	<i>Russula decolorans</i>
<i>Clavulina cinerea</i>	<i>Lactarius torminosus</i>	<i>Russula densifolia</i>
<i>Clitocybe dealbata</i>	<i>Lactifluus piperatus</i>	<i>Scleroderma verrucosum</i>
<i>Clitocybe nebularis</i>	<i>Lepiota erminea</i>	<i>Suillus bovinus</i>
<i>Clitocybe rivulosa</i>	<i>Lepista irina</i>	<i>Suillus cavipes</i>
<i>Clitopilus prunulus</i>	<i>Lepista luscina</i>	<i>Suillus granulatus</i>
<i>Collybiopsis confluens</i>	<i>Lepista nuda</i>	<i>Suillus variegatus</i>
<i>Collybiopsis peronata</i>	<i>Lepista sordida</i>	<i>Tricholoma columbetta</i>
<i>Coprinus comatus</i>	<i>Lepista personata</i>	<i>Tricholoma equestre</i>
<i>Cortinarius armillatus</i>	<i>Lepista panaeolus</i>	<i>Tricholoma matsutake</i>
<i>Cortinarius traganus</i>	<i>Leucoagaricus leucolites</i>	<i>Tricholoma terreum</i>
<i>Cuphophyllus virgineus</i>	<i>Leucopaxillus giganteus</i>	<i>Trichosporum goniospermum</i>
<i>Cyclocybe cilindracea</i>	<i>Lycoperdon dermoxanthum</i>	

Table 1: 92 mushroom species occurring in Hungary, based on the monograph by Zotti et al. (2025)

Osztályozásuk

A boszorkánykörök első, szisztematikus osztályozására irányuló munka Shantz és Piemeisel (1917) alapvető munkája. Ebben az *Agaricus praerimosus* Peck és a *Calvatia cyathiformis* (Bosc) Morgan által kialakított boszorkányköröket vizsgálták. Emellett kutatásuk 31 szerző és 47 gombafaj eredményeit is összefoglalta, melynek során megjegyzik, hogy az ilyen típusú gombafajok a talaj fizikai-kémiai tulajdonságaira és a növényzetre is hatást gyakorolnak. Megállapították azt is, hogy a boszorkánykörképző fajok hatása fajspecifikus, és nem kapcsolódik közvetlenül a szezonális csapadékhoz. A féltermészetes gyepeken Shantz és Piemeisel (1917) vezette be az első osztályozási rendszert, amelyet ma is széles körben használnak a boszorkánykörök osztályozására:

1. típus: két különböző vegetációs zónából áll: egy keskeny külső nekrotikus övből, ahol a talaj terméketlen, vagy a növényzet vagy hiányzik, vagy ritkás, megsárgult, és egy belső övből, ahol a növényzet erőteljesebb, sötétzöld színű.
2. típus: egyetlen, sötétebb zöld növényzetű övből állnak, külső nekrotikus öv nélkül.
3. típus: nem okoz észrevehető változásokat a növényzetben, és csak szezonálisan, a termőtestek megjelenésével válnak láthatóvá.

Salvatori et al. (2023) a 1. típusú köröket további három altípusra osztotta:

- 1.1 típus: a külső növényzeti öv alacsonyabb, mint a belső öv, és a kettőt egy nekrotikus öv választja el egymástól.
- 1.2 típus: a külső stimulációs zóna magasabb, mint a belső.
- 1.3 típus: nincs stimuláció, és kizárólag a nekrotikus öv alapján azonosítható.

Ez utóbbi osztályozás azonban kihagyja a háromrészes boszorkányköröket, mint például az *A. arvensis* (Edwards, 1984, 1988) és az *M. oreades* (Molliard, 1910; Gramss et al., 2005), amelyek külső szélén 1. típusú öv, míg a belsően pedig 2. típusú öv figyelhető meg.

A fentiek kívül azonban dokumentálva vannak olyan boszorkány"körök" is, amelyek szalag, ív vagy spirál alakúak, amelyek a gombafrontok terjeszkedése során kialakuló felszabdálódási és összeolvadási mintákból származnak (Shantz és Piemeisel, 1917; Stevenson és Thompson, 1976).

A boszorkánykörök funkcionális ökológiájának egy fontos állomása volt, amikor Gregory (1982) a boszorkányköröket két alapvető csoportra bontotta: „szabad” és „kötött” kategóriákra. A „szabad” boszorkánykörök elsősorban a gyepeken élő szaprotróf gombákból állnak, míg a „kötött” boszorkánykörök az erdőkben élő ektomikorrhiza gombákhoz kapcsolódnak. Ezek azért „kötöttek”, mert szimbiotikus kapcsolatban vannak a gazdanövényekkel. Toohey (1983) kiterjesztette az osztályozást az erdőkben, ahol a ritka növényzet megakadályozza a hatások vizuális értékelését. Ezeket 0-típusú boszorkánykörnek nevezte el, amelyek

szabályos kiterjedési mintázatot mutatnak az erdei talajokban.

A boszorkányköröket a pázsitokra gyakorolt hatások alapján Fidanza et al. (2016) osztályozták egy index segítségével, amely a gombafrontok súlyosságát fitopatológiai problémaként értékeli. A 3. típusú boszorkánykörök indexértéke 1, ami azt jelenti, hogy nincsenek tünetek a gyepeken. A 2. típusú boszorkánykörök indexértéke 2 és 4 között van, attól függően, hogy milyen intenzíven serkentik a növényzetet. A 2. és 1. típus közötti átmeneti formák indexértéke 5 vagy 6, attól függően, hogy a külső széleken a stimuláció és az enyhe vagy közepes nekrozis dominál-e. Végül, az 1. típusú boszorkánykörök 7-9-es indexszel vannak ellátva, ami a mérsékelt nekrozisból súlyos nekrozisba, majd a növényzet teljes elhalásába való átmenetnek felel meg.

Couch (1995), majd később Fidanza (2007) alternatív osztályozási rendszere a talajban történő micéliumterjedés mélységét veszi alapul. A micéliumszőnyegeket a fűavar (leptofil) vagy a talaj mélyebb rétegeivel (edafikus) való kapcsolatuk alapján különböztette meg. Bár ezt az osztályozást a gyepeken előforduló boszorkánykörök számára fejlesztették ki, széles körben alkalmazható természetes és mesterséges ökoszisztémákban egyaránt.

Ökológiai szerepük

Ezek a gombafajok széles körű kapcsolatban állnak az általuk betelepült talaj mikrobiótájával és a rajta élő növényközösséggel is, de a talaj kémiai paramétereire gyakorolt hatásuk is jól ismert (Gramss et al., 2005; Fidanza, 2007). A talajban a gombaszimbionták közötti egyensúly, a patogének és szaprotrófok (Klironomos, 2002; Teste et al., 2017; Semchenko et al., 2018), valamint annak a mértéke, hogy mennyire befolyásolja a növényi anyagok lebomlása a mikrobiális közösséget, döntő fontosságú a növényi közösségek mintázatának megértéséhez (Bartelt-Ryser et al., 2005; Bonanomi et al., 2019). A talajlakó gombák és baktériumok közösségeire gyakorolt határról és annak időtartamáról viszont még kevés információ áll rendelkezésre (Zotti et al., 2020). Jelenleg azonban a molekuláris technikák jelentősen növelik a talajok mikrobiális összetételének leírására irányuló vizsgálatok megbízhatóságát (Leff et al., 2018).

Az *A. arvensis* micéliumfrontjainak előretörése egyértelműen destabilizálja a gombaközösség összetételét is. Zotti et al. (2020) vizsgálatában csak egy *Trichoderma* faj relatív gyakorisága növekedett az *Agaricus arvensis* frontján. Az övzónában egy *Mortierella* faj és a *Myxotrichaceae* családba tartozó gombafajok gyakoribbá válását tapasztalták. Mindkét taxon kitinolitikus faj (Edgington et al., 2014; Johnson et al., 2013), ami azt sugallja, hogy az *A. arvensis* maradvány micéliuma támogatja a kitin lebontására specializálódott gombataxonokat. A *Hygroclype* volt a legelterjedtebb nemzetség a front áthaladása előtt, ami a *Clavaria* és az *Entoloma* nemzetséggel együtt

tápanyagban szegény és zavartalan termőhelyet indikál (Griffith et al., 2002). A front tovahaladásával azonban a mikrobióta gyorsan helyreáll a front áthaladása után (Zotti et al., 2020).

A növényzetre gyakorolt hatásai szintén fajfüggőek, ezért sokfélék lehetnek. A legnagyobb hatást látszólag az 1-es típusú körök gyakorolják a növényzetre. Más zavaró tényezőkhöz (mint pl. szárazság, legeltetés, tűz) hasonlóan az ilyen típusú boszorkánykörök is ideális feltételeket biztosítanak a gombafront áthaladása által kiváltott zavarástól függő taxonok elszaporodásához (Dodds et al., 2004; Kozłowski, 2012; Atwater et al., 2018).

Az 1-es típusú körök gombafrontján a hifák terjeszkedése miatt a talaj hidrofobicitásának növekedése (Gramss et al., 2005), a tápanyagok immobilizálása (Fisher, 1977), a patogén viselkedés (Terashima et al., 2004; Fidanza, 2007), a fitotoxikus vegyületek, például cianidok felszabadulása (Blenis et al., 2004), valamint a talajmikrobióta egyensúly hiánya (Bonanomi et al., 2012), mind-mind az ezen típusú boszorkányköröknek a gyepek növényközösségeire gyakorolt negatív hatásai. Ezért az *Agaricus* fajok többségénél a gombafront kevés fajú és kis diverzitású, a körön kívül és a kör közepén nagyobb a fajgazdagság és a diverzitás, a körön belül, annak a külső részén is kisebb a fajgazdagság és a diverzitás, de nem annyira, mint a frontban. A gombák és baktériumok esetében is ugyanez a tendencia (Zotti et al., 2020). Az 1-es típusú körben a gombafront elvonultával az övzónában a növénynövekedés fokozódik, hasonlóan a 2-es típusú boszorkánykörökhöz. Ez a hatás a növényi növekedést elősegítő másodlagos metabolitok termelésével magyarázható (Choi et al., 2010a, b, 2016), vagy egy jótékony mikrobiális közösség kialakulásával, amely például AM-gombákat tartalmaz. Zotti et al. (2020) vizsgálatában az arbuszkuláris mikorrhiza gombafajok (AM) mennyisége a körök belső zónájában növekedett. Ezeknek a taxonoknak felélénkülése pedig egybeesett az egyévesek megtelepedésével az övgyűrűvel. Az övgyűrű növényzetének fokozott növekedésének hátterében az AM gombáknak az övgyűrűben történő felszaporodása állhat, amik elősegítik a magasabb rendű növények, valamint a talajmikrobióta és a mikrobióta fajgazdagságát. Vagyis növelik a magasabb növényi gamma diverzitást a gyepi ökoszisztémákban (Bonanomi et al., 2012). A 3-as típusú köröknél ilyen hatást eddig nem figyeltek meg.

MEGVITATÁS

Ezek a gombafajok 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-TonThat et al., 2013; Edwards, 1984). Jellegzetes térbeli mintázatuk nemcsak a tájat formálja át, hanem jelentős hatással vannak a niche újrafelosztásokra és a tápanyagciklusokra is

(Bonanomi et al., 2013; van der Wal et al., 2013; Xu et al., 2011). Ezáltal elméletileg csökkenthetik a szukcesszió középső állapotában invázióra hajlamos kis nitrogénigényű fajok, mint például a *Bothriochloa ischaemum*, a *Calamagrostis epigeios* (Bartha et al., 2014; Házi et al., 2011; Szentés et al., 2012) betelepülésének lehetőségét. Tápanyag mobilizálásuk és a talajtulajdonságok módosításával a teljes gyepi életközösségre hatással vannak a talaj baktériumflórájától (Li et al., 2022a; Mari et al., 2020; Zotti et al., 2020, 2021) a legelő állatig (Albrecht et al., 1951; Rogers és McAllister, 1969). Külön kiemelendő a biomasszaprodukcióna gyakorolt hatásuk (Liu et al., 2021, 2024a; Yang et al., 2019), amiben a megváltozott baktérium flóra is jelentős szerepet játszik (Li et al., 2022b; Liu et al., 2024a; Wang et al., 2022), különösen a biológiai szempontból fontos hozzáférhetővé alakított nitrogén és más tápanyagok és mikroelemek megnövelt mennyisége révén (Elliott, 2023; Xu et al., 2011; Yang et al., 2019). A gyepek fitomasszája nemcsak a gazdálkodás szempontjából, hanem ökológiai és természetvédelmi okokból is fontos szerepet játszik a diverzitás megőrzésében és a gyepek természetes állapotának fenntartásában (Deák et al., 2011; Mittelbach et al., 2001; Török et al., 2014, 2018). Ezen a pannon gyepekben végzett vizsgálati eredményeink is igazolnak (Házi et al., 2011, 2022, 2024). A fairy chemicals fokozhatják a növény ellenálló képességét a környezeti stresszhatásokkal, például a hideggel, a hóval és a sóval szemben, és növelhetik a terméshozamot; emellett biológiai aktivitásuk is lehet, mint például öregedésgátlás és daganattellenes hatás (Choi et al., 2010a, b, 2014; Liu et al., 2024b). Termésnövelő hatásukat a gazdasági szempontból kiemelkedően fontos búza (Tobina et al., 2014) és rizs (Asai et al., 2015) esetében már igazolták.

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., 2016a; Zotti et al., 2020, 2025). A gombák országát csak nemrég kezdték bevonni a természetvédelmi programokba (Dahlberg et al., 2010), miután a gypes élőhelyeken előforduló gombafajok csökkenése indokolta a védelmi intézkedések elindítását (Griffith et al., 2002, 2014; Moore, et al., 2001). A talaj mikrobiális közösségeinek változásai (Bever, 1994) is egyre nagyobb figyelmet kapnak (Bonanomi et al., 2005; Klironomos, 2002; Kulmatiski et al., 2008; Mazzoleni et al., 2007; Zotti et al., 2020). A talaj gombaközösségeinek összetétele erősen függ a környezeti tényezők meghatározott kombinációitól (Griffith et al., 2013; Miller et al., 2011), mivel ezek határozzák meg a szénforrások minőségét és a gombák enzimatis aktivitását (Shi et al., 2014), valamint a domináns gombafunkcionális csoportokat és azok arányát (Tedersoo et al., 2014). A talaj gombaközösségeinek ismerete azért is fontos,

mert a bazídiumos gombák termőtestjei efemerek, és előfordulásuk erősen függ az időjárási tényezők kombinációjától és időbeli dinamikájától (Allegrezza et al., 2022; Inderjit et al., 2021; Miller és Gongloff, 2023; Odamtten et al., 2022).

Sokrétű ökológiai szerepük megértéséhez első lépésként a feltérképezésük és adatbázisok létrehozása szükséges, amihez elengedhetetlen a távérzékelési technikák bevonása (Karst et al., 2016b), ami támogatja a részletesebb kutatásokat lehetővé tevő terepi vizsgálatokat. Az adatok kiértékelése holisztikus szemléletet igényel, aminek központi

eleme a komplex adathalmazok matematikai modellekkel történő vizsgálata. Az így nyert eredmények nemcsak az ökológia számára hasznosíthatóak, hanem akár a változatos gyepi közösségek klímaváltozással szembeni ellenállósága és a gyepr Restaurációs munkálatok tekintetében is, valamint a mezőgazdasági termelésben is nagy segítséget nyújthat. Ennek ellenére a boszorkánykörök és azoknak a gyepi életközösségekre gyakorolt hatásainak vizsgálatával meglepően kevés tanulmány foglalkozik.

IRODALOM

- Albrecht, W. A.-Sheldon, V. L.-Blue, W. G. (1951): "Fairy Ring" Mushrooms Make Protein-Rich Grass. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 78: 83-88. DOI: 10.2307/2482160
- Allegrezza, M.-Bonanomi, G.-Zotti, M.-Carteni, F.-Moreno, M.-Olivieri, L.-Garbarino, M.-Tesei, G.-Giannino, F.-Mazzoleni, S. (2022): Biogeography and shape of fungal fairy rings in the Apennine mountains, Italy. *Journal of Biogeography* 49: 353-363. DOI: 10.1111/jbi.14306
- Arnolds, E. (1992): The role of macrofungi in environmental conservation. *Plant Biosystem.* 126: 779-795. <https://doi.org/10.1080/11263509209428173>
- 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: JARQ* 49: 45-49. DOI: 10.6090/jarq.49.45
- Atwater, D. Z.-Ervine, C.-Barney, J. N. (2018): Climatic niche shifts are common in introduced plants. *Nature Ecology & Evolution* 2: 34-43.
- Bajnok, M.-Penksza, K.-Fűrész, A.-Penksza, P.-Csontos, P.-Szentés, S.- ... Wagenhoffer, Z. (2024): Military Activity Impact on Vegetation in Pannonian Dry Sandy Grasslands. *LAND (BASEL)*, 13(2): <http://doi.org/10.3390/land13020252>
- Bardgett, R. D.-Bullock, J. M.-Lavorel, S.-Manning, P.-Schaffner, U.-Ostle, N.-Chomel, M.-Durigan, G. L.-Fry, E.-Johnson, D.-Lavalley, J. M.-Le Provost, G.-Luo, S.-Png, K.-Sankaran, M.-Hou, X.-Zhou, H.-Ma, L.-Ren, W.-Li, X.-Ding, Y.-Li, Y.-Shi, H. (2021): Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment* 2: 720-735. DOI: 10.1038/s43017-021-00207-2
- Bartelt-Ryser, J.-Joshi, J.-Schmid, B.-Brandl, H.-Balser, T. (2005): Soil feedbacks of plant diversity on soil microbial communities and subsequent plant growth. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 7: 27-49.
- 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. DOI: 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. DOI: 10.1002/ecs2.2582
- Bever, J. D. (1994): Feedback between Plants and Their Soil Communities in an Old Field Community. *Ecology* 75: 1965-1977. DOI: 10.2307/1941601
- Blenis, P.-Chow, P.-Duncan, I.-Knowles, N. (2004): Cyanide levels near fairy rings affect the growth of grasses and fungi. *Canadian Journal of Botany* 82: 1324-1329.
- Bonanomi, G.-Giannino, F.-Mazzoleni, S.-Setälä, H. (2005): Negative Plant-Soil Feedback and Species Coexistence. *Oikos* 111: 311-321.
- 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. DOI: 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. DOI: 10.1007/s10531-013-0502-8
- Bonanomi, G.-De Filippis, F.-Cesarano, G.-La Stora, A.-Zotti, M.-Mazzoleni, S.-Incerti, G. (2019): Linking bacterial and eukaryotic microbiota to litter chemistry: combining next generation sequencing with ¹³C CPMAS NMR spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry* 129: 110-121.
- Brandrud, T. E. (2020): *Tricholoma matsutake* (amended version of 2020 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species (2020): e.T76267712A177054645. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T76267712A177054645.en>. Accessed on 20 November 2025.
- Brandrud, T. E.-Bendixsen, E. (2014): Fungi of sandy pine forests in Norway, and a comparison of this threatened element elsewhere in Europe(-Asia). *Agarica* 35: 67-87.
- Burnett, J.-Evans, E. (1966): Genetical Homogeneity and the stability of the mating-type factors of 'Fairy Rings' of *Marasmius oreades*. *Nature* 210: 1368. <https://doi.org/10.1038/2101368b0>
- Caesar-TonThat, 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. DOI: 10.1007/s00248-013-0194-3

- Carteni, F.-Marasco, A.-Bonanomi, G.-Mazzoleni, S.-Rietkerk, M.-Giannino, F. (2012): Negative plant soil feedback explaining ring formation in clonal plants. *Journal of Theoretical Biology* 313: 153-161.
- Carteni, F.-Bonanomi, G.-Giannino, F.-Incerti, G.-Vincenot, C. E.-Chiusano, M. L.-Mazzoleni, S. (2016): Self-DNA inhibitory effects: Underlying mechanisms and ecological implications. *Plant Signaling & Behavior*, 11(4). <https://doi.org/10.1080/15592324.2016.1158381>
- Cho, J. H.-Kikuchi, A.-Pumkao, P.-Hirai, H.-Tokuyama, S.-Kawagishi, H. (2016): Bioconversion of AHX to AOH by resting cells of *Burkholderia contaminans* CH-1. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 80: 2045-2050.
- 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. (2010a): Disclosure of the "Fairy" of Fairy-Ring-Forming Fungus *Lepista sordida*. *ChemBioChem* 11: 1373-1377. DOI: 10.1002/cbic.201000112
- Choi, J. H.-Abe, N.-Tanaka, H.-Fushimi, K.-Nishina, Y.-Morita, A.-Kiriwa, Y.-Motohashi, R.-Hashizume, D.-Koshino, H. (2010b): Plant-growth regulator, imidazole-4-carboxamide, produced by the fairy ring forming fungus *Lepista sordida*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 9956-9959.
- Choi, J. H.-Ohnishi, T.-Yamakawa, Y.-Takeda, S.-Sekiguchi, S.-Maruyama, W.-Yamashita, K.-Suzuki, T.-Morita, A.-Ikka, T.-Motohashi, R.-Kiriwa, 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. DOI: 10.1002/anie.201308109
- Cosby, H. (1960): Rings on the range. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives* 13: 283-288. <https://doi.org/10.2307/3894781>
- Couch, H. (1995): Diseases of Turfgrasses caused by Fungi. *Diseases of Turfgrasses 3rd ed* Malabar, FL: Krieger Publishing Company 21, 199.
- Christensen, M.-Heilmann-Clausen, J. (2013): The genus *Tricholoma*. *Danish Mycological Society*
- Dahlberg, A.-Genney, D. R.-Heilmann-Clausen, J. (2010): Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology* 3: 50-64. DOI: 10.1016/j.funeco.2009.10.004
- 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 - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 145: 730-737. DOI: 10.1080/11263504.2011.601336
- Dengler, J.-Janišová, M.-Török, P.-Wellstein, C. (2014): Biodiversity of Palaearctic grasslands: a synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 182: 1-14. DOI: 10.1016/j.agee.2013.12.015
- Dickinson, C. (1979): Fairy rings in Norfolk. *Bulletin of the British Mycological Society* 13: 91-94. [https://doi.org/10.1016/S0007-1528\(79\)80005-X](https://doi.org/10.1016/S0007-1528(79)80005-X)
- Dodds, W. K.-Gido, K.-Whiles, M. R.-Fritz, K. M.-Matthews, W. J. (2004): Life on the edge: the ecology of Great Plains prairie streams. *BioScience* 54: 205-216.
- Dowson, C.-Rayner, A.-Boddy, L. (1989): Spatial dynamics and interactions of the woodland fairy ring fungus, *Clitocybe nebularis*. *New Phytologist* 111: 699-705. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb02365.x>
- Durall, D. M.-Jones, M. D.-Lewis, K. J. (2005): Effects of forest management on fungal communities, 3rd ed. *The fungal community*. CRC Press
- Edgington, S.-Thompson, E.-Moore, D.-Hughes, K. A.-Bridge, P. (2014): Investigating the insecticidal potential of *Geomyces* (Myxotrichaceae: Helotiales) and *Mortierella* (Mortierellaceae: Mortierellales) isolated from Antarctica. *SpringerPlus*, 3(1), 289. DOI:10.1186/2193-1801-3-289
- 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. DOI: 10.2307/2260062
- Edwards, P. J. (1988): Effects of the fairy ring fungus *Agaricus arvensis* on nutrient availability in grassland. *New Phytologist* 110: 377-381. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1988.tb00275.x>
- Elliott, T.-Thompson, A.-Klein, A. M.-Albert, C.-Eisenhauer, N.-Jansen, F.-Schneider, A.-Sommer, M.-Straka, T.-Settele, J.-Sporbert, M.-Tanneberger, F.-Mupepele, A. C. (2023): Abandoning grassland management negatively influences plant but not bird or insect biodiversity in Europe. *Conservation Science and Practice* 5: e13008. DOI: 10.1111/csp2.13008
- Feurdean, A.-Ruprecht, E.-Molnár, Z.-Hutchinson, S. M.-Hickler, T. (2018): Biodiversity-rich European grasslands: Ancient, forgotten ecosystems. *Biological Conservation* 228: 224-232. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.09.022
- Fidanza, M. (2007): New insight on fairy ring. *Golf Course Management* 75: 107-110.
- Fidanza, M.-Settle, D.-Wetzel, H. (2016): An index for evaluating fairy ring symptoms in turfgrass. *HortScience* 51: 1194-1196. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10915-16>
- Fisher, R. (1977): Nitrogen and phosphorus mobilization by the fairy ring fungus, *Marasmius oreades* (Bolt.) Fr. *Soil Biology and Biochemistry* 9: 239-241.
- Fraser, L. H.-Pither, J.-Jentsch, A.-Sternberg, M.-Zobel, M.-Askarizadeh, D.-...Zupo, T. (2015): Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness. *Science* 349: 302-305. DOI: 10.1126/science.aab3916
- Fűrész, A.-Penszka, K.-Sipos, L.-Turcsányi-Járdi, I.-Szentés, S.-Fintha, G. ... Wagenhoffer, Z. (2023a): Examination of the Effects of Domestic Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) Grazing on Wetland and Dry Grassland Habitats. *PLANTS-BASEL*, 12(11). <http://doi.org/10.3390/plants12112184>
- Fűrész A.-Szentés S.-Wagenhoffer Z.-Viszló L.-Szalai F.-Fintha G.-Penszka P. et al. (2023b): A Magyar Házibivaly (*Bubalus Bubalis*) Legeltetés, mint élőhelykezelési és inváziós fajok elleni alkalmazási lehetőség. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 21(1): 47-53.
- Fűrész A.-Fintha G.-Szentés S.-Wagenhoffer Z.-Szalai F.-Penszka K. (2023c): "Magyar házibivallyal való legeltetés hatásainak felmérése száraz gyepeken, mint potenciális élőhelykezelési módszer." *ANIMAL WELFARE ETOLÓGIA ÉS TARTÁSTECHNOLÓGIA / ANIMAL WELFARE ETHOLOGY AND HOUSING SYSTEMS* 19(1): 26-32.
- Gadgil, R. L.-Gadgil, P. (1971): Mycorrhiza and litter decomposition. *Nature* 233: 133-133. <https://doi.org/10.1038/233133a0>

- Getzin, S.-Yizhaq, H.-Tschinkel, W. R. (2021): Definition of “fairy circles” and how they differ from other common vegetation gaps and plant rings. *Journal of Vegetation Science*, 32(6), <https://doi.org/10.1111/jvs.13092>
- Gramss, G.-Voigt, K. D.-Bergmann, H. (2005): Factors influencing water solubility and plant availability of mineral compounds in the tripartite fairy rings of *Marasmius oreades* (BOLT.: FR.) FR. *Journal of Basic Microbiology: An International Journal on Biochemistry, Physiology, Genetics, Morphology, and Ecology of Microorganisms* 45: 41-54. <https://doi.org/10.1002/jobm.200410459>
- Gregory, P. (1982): Fairy rings; free and tethered. *Bulletin of the British Mycological Society* 16: 161-163. [https://doi.org/10.1016/S0007-1528\(82\)80013-8](https://doi.org/10.1016/S0007-1528(82)80013-8)
- Griffith, G. W.-Easton, G. L.-Jones, A. W. (2002): Ecology and diversity of waxcap (*Hygrocybe* spp.) Fungi. *Botanical Journal of Scotland* 54: 7-22. DOI: 10.1080/03746600208685025
- Griffith, G. W.-Garcis-Perez Gamarr, J.-Mitchel, D.-Holden, E.-Graham, A.-Evans, D.-Evans, S.-Stevens, D. P.-Halbawachs, H. (2013): The international conservation importance of Welsh ‘waxcap’ grasslands. *Mycosphere* 4: 969-984. DOI: <https://doi.org/10.5943/mycosphere/4/5/10>
- Griffith, G. W.-Graham, A.-Woods, R. G.-Easton, G. L.-Halbawachs, H. (2014): Effect of biocides on the fruiting of waxcap fungi. *Fungal Ecology* 7: 67-69. DOI: 10.1016/j.funeco.2013.09.004
- Hardwick, N.-Heard, A. (1978): The effect of *Marasmius oreades* in pasture. *Plant Pathology* 27: 53-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1978.tb01078.x>
- Házi, J.-Bartha, S.-Szentes, S.-Wichmann, B.-Pénksza K. (2011): Seminal grassland management by mowing of *Calamagrostis epigejos* in Hungary. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 145: 699-707. DOI: 10.1080/11263504.2011.601339
- Házi, J.-Pénksza, K.-Barczy, A.-Szentes, S.-Pápay, G. (2022): Effects of Long-Term Mowing on Biomass Composition in Pannonian Dry Grasslands. *Agronomy* 12: 1107. DOI: 10.3390/agronomy12051107
- Házi, J.-Purger, D.-Pénksza, 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. DOI: 10.3390/grasses3030009
- Inderjit-Callaway, R. M.-Meron, E. (2021): Belowground feedbacks as drivers of spatial self-organization and community assembly. *Physics of Life Reviews* 38: 1-24. DOI: 10.1016/j.plrev.2021.07.002
- Ingold, C. (1974): Growth and death of a fairy ring. *Bulletin of the British Mycological Society* 8: 74-75. [https://doi.org/10.1016/S0007-1528\(74\)80033-7](https://doi.org/10.1016/S0007-1528(74)80033-7)
- Janišová, M.-Bartha, S.-Kiehl, K.-Dengler, J. (2011): Advances in the conservation of dry grasslands: Introduction to contributions from the seventh European Dry Grassland Meeting. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 145: 507-513. DOI: 10.1080/11263504.2011.603895
- Janišová, M.-Sorescu-Marinković, A.-Ačić, S.-Hubáčková, B.-Magnes, M.-Opravil, Š.-Širka, P. (2024): Exploring a grassland biodiversity hotspot in the Serbian Carpathians: Interdisciplinary perspectives and conservation implications. *Biological Conservation* 299: 110822. DOI: 10.1016/j.biocon.2024.110822
- Johnson, N. C.-Angelard, C.-Ian, R.-Sanders, I. R.-Kiers, E. T. (2013): Predicting community and ecosystem outcomes of mycorrhizal responses to global change. *Ecology Letters*, 16: 140-153.
- Jones, C. G.-Lawton, J. H.-Shachak, M. (1997): Positive and Negative Effects of Organisms as Physical Ecosystem Engineers. *Ecology* 78: 1946-1957. DOI: 10.1890/0012-9658(1997)078[1946:PANE00]2.0.CO;2
- Karst, N.-Dralle, D.-Thompson, S. (2016a): Spiral and Rotor Patterns Produced by Fairy Ring Fungi. *PLOS ONE* 11: e0149254. DOI: 10.1371/journal.pone.0149254
- Karst, N.-Dralle, D.-Thompson, S. (2016b): Spiral and Rotor Patterns Produced by Fairy Ring Fungi. *PLOS ONE* 11: e0149254. DOI: 10.1371/journal.pone.0149254
- Kataoka, R.-Siddiqui, Z. A.-Kikuchi, J.-Ando, M.-Sriwati, R.-Nozaki, A.-Futai, K. (2012): Detecting nonculturable bacteria in the active mycorrhizal zone of the pine mushroom *Tricholoma matsutake*. *The Journal of Microbiology* 50: 199-206. <https://doi.org/10.1007/s12275-012-1371-7>
- Kiss T.-Pénksza K.-Tasi J.-Szentes Sz. (2008): Juh- és marhalegelő ökológiai 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, Sz.-Hufnagel, L.-Nagy, A.-Balogh, Á.-Pintér, O.-Saláta, D.-Házi, J.-Tóth, A.-Wichmann, B.-Pénksza, 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): 197230.
- Klironomos, J. N. (2002): Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities. *Nature* 417: 67-70. DOI: 10.1038/417067a
- Kozłowski, T. T. (2012): *Fire and ecosystems*. Cambridge, UK: Academic Press
- Kulmatiski, A.-Beard, K. H.-Stevens, J. R.-Cobbald, S. M. (2008): Plant–soil feedbacks: a meta-analytical review. *Ecology Letters* 11: 980-992. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01209.x
- Leff, J. W.-Bardgett, R. D.-Wilkinson, A.-Jackson, B. G.-Pritchard, W. J.-Long, J. R.-Oakley, S.-Mason, K. E.-Ostle, N. J.-Johnson, D. (2018): Predicting the structure of soil communities from plant community taxonomy, phylogeny, and traits. *ISME journal* 12: 1749-1805.
- Li, J.-Guo, L.-Wilson, G. W. T.-Cobb, A. B.-Wang, K.-Liu, L.-Zhao, H.-Huang, D. (2022a): Assessing soil microbes that drive fairy ring patterns in temperate semiarid grasslands. *BMC Ecology and Evolution* 22: 130. DOI: 10.1186/s12862-022-02082-x
- Li, J.-Guo, L.-Wilson, G. W. T.-Cobb, A. B.-Wang, K.-Liu, L.-Zhao, H.-Huang, D. (2022b): Assessing soil microbes that drive fairy ring patterns in temperate semiarid grasslands. *BMC Ecology and Evolution* 22: 130. DOI: 10.1186/s12862-022-02082-x
- Lian, C.-Narimatsu, M.-Nara, K.-Hogetsu, T. (2006): *Tricholoma matsutake* in a natural *Pinus densiflora* forest: correspondence between above- and below-ground genets, association with multiple host trees and alteration of existing ectomycorrhizal communities. *New Phytologist* 171: 825-836. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01801.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. DOI: 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. DOI: 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. DOI: 10.1002/moda.24
- Maestre, F. T.-Le Bagousse-Pinguet, Y.-Delgado-Baquerizo, M.-Eldridge, D. J.-Saiz, H.-Berdugo, M.- ... Gross, N. (2022): Grazing and ecosystem service delivery in global drylands. *Science* 378: 915-920. DOI: 10.1126/science.abq4062
- Magyar, V.-Penszsa, K.-Szentés, Sz. (2017): Comparative investigations of biomass composition in differently managed grasslands of the Balaton Uplands National Park, Hungary. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 15(1): 49-56.
- Mari, T.-Castaño, C.-Rodríguez, A.-Ibáñez, M.-Lobo, A.-Sebastià, M. T. (2020): Fairy rings harbor distinct soil fungal communities and high fungal diversity in a montane grassland. *Fungal Ecology* 47: 100962. DOI: 10.1016/j.funeco.2020.100962
- Mazzoleni, S.-Bonanomi, G.-Giannino, F.-Rietkerk, M.-Dekker, S. C.-Zucconi, F. (2007): Is plant biodiversity driven by decomposition processes? An emerging new theory on plant diversity. *Community Ecology* 8: 103-109. DOI: 10.1556/ComEc.8.2007.1.12
- Mazzoleni, S.-Bonanomi, G.-Incerti, G.-Chiusano, M. L.-Termolino, P.-Mingo, A.-Senatore, M.-Giannino, F.-Carteni, F.-Rietkerk, M. (2015a): Inhibitory and toxic effects of extracellular self-DNA in litter: a mechanism for negative plant-soil feedbacks? *New Phytologist* 205: 1195-1210.
- Mazzoleni, S.-Carteni, F.-Bonanomi, G.-Senatore, M.-Termolino, P.-Giannino, F.-Incerti, G.-Rietkerk, M.-Lanzotti, V.-Chiusano, M. L. (2015b): Inhibitory effects of extracellular self-DNA: a general biological process? *New Phytologist* 206: 127-132.
- Miller, S. L.-Gongloff, A. (2023): Size, age, and insights into establishment, dynamics and persistence of fairy rings in the Laramie Basin, Wyoming. *Fungal Ecology* 65: 101272. DOI: 10.1016/j.funeco.2023.101272
- Miller, G. L.-Grand, L. F.-Tredway, L. P. (2011): Identification and Distribution of Fungi Associated with Fairy Rings on Golf Putting Greens. *Plant Disease* 95: 1131-1138. DOI: 10.1094/PDIS-11-10-0800
- Mittelbach, G. G.-Steiner, C. F.-Scheiner, S. M.-Gross, K. L.-Reynolds, H. L.-Waide, R. B.-Willig, M. R.-Dodson, S. I.-Gough, L. (2001): What Is the Observed Relationship Between Species Richness and Productivity? *Ecology* 82: 2381-2396. DOI: 10.1890/0012-9658(2001)082[2381:WITORB]2.0.CO;2
- Molliard, M. M. (1910): De l'action du Marasmius oreades Fr. sur la vegetation. *Bulletin De La Societe Botanique De France* 57: 62-69. <https://doi.org/10.1080/00378941.1910.10832167>
- Moore, D.-Nauta, M. M.-Evans, S. E.-Rotheroe, M. (eds). (2001): *Fungal Conservation | Plant science*. Cambridge University Press: Cambridge
- Narimatsu, M.-Koiwa, T.-Masaki, T.-Sakamoto, Y.-Ohmori, H.-Tawaray, K. (2015): Relationship between climate, expansion rate, and fruiting in fairy rings ('shiro') of an ectomycorrhizal fungus *Tricholoma matsutake* in a *Pinus densiflora* forest. *Fungal Ecology* 15: 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.02.001>
- Odamtten, G. T.-Wiafe-Kwagyan, M.-Akwetey, G.-Barko, K. (2022): Developmental morphology, anatomical features and fairy ring formation by two gasteroid basidiomycetous mushrooms, growing on grass lawns in Ghana. *Ghana Journal of Science* 63: 21-30. DOI: 10.4314/gjs.v63i2.3
- Ohara, H.-Hamada, M. (1967): Disappearance of bacteria from the zone of active mycorrhizas in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Singer. *Nature* 213: 528-529. <https://doi.org/10.1038/213528a0>
- Pajor, F.-Kerti, A.-Penszsa, K.-Kuchtik, J.-Harkányiné, S. Z.-Béres, A., ... Póti, P. (2014): Improving nutritional quality of the goat milk by grazing. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(1): 301-307. http://doi.org/10.15666/aeer/1201_301307
- 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. DOI: 10.1016/j.agee.2024.109272
- Pazúr, R.-Nováček, J.-Bürgi, M.-Kopecká, M.-Lieskovský, J.-Pazúrová, Z.-Feranec, J. (2024): Changes in grassland cover in Europe from 1990 to 2018: trajectories and spatial patterns. *Regional Environmental Change* 24: 51. DOI: 10.1007/s10113-024-02197-5
- Penszsa K.-Tasi J.-Szentés Sz.-Centeri C. (2008): Természetvédelmi célú botanikai, takarmányozástani és talajtani vizsgálatok a Tapolcai és Káli-medence szürkemarha és bivaly legelőin. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 6, 47-53. <https://doi.org/10.55725/gygk/2008/6/1-2/10334>
- Penszsa K.-Wichmann B.-Szentés Sz. (2009): Szarvasmarha-, juh- és lólegelők összehasonlító vizsgálata a Tapolcai és a Káli-medencében – 2008. év. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 7: 59-63. <https://doi.org/10.55725/gygk/2009/7/1-2/10274>
- Penszsa, K.-Szentés, S.-Loksa, G.-Dannhauser, C.-Házi, J. (2010): Nature conservation aspects of grazing in the Tapolcai and Káli-basin. [A legeltetés hatása a gyepekre és természetvédelmi vonatkozásai a Tapolcai- és a Káli-medencében.]. *Természetvédelmi Közlemények* 16: 25-49.
- Penszsa K.-Házi J.-Tóth A.-Wichmann B.-Pajor F.-Gyuricza C.-Póti P.-Szentés Sz. (2013): Eltérő hasznosítású szürkemarha legelő szezonális táplálóanyag tartalom alakulása, fajdiverzitás változása és ennek hatása a biomassza mennyiségére és összetételére pannon nedves gyepekben. *Nővénytermelés*, 62(1): 73-94.
- Penszsa K.-Fűrész A.-Stilling F.-Szentés Sz.-Viszló L. (2023): Cönológiai vizsgálatok különböző telepített és felújított magyar szürke szarvasmarha és magyar házibivaly legelőn a Zámolyi-medencében. *Animal Welfare, Etológia és Tartástechnológia*, 19(1): 75-83. <http://doi.org/10.17205/SZIE.AWETH.2023.1.075>
- Penszsa, K.-Saláta, D.-Fűrész, A.-Penszsa, P.-Fuchs, M.-Pajor, F.-Sipos, L.-Saláta-Falusi, 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*, 14(4): 846. <http://doi.org/10.3390/agronomy14040846>
- Penszsa, K.-Pajor, F.-Kevi, A.-Wagenhoffer, Z.-Sipos, L.-Saláta-Falusi, E.- ... Szentés, S. (2025): The Effect of Goat Grazing on the Biodiversity of Pannonian Dry Grassland. *DIVERSITY (BASEL)*, 17(1): 13. <http://doi.org/10.3390/d17010013>
- Pereira, H. M.-Navarro, L. M. (eds). (2015): *Rewilding European Landscapes*. Springer International Publishing: Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-12039-3

- Péter, N.-Fűrész, A.-Saláta-Falusi, E.-Szentés, Sz.-Póti, P.-Wagenhoffer, Zs.-Penszsa, K. (2023). Comparison of vegetation of Hungarian grey cattle and Hungarian water buffalo pastures in a sample area of the Danube-Tisza interfluve. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 21(1): 59-64. <http://doi.org/10.55725/gygk/2023/21/1/12786>
- Prangel, E.-Kasari-Toussaint, L.-Neuenkamp, L.-Noreika, N.-Karise, R.-Marja, R.-Ingerpuu, N.-Kupper, T.-Keerberg, L.-Oja, E.-Meriste, M.-Tiitsaar, A.-Ivask, M.-Helm, A. (2023): Afforestation and abandonment of semi-natural grasslands lead to biodiversity loss and a decline in ecosystem services and functions. *Journal of Applied Ecology* 60: 825-836. DOI: 10.1111/1365-2664.14375
- Prangel, E.-Reitalu, T.-Neuenkamp, L.-Kasari-Toussaint, L.-Karise, R.-Tiitsaar, A.-Soon, V.-Kupper, T.-Meriste, M.-Ingerpuu, N.-Helm, A. (2024): Restoration of semi-natural grasslands boosts biodiversity and re-creates hotspots for ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 374: 109139. DOI: 10.1016/j.agee.2024.109139
- Pugh, G. (1980): Strategies in fungal ecology. *Transactions of the British Mycological Society* 75: 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(80\)80188-4](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(80)80188-4)
- Pywell, R. F.-Bullock, J. M.-Hopkins, A.-Walker, K. J.-Sparks, T. H.-Burke, M. J. W.-Peel, S. (2002): Restoration of species-rich grassland on arable land: assessing the limiting processes using a multi-site experiment. *Journal of Applied Ecology* 39: 294-309. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2002.00718.x
- Ramsbottom, J. (1926): Rate of growth of fungus rings. *Nature* 117: 158-159. <https://doi.org/10.1038/117158b0>
- Richter, F. J.-Suter, M.-Lüscher, A.-Buchmann, N.-El Benni, N.-Feola Conz, R.-Hartmann, M.-Jan, P.-Klaus, V. H. (2024): Effects of management practices on the ecosystem-service multifunctionality of temperate grasslands. *Nature Communications* 15: 3829. DOI: 10.1038/s41467-024-48049-y
- 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. DOI: 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. DOI: 10.2307/3799348
- Salvatori, N.-Moreno, M.-Zotti, M.-Iuorio, A.-Carteni, F.-Bonanomi, G.-Mazzoleni, S.-Giannino, F. (2023): Process based modelling of plants-fungus interactions explains fairy ring types and dynamics. *Scientific Reports* 13: 19918. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46006-1>
- Schils, R. L. M.-Bufer, C.-Rhymer, C. M.-Franksen, R. M.-Klaus, V. H.-Abdalla, M.-Milazzo, F.-Lellei-Kovács, E.-Berge, H.-Bertora, C.-Chodkiewicz, A.-Dămăţiră, C.-Feigenwinter, I.-Fernández-Rebollo, P.-Ghiasi, S.-Hejduk, S.-Hiron, M.-Janicka, M.-Pellaton, R.-Smith, K. E.-Thorman, R.-Vanwalleghe, T.-Williams, J.-Zavattaro, L.-Kampen, J.-Derckx, R.-Smith, P.-Whittingham, M. J.-Buchmann, N.-Price, J. P. N. (2022): Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 330: 107891. DOI: 10.1016/j.agee.2022.107891
- Semchenko, M.-Leff, J. W.-Lozano, Y. M.-Saar, S.-Davison, J.-Wilkinson, A.-Jackson, B. G.-Pritchard, W. J.-Jonathan, R.-Oakley, S. (2018): Fungal diversity regulates plant-soil feedbacks in temperate grassland. *Science Advances* 4: eaau4578.
- Shantz, H. L.-Piemeisel, R. (1917): Fungus fairy rings in eastern Colorado and their effects on vegetation. *Journal of Agricultural Research* 11: 191-245.
- Shi, L. L.-Mortimer, P. E.-Ferry Slik, J. W.-Zou, X. M.-Xu, J.-Feng, W. T.-Qiao, L. (2014): Variation in forest soil fungal diversity along a latitudinal gradient. *Fungal Diversity* 64: 305-315. DOI: 10.1007/s13225-013-0270-5
- Stevenson, D. R.-Thompson, C. J. (1976): Fairy ring kinetics. *Journal of Theoretical Biology* 58: 143-163. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(76\)90144-2](https://doi.org/10.1016/0022-5193(76)90144-2)
- Stilling, F.-Penszsa, K.-Hajnóczki, S.-Szentés, S.-Fűrész, A.-Sipos, L.-... Pajor, F. (2023): Botanical and turf management evaluation in goat pastures established from Pannonian natural and abandoned arable land. *Small Ruminant Research*, 229. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107119>
- Sutyinszki Z.-Szentés Sz.-Katona Z.-Pusztai E.-Marinkás Á.-Penszsa 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, F.-Farkasné, Z. E.-Polgár, J. P.-Wagenhoffer, Z. (1999): Study on peat bog soil pastures for sustainable development of beef cattle farming. *LIVESTOCK PRODUCTION SCIENCE*, 61(2-3): 253-260. [http://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00074-3](http://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00074-3)
- Szabó F.-Nagy G.-Gulyás L.-Tempfli K. (2020): A gyepföld és annak várható módosulása a klímaváltozás tükrében. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 69(1): 9-16.
- Szabó G.-Zimmermann Z.-Szentés Sz.-Sutyinszki Zs.-Penszsa K. (2010): Természetvédelmi és gyepgazdálkodási vizsgálatok a Dinnyési, fertő gyepeiben. *Gyepgazdálkodási Közlemények*, 8: 31-38.
- Szabó G.-Zimmermann Z.-Bartha S.-Szentés Sz.-Sutyinszki Zs.-Penszsa K. (2011): Botanikai, természetvédelmi és gyepgazdálkodási vizsgálatok Balatonfelvidéki szarvasmarhalegelőkön. *Tájökológiai Lapok* 9(2): 431-440.
- Szabó, G.-Magyar, V.-Szentés, Sz.-Penszsa, 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.-Penszsa, K. (2007a): Comparative researches and evaluations on grassland management and nature conservation in natural grasslands of the Transdanubian mountain range. *Cereal Research Communication* 35(2):1161-1164.
- Szentés Sz.-Penszsa K.-Tasi J. (2007b): Gyepgazdálkodási vizsgálatok a Dunántúli középhegység néhány természetes gyepeiben. *AWETH* 3: 127-149.
- Szentés Sz.-Penszsa K.-Tasi J.-Malatinszky Á. (2008): A legeltetés természetvédelmi vonatkozásai a Tapolcai és Káli medencében. *AWETH* 4(2): 829-835

- Szentes Sz.-Tasi J.-Házi J.-Penksza K. (2009a): A legeltetés hatásának gyeptárolkodási és természetvédelmi vizsgálata Tapolcai-és Káli-medencei lólegelőn a 2008. évi gyeptárolkodási idényben. Gyepgazdálkodási Közlemények 7: 65-72. <https://doi.org/10.55725/gygk/2009/7/1-2/10275>
- Szentes Sz.-Wichmann B.-Házi J.-Tasi J.-Penksza K. (2009b): Vegetáció és gyeptárolkodási havi változása badacsonytördemici szürkemarha legelőkön és kaszálón. Tájökológiai Lapok 7(2): 319-328.
- Szentes Sz.-Tasi J.-Wichmann B.-Penksza K. (2009b): Botanikai és gyeptárolkodási vizsgálatok 2008. évi eredményei a badacsonytördemici szürkemarha legelőn. Gyepgazdálkodási Közlemények 7: 73-78. <https://doi.org/10.55725/gygk/2009/7/1-2/10276>
- Szentes S.-Sutyinszki Z.-Zimmermann Z.-Szabó G.-Járdi I.-Házi J.-Penksza K.-Bartha S. (2011a): A fenyérfű (*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng 1936) gyeptárolkodási 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 gyeptárolkodási összetételének, tárolkodási és beltartalmi értékeinek növekedéskénti változása szürkemarha legelőn a Tapolcai-medencében. Animal welfare, etológia és tartástechnológia 7: 180-198.
- Szentes, S.-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. DOI: 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) gyeptárolkodási diverzitására 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. (2023): Nedves fekvésű magyar szürke szarvasmarha-legelő tárolkodási és beltartalmi értékeinek havi változása és összefüggése a fajgazdagsággal. Gyepgazdálkodási Közlemények, 21(1): 19-28.
- Szentes, S.-Kevi, A.-Wagenhoffer, Z.-Saláta-Falusi, E.-Pajor, F.-Berke, J.-Turcsányi-Járdi, I.-Penksza, P.-Kunos, V.-Kende, Z.-Penksza, K. (2024): Assessing the Impact of Grazing and Restoration Methods on Pannonian Grasslands. Land 13: 21-35. DOI: 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 (Basel), 14(5): 1107. <http://doi.org/10.3390/land14051107>
- Szentes, Sz.-Pajor, F.-Penksza, K.-Saláta-Falusi, E.-Balogh, D.-Balogh, J.-Sári, L.-Balogh, P.-Bori, D.-Kárpáti, E.-Freiler-Nagy, Á.-Orosz, S.-Penksza, P.-Szöke, P.-Pintér, O.-Sztármá, I.-Wagenhoffer, Zs. (2025b): What are the effects of cattle grazing on conservation and forage value across grazing pressure gradients in alkali grasslands? Diversity, 17(11): 741. <http://doi.org/10.3390/d17110741>
- Takács A.-Wagenhoffer Z.-Bajnok M.-Penksza K.-Saláta-Falusi E.-Szentes S. (2024): Különböző gyeptárolkodási eredményei Ába melletti kaszálón. Animal welfare, etológia és tartástechnológia, 20(1): 65-84. <http://doi.org/10.17205/aweth.5909>
- Tedersoo, L.-Bahram, M.-Pölme, S.-Kõljalg, U.-Yorou, N. S.- ... Abarenkov, K. (2014): Global diversity and geography of soil fungi. Science 346: 1256688. DOI: 10.1126/science.1256688
- Terashima, Y.-Fukiharu, T.-Fujie, A. (2004): Morphology and comparative ecology of the fairy ring fungi, *Vascellum curtisii* and *Bovista dermoxantha*, on turf of bentgrass, bluegrass, and Zoysiagrass. Mycoscience 45: 251-260. <https://doi.org/10.1007/S10267-004-0183-Y>
- Teste, F. P.-Kardol, P.-Turner, B. L.-Wardle, D. A.-Zemunik, G.-Renton, M.-Laliberte, E. (2017): Plant-soil feedback and the maintenance of diversity in Mediterranean-climate shrublands. Science 355: 173-176.
- Tobina, H.-Choi, J. H.-Asai, T.-Kiriwa, Y.-Asakawa, T.-Kan, T.-Morita, A.-Kawagishi, H. (2014): 2-Azahypoxanthine and imidazole-4-carboxamide produced by the fairy-ring-forming fungus increase wheat yield. Field Crops Research 162: 6-11. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.03.008
- Toohy, J. (1983): Fungus fairy rings in soil: etiology and chemical ecology. Canadian Field-Naturalist 97: 9-15. <https://doi.org/10.5962/p.354926>
- 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. DOI: 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. DOI: 10.1002/ece3.4508
- Török, P.-Schmidt, D.-Bátori, Z.-Aradi, E.-Kelemen, A.-Hábenczyus, A. A. et al. (2021): Invasion of the north American sand dropseed (*Sporobolus cryptandrus*)—a new pest in Eurasian sand areas? Global Ecology and Conservation, 32, e01942.
- Valkó, O.-Zmihorski, M.-Biurrun, I.-Loos, J.-Labadessa, R.-Venn, S. (2016): Ecology and Conservation of Steppes and Semi-Natural Grasslands. Hacquetia 15: 5-14. DOI: 10.1515/hacq-2016-0021
- 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. DOI: 10.1111/1574-6976.12001
- Vincenot, C. E.-Carten, F.-Bonanomi, G.-Mazzoleni, S.-Giannino, F. (2017): Plant-soil negative feedback explains vegetation dynamics and patterns at multiple scales. Oikos 126: 1319-1328.
- 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. DOI: 10.3389/fmicb.2022.893370
- Wichman B.-Péter N.-Saláta-Falusi E.-Saláta D.-Szentes Sz.-Penksza K. (2015): Cönológiai és természetvédelmi vizsgálatok a Kiskunsági Nemzeti Park Kelemen-széki magyar szürke marha és házi bivaly legelőin. Gyepgazdálkodási Közlemények, 13(1-2): 65-83. <http://doi.org/10.55725/gygk/2015/13/1-2/9760>

- Wilson, J. B.-Peet, R. K.-Dengler, J.-Pärtel, M. (2012): Plant species richness: the world records. *Journal of Vegetation Science* 23: 796–802. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2012.01400.x
- Xu, X.-Ouyang, H.-Cao, G.-Richter, A.-Wanek, W.-Kuzyakov, 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. DOI: 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. DOI: 10.1007/s11104-019-04141-7
- Zachar, Z.-Pápay, G.-Csontos, P.-Szabó, G.-Zimmermann, Z.-Saláta, D.-Szentés, Sz.-Pajor, F.-Fuchs, M.-Penksza, K. (2022): The effects of different management methods on restored grasslands in potential temperate forest zones. *Diversity*, 14(7): 551. <https://doi.org/10.3390/d14070551>
- Zimmermann Z.-Szabó G.-Szentés S.-Penksza K. (2012): Juhlegeltetés hatásainak természetvédelmi célú vizsgálata legelt és művelésből kivont gyepek növényzetére. *Animal Welfare, Etológia és Tartástechnológia*, 8(1): 103–117.
- Zimmermann, Z.-Szabó, G.-Csathó, A.-Sallainé, K. J.-Szentés, Sz.-Juhász, M.-Házi, J.-Komoly, C.-Virágh, K.-Harkányiné Székely, Zs.-Sutyinszki, Zs.-Bartha, S. (2014): The impact of the lesser blind mole rat [*Nannospalax* (superspecies *leucodon*)] on the species composition and diversity of a loess steppe in Hungary. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(2): 577–588. http://doi.org/10.15666/aeer/1202_577588
- 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. DOI: 10.1111/nph.16583
- Zotti, M.-Bonanomi, G.-Mancinelli, G.-Barquero, M.-De Filippis, F.-Giannino, F.-Mazzoleni, S.-González-Andrés, F. (2021): Riding the wave: Response of bacterial and fungal microbiota associated with the spread of the fairy ring fungus *Calocybe gambosa*. *Applied Soil Ecology* 163: 103963. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103963
- Zotti, M.-Bonanomi, G.-Mazzoleni, S. (2025): Fungal fairy rings: history, ecology, dynamics and engineering functions. *IMA Fungus* 16: e138320. DOI: 10.3897/imafungus.16.138320