

# ÖSSZEHASONLÍTÓ TALAJBIOLÓGIAI VIZSGÁLATOK A HANSÁGI RELIKTUM CSÍKOS-ÉGER ERDŐBEN ÉS A KÖRNYEZŐ FAÁLLOMÁNYOKBAN

Zagyva Zalán Rókus<sup>1</sup> és Winkler Dániel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar

<sup>2</sup> Soproni Egyetem, Vadgazdálkodási és Vadbiológiai Intézet

## Kivonat

Kutatásunkban talajfaunisztikai vizsgálatokat végeztünk egy hansági reliktum jellegű mézgás éger állományban (Csíkos-éger), valamint ezzel egyidejűleg vizsgáltuk a területen található egyéb állománytípusok (természeteszerű tölgyes-kőrises, ültetett hazai- és nemesnyár-állományok) talajfaunáját. A talajbiológiai minőség értékelésére a QBS indexet alkalmaztuk, amelynek alapja a különböző, a talajban való léthez eltérő fokon adaptálódott mikroartropóda taxonok jelenléte vagy hiánya. A kimutatott taxonok (valamint lárvafarmák) száma a legmagasabb (18) a mézgás égeresben volt, ezt követte a tölgyes-kőrises 14 taxonnal, majd a nemesnyáras (13) és a hazai nyáras (12). Mind az átlagos, mind a kumulált QBS index a mézgás égeresben volt a legnagyobb. Sorrendben a tölgyes-kőrises állomány következett, végül a nyár ültetvények. Utóbbiakat tekintve az átlagos QBS érték a nemesnyárasban volt magasabb, míg a magasabb kumulált index a hazai nyárasra volt jellemző. Az ugróvillások vizsgálata során összesen 51 faj 2025 egyedét azonosítottuk be. Az átlagos és az élőhelyet jellemző kumulatív fajszámot (S) tekintve egyaránt a reliktum mézgás égeres állomány bizonyult a legfajgazdagabbnak. Ha a teljes vizsgálati területen kimutatott Collembola fajok számát 100%-nak tekintjük, akkor a mézgás égeres állományokban a fajok 72,5%-a (37 faj) fordult elő. Magasnak tekinthető a tölgyes-kőrises állományok fajszáma is (35 faj), ami a teljes területen kimutatott fajkészlet közel 70%-a. Fajokban jóval szegényebbnek bizonyultak az ültetvényszerű nyár állományok. A nemesnyárasokban 23, a hazai nyárasokban 22 faj került elő (a teljes fajkészlet 43–45%-a). Az abundancia vonatkozásában hasonló arányok figyelhetők meg. A legnagyobb átlagos abundancia (A) szintén a mézgás égeresek talajára volt jellemző, ahol is a nyár ültetvényekkel összehasonlítva 2,5-szeres volt az 1 m<sup>2</sup>-re vonatkoztatott egységsűrűség.

*Kulcsszavak:* talajbiológiai minőség, QBS, Collembola, diverzitás, talajdegradáció

## COMPARATIVE SOIL BIOLOGICAL STUDY IN THE RELICT CSÍKOS ALDER WOOD AND THE SURROUNDING WOOD PLANTATIONS

### Abstract

Soil faunistic surveys were carried out in a relict alder stand in Hanság. Simultaneously, we investigated the soil fauna of other stand types (semi-natural oak-ash, planted native and Euramerican hybrid poplar stands) in the area. To assess the soil biological quality, the QBS index was used, based on the presence or absence of different microarthropod taxa and their adaptation level to the soil environment. The highest number of taxa was detected in the common alder stand (18), followed by the oak-ash forest with 14 taxa, then the non-native hybrid poplar (13) and native poplar (12) stands. Both the mean and cumulative QBS index was the highest in the common alder stand.

Levelező szerző/Correspondence:

Winkler Dániel, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.; e-mail: [winkler.daniel@uni-sopron.hu](mailto:winkler.daniel@uni-sopron.hu)



The oak-ash stand ranked next, followed by the poplar plantations. Regarding the Collembola, a total of 2,025 individuals of 51 species were identified during the study of the springtails. Both in terms of mean and habitat-specific cumulative species number (S), the relict common alder stand was found to be the most species-rich. If we consider the number of Collembola species detected in the whole study area as 100%, 72.5% of the species (37 species) occurred in the common alder stands. The number of species in the oak-ash stands (35 species) can be considered high, representing almost 70% of the species recorded in the whole area. Species richness of the poplar plantations was much lower. 23 species were found in the native poplar stands and 22 species in the non-native poplar plantations (43-45% of the total species observed). Similar proportions were observed for abundance. The highest average abundance (A) was found in the soils of the common alder stands. Compared to the poplar plantations, the Collembolan abundance per m<sup>2</sup> was 2.5 times higher in the soil of the alder forest.

**Keywords:** soil biological quality, QBS, Collembola, diversity, soil degradation

## BEVEZETÉS

Hazánk kislalföldi területein egykor jellegzetes erdőtípus volt a ligetes, mocsaras égeres, amely mára a túlzott átalakítások hatására jórészt eltűnt, illetve az eltűnés veszélyezteteti (Balsay 1979; Takács 2011). Gyakorivá váltak a lecsapolások, az érintett területeket mezőgazdasági művelés alá vonták vagy gyakran olyan fafajú állományokat ültettek, amely gyorsan nő és alacsonyabb a vágásfordulója. Ez a tevékenység az 1930-as években indult fekete dióval, valamint nemes nyárral. Utóbbiak számára kiváló termőhelyet jelentett a Hanság a laza, szerves talajokkal (Balsay 1990). Az elmúlt évszázad átalakító munkálatai folyamán mára odáig jutottunk, hogy az egykoron 4000 hektáros egybefüggő elegyetlen éger-kultúra már a 100 hektárt sem haladja meg (Balsay 1979).

A természetszerű erdők átforgalmazása gazdasági erdőkké, illetve a mezőgazdasági területek rohamos térhódítása az erdővel borított tájak rovására már több száz éve meghatározza Európa, így Magyarország tájait. Korunk egyik fő problémáját, a biodiverzitás elszegényedését kutatva gyakran vitatott kérdés, hogy milyen hatással bír a tájhasznosítás intenzitása a talajfauna fajgazdagságra (Traser & Horváth-Szováti 2004).

Az idegenhonos fafajokból álló, ültetvényeszerű faállományok talajfaunája fajkészlet és diverzitás vonatkozásában általában szegényebb, mint az őshonos fafajok által alkotott állományoké (Lindenmayer et al. 2003; Wang et al. 2022). Ez a megállapítás legfőképpen a nemes nyár (*Populus x euramericana*), feketefenyő (*Pinus nigra*), erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), valamint akác (*Robinia pseudoacacia*) monokultúrák esetében került igazolásra (Traser & Csóka 2001; Traser 2003; Winkler & Tóth 2012; Palkó et al. 2020), de ugyanezt el lehet mondani bármely egzóta ültetvényre Európa szerte (Klimitzek 1992), még úgy is, hogy viszonylag kevés célzott kutatás történt az idegenhonos fafajok hatásáról a talajlakó mezofaunára és az ugróvillás-közösségekre nézve. Portugáliában és Spanyolországban elsősorban a nagy területen előforduló eukaliptusz (*Eucalyptus* spp.) ültetvények veszélyeztetik a természetes élőhelyek biodiverzitását. Az eukaliptusz és a tűlevelű, nem őshonos ültetvényeket vizsgálva, azt a megállapítást tették, hogy a talajfauna, azon belül a Collembola közösségek diverzitását főként az állomány alatt felhalmozódó avarréteg eltérő kémhatása, s a kémhatás változása következtében módosult egyéb talajparaméterek csökkentik (Arbea & Jordana 1985; Gama et al. 1994, 1995; Sousa & Gama 1994; Pinto et al. 1997; Sousa et al. 1997). A talajkémhatás változása a talajparamétereket is módosítja. Hazai viszonylatban a fenyvesítés hatását Traser & Csóka (2001), valamint Winkler & Tóth (2012) vizsgálták. A telepített erdei- és feketefenyvesek

talajában az ugróvillás fajsám és abundancia jelentősen alulmaradt a természetszerű állományokkal szemben (Traser & Csóka 2001; Winkler & Tóth 2012).

A Hanságban viszonylag kevés olyan kutatás készült, ahol a talajauna diverzitását összehasonlították a környező telepített erdőkkel. Traser (2003) rövid közleményében hansági égererdők és a környező élőhelyek (rétek, nyárültetvények) ugróvillás-faunáját vizsgálta. Az ültetvények vonatkozásában fontos megállapítást tett arra, hogy az ugróvillás-diverzitás és az abundancia sem tud teljes mértékben regenerálódni a vágásérettségi korig. A telepített és a természetes erdők közti fontos különbségnek számít az is, hogy a folyamatosan gazdálkodás alatt álló területeken nem jelennek meg a jellemző erdei fajok, vagy csak nagyon kevés egyed- és fajszámban.

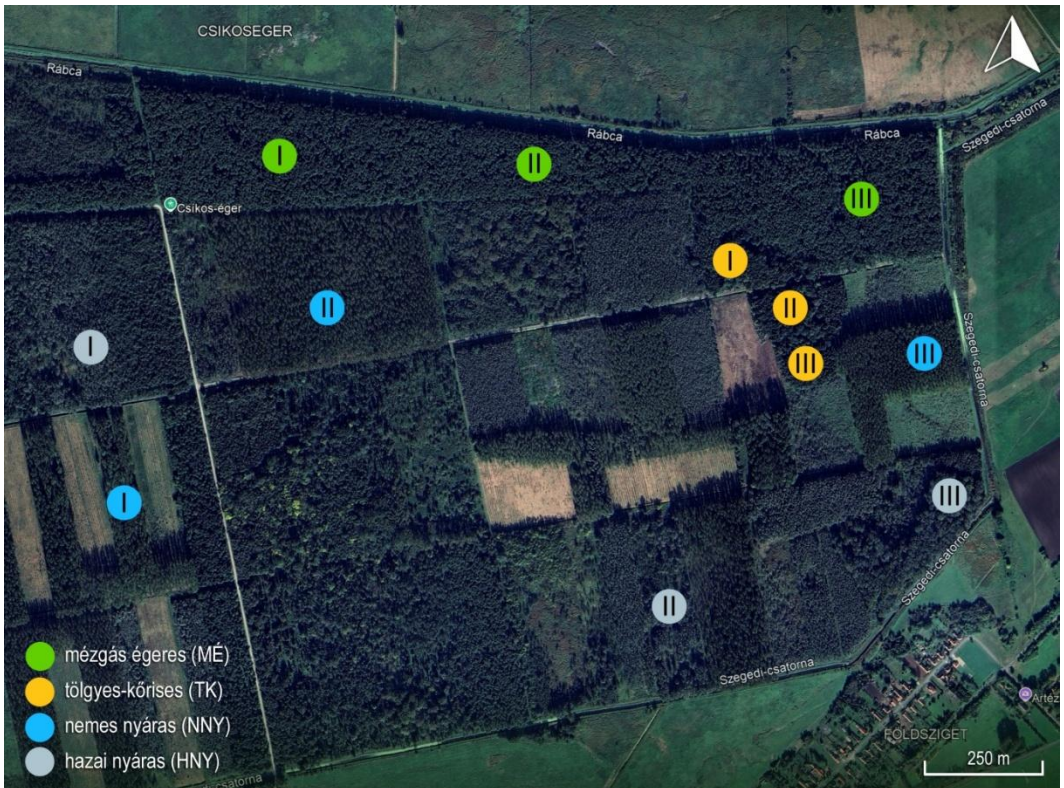
Az erdők átalakulása talajbiológiai vonatkozásban is érdekes kutatási lehetőségeket kínál. Munkánk fontosabb célkitűzései a következők voltak:

- talajfaunisztikai vizsgálatokat végezni a hansági reliktum jellegű mézgas éger állományban (Csíkos-éger),
- ezzel egyidejűleg vizsgálni a területen található egyéb állománytípusok (természetszerű tölgyes-kőrises, ültetett hazai és nemes nyár állományok) talajfaunáját,
- a mintákban található mikroartopóda taxonok alapján meghatározni az egyes állománytípusok talajbiológiai minőségét,
- az ugróvillások részletesebb, faj szintű beazonosítását követően összehasonlító elemzéseket végezni a Collembola közösségek ökológiai jellemzői alapján,
- vizsgálni az egyes Collembola fajok élőhelyválasztását és ökológiai igényeit a főbb talajparaméterek függvényében.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Vizsgálati terület

A vizsgálat célkitűzéseinek megfelelően a reliktum mézgas égeres (MÉ), valamint annak egykori kiterjedt területén található természetszerű tölgy-kőrises (TK) állományokban, emellett telepített nemes nyár (NNY) és hazai (szürke) nyár (HNY) főfafajú ültetvényekben jelöltük ki a mintaterületeket. A mintavételezést minden állománytípusban három ismétléssel végeztük különböző erdőrészekben. Így a négy erdőtípusban összesen 12 mintavételezési helyet (plot) jelöltünk ki (1. ábra).



1. ábra: A mintaterületek elhelyezkedése a hansági vizsgálati területen (Forrás: Google Earth)

Figure 1: Location of the survey plots (green circles: relict alder forests; yellow circles: semi-natural oak-ash forests; blue circles: hybrid poplar plantations; grey circles: grey poplar plantations)

## A terepi mintavételezés módszere

Minden mintaterületről öt, kb. egy liter térfogatú talajmintát gyűjtöttünk, amelyek talajparamétereit kiértékelésre kerültek. A mintavételek helyszínén egy speciális mintavevővel, melynek űrtartalma 100 cm<sup>3</sup>, bolygatatlan talajmintát vettünk, amely a talajlakó ízeltlábúak vizsgálatához szükséges. A felszínen lévő avart mintavételezés előtt óvatosan eltávolítottuk.

A négy állománytípusban a 3-3 mintavételei területen 5-5 mintát, így összesen 60 (4x3x5) mintát vettünk. A talaj nedvességtartalmát és a talajhőmérsékletet a helyszínen mértük Fieldscount TDR-350 készülékkel. A terepi mintavételt és méréseket 2024 májusában végeztük.



2. ábra: Vizsgált élőhelyek. a. mézgás égeres; b. tölgyes-kőrises állomány; c. nyár ültetvény (Fotó: Zagyva Z.)  
Figure 2: Studied habitats. a. relict alder forest; b. semi-natural oak-ash forest; c. poplar plantation (Photo: Z. Zagyva)

## Laboratóriumi vizsgálatok

### *Talajparaméterek meghatározása*

A talajmintákat először légszárásra szárítás után felapróztuk, majd egy 2 mm átmérőjű szitával átszitáltuk. A talajok mechanikai összetételének vizsgálatát (MSZ-08-0205 1978) követően meghatároztuk a kálium-kloridos ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) és a desztillált vizes ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) pH-t (MSZ 08 0206/2 1978), Tyurin módszerrel meghatározásra került a humusztartalom  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  és  $\text{H}_2\text{SO}_4$  segítségével (MSZ 21470-52 1983), illetve Kjeldahl módszerrel a nitrogén tartalom (%) (MSZ-EN-16169 2013). Megállapításra került még a mésztartalom ( $\text{CaCO}_3$ ) és az ammónium-laktát-oldható K és P tartalom (MSZ 20135 1999).

### *Mikroartropódák kinyerése és határozása*

A talajlakó mezofauna kinyerése a mintákból Tullgren elven (Tullgren 1918) működő futtatóval történt, 10 napos várakozási idővel, normál körülmények között szobahőmérsékleten. A lefutott állatokat 96%-os alkohol tartalmú fiolákban tároltuk.

A lefutott mintákból BTC STM-9T sztereómikroszkóp segítségével vizsgáltuk a talajlakó izelt-lábúakat. A talajbiológiai minőség index számításához először a magasabb taxonok jelenlét-hiányát vizsgáltuk az adott mintákban. Ezt követően külön leválogattuk az ugróvillásokat. A család- és genuszintű elkülönítéséhez Jordana & Arbea (1989), valamint Bellinger et al. (1996–2025) munkáit vettük alapul, míg a fajszintű határozást a fontosabb kulcsok (Deharveng 1982; Fjellberg 1980, 1998; Babenko et al 1994; Zimdars & Dunger 1994; Weiner 1996; Jordana et al 1997; Pomorski 1998; Bretfeld 1999; Potapov 2001; Thibaud et al 2004; Jordana 2012) segítségével végeztük.

## Az adatfeldolgozás és kiértékelés módszerei

A talaj biológiai minőségének értékelésére jól bevált és elterjedt módszer az ún. QBS index alkalmazása (Parisi 2001; Parisi et al. 2005; Gardi et al. 2008; Galli et al. 2014; Menta et al. 2017). Ez az értékelési módszer a talajmintában jelen lévő mikroartropóda-csoportok osztályozásán alapul. A talajkörnyezethez való alkalmazkodásuk szintje szerint minden egyes biológiai formát 1 és 20 közötti értékkel pontozunk (ökomorfológiai érték - EMI) Parisi et al. (2005) nyomán, Menta et al. (2017) legújabb módosításait is figyelembe véve. Egyes mikroartropóda csoportok egyetlen EMI-értékkel jellemezhetők, míg mások (pl. Collembola, Coleoptera) többféle értéket is kaphatnak a fajok talajhoz való különböző alkalmazkodási szintjétől függően. Abban az esetben, ha egy adott csoportban több, különböző EMI-pontszámmal rendelkező biológiai forma van jelen, a magasabb értéket választjuk a QBS index kiszámításához (Menta et al. 2018). Adott minta talajbiológiai minőség (QBS) indexe a kimutatott taxonok EMI-értékek összege (Parisi 2001; Parisi et al. 2005).

A közösségi-ökológiai elemzés során a fajszám, abundancia- és dominancia-viszonyok, fontosabb közösségi karakterisztikák – Shannon diverzitás (Shannon & Weaver 1949), kiegyenlítettség (Pielou 1966), közösségi dominancia index (Krebs 1978) – segítségével végeztük el a vizsgált állományok összehasonlító értékelését. A diverzitások összehasonlítását a Rényi-féle diverzitási profilok segítségével végeztük (Tóthmérész 1995). A talajkörnyezeti paraméterek és a Collembola fajok

összefüggéseinek további feltárására kanonikus korrespondencia analízist (CCA) végeztünk. Az ordináció alkalmazása során a talajkörnyezeti változókat az általuk lefedett variancia alapján válogattuk ki lépésenkénti kiválasztás alkalmazásával (ter Braak & Šmilauer 2002). Emellett a kis létszámban (<5) előforduló fajokat nem vontuk be az analízisbe, a bizonytalan kapcsolatok kiküszöbölése végett. Az elemzéseket a Past version 2.17b (Hammer et al 2001) statisztikai program segítségével végeztük el.

## EREDMÉNYEK

### Talajparaméterek

A feldolgozott minták talajfizikai és kémiai paramétereit az 1. táblázat tartalmazza. A minták a pH értékek alapján a gyengén savanyútól az erősen savanyú talajkémhatási kategóriákba esnek. Feltűnő a reliktum mézgás égeresből származó talajok erősen savanyú kémhatása, míg a tölgyes-kőrises természetsszerű állomány, valamint a telepített nyárasok talaja a gyengén savanyú kategóriába esett. A szervesanyag-tartalom meglehetősen magasnak mondható a minták összességét tekintve. Különösen magas érték adódott viszont a mézgás égeres mintákban, ami a tözegecs-láptalaj saját-sága. A szemcseeloszlásra jellemző az iszap és a finomhomok frakció magasabb aránya (kivételt képez a tölgyes-kőrises állományok talaja, ahol egyenletesebbnek adódott az eloszlás). Az összes nitrogéntartalom a szervesanyag-tartalomhoz hasonlóan alakult, legmagasabb a mézgás égeresekben volt, ezt követte a tölgyes-kőrises állományok talaja, míg alacsonyabb nitrogéntartalommal volt jellemezhető a nyárültetvények talaja. A nedvességtartalom – a tölgyes-kőrises állomány kivételével – magas (40% feletti) volt a mintákban.

1. táblázat: A vizsgált állományok talajparamétereinek átlagos értékei

MÉ – reliktum mézgás égeres, TK – természetsszerű tölgyes-kőrises; NNY – nemesnyáras; HNY – hazai nyáras

Table 1: Soil parameters (mean  $\pm$  SE) in the studied forest types

MÉ – relict alder forests; TK – semi-natural oak-ash forests; NNY – hybrid poplar plantations; HNY – grey poplar plantations

Talajparaméter	MÉ	TK	NNY	HNY
pH (H <sub>2</sub> O)	4,6 $\pm$ 0,06	6,5 $\pm$ 0,8	6,6 $\pm$ 0,07	6,5 $\pm$ 0,10
pH (KCl)	4,2 $\pm$ 0,04	6,2 $\pm$ 0,06	6,4 $\pm$ 0,06	6,2 $\pm$ 0,05
H%	42,3 $\pm$ 3,72	30,5 $\pm$ 2,94	11,8 $\pm$ 1,28	17,0 $\pm$ 1,73
A%	22 $\pm$ 1,43	22 $\pm$ 0,92	14 $\pm$ 0,99	22 $\pm$ 0,94
I%	24 $\pm$ 1,14	22 $\pm$ 0,73	40 $\pm$ 2,51	32 $\pm$ 1,71
Fh%	54 $\pm$ 2,41	34 $\pm$ 1,17	44 $\pm$ 2,91	39 $\pm$ 3,97
Dh%	0	22 $\pm$ 1,02	2 $\pm$ 0,03	7 $\pm$ 0,09
N%	2,38 $\pm$ 0,07	1,60 $\pm$ 0,02	0,62 $\pm$ 0,04	0,74 $\pm$ 0,06
AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	153,8 $\pm$ 12,3	440,7 $\pm$ 22,9	309,2 $\pm$ 34,29	781 $\pm$ 59,6
AL-K <sub>2</sub> O (mg/kg)	616,7 $\pm$ 81,4	445,2 $\pm$ 61,5	702,1 $\pm$ 91,9	425,4 $\pm$ 44,2
w%	41,5 $\pm$ 3,49	25,8 $\pm$ 3,15	44,4 $\pm$ 3,18	42,9 $\pm$ 2,31

## Talajbiológiai minőség

A teljes vizsgálati területen előfordult mikroartropóda taxonokat és ökomorfológiai értéküket az 2. táblázat foglalja össze. Ugyanitt található a számított talajbiológiai minőség (QBS) index átlagértékei, valamint az élőhelyre kumulált értékek.

A kimutatott taxonok (valamint lárvaformák) száma a legmagasabb (18) a mézgás égeresben volt, ezt követte a tölgyes-kőrises 14 taxonnal, majd a nemesnyáras (13) és a hazai nyáras (12). Mind az átlag, mind a kumulált QBS index a mézgás égeresben volt a legnagyobb. Sorrendben a tölgyes-kőrises állomány következett, végül a nyár ültetvények. Utóbbiakat tekintve az átlagos QBS érték a nemesnyárasban volt magasabb, míg a magasabb kumulált index a hazai nyárasra volt jellemző. Egyes taxonok (Paurogota, Lepidoptera) csak a mézgás-égeresben, míg például az álskorpiók (Pseudoscorpionida) kizárólag a természetserű erdőkben fordultak elő, a nyárültetvényekben nem.

2. táblázat: A vizsgált élőhelyeken előfordult taxonok, ökomorfológiai értékeik és a kalkulált talajbiológiai minőség (QBS) index. MÉ – reliktum mézgás égeres, TK – természetserű tölgyes-kőrises; NNY – nemesnyáras; HNY – hazai nyáras

Table 2: Taxa of soil microarthropods, their ecomorphological values and the calculated soil biological quality (QBS) index in the study habitats. MÉ – relict alder forests; TK – semi-natural oak-ash forests; NNY – hybrid poplar plantations; HNY – grey poplar plantations

Taxon (ökomorfológiai érték)	MÉ	TK	NNY	HNY
ACARI (20)	20	20	20	20
ARANEAE (1-5)	5	0	0	5
CHILOPODA (10)	10	10	10	0
COLEOPTERA (1-20)	10	10	15	15
COLEOPTERA larvae (10)	10	10	10	10
COLLEMBOLA (1-20)	20	20	20	20
DIPLOPODA (10-20)	20	10	0	20
DIPLURA (20)	20	20	20	20
DIPTERA larvae (10)	10	10	10	10
HEMIPTERA (1-10)	0	0	10	0
HYMENOPTERA (1-5)	5	5	5	5
HYMENOPTERA larvae (10)	10	0	10	0
ISOPODA (10)	10	10	10	10
LEPIDOPTERA larvae (10)	10	0	0	0
PAUROPODA (20)	20	0	0	0
PSEUDOSCORPIONIDA (20)	20	20	0	0
PSOCOPTERA (1)	0	1	1	1
PROTURA (20)	20	20	0	0
SYMPHYLA (10)	10	10	0	10
THYSANOPTERA (1)	0	0	1	0
DIPTERA (1)	1	0	0	0
QBS index (átlag±SE)	88,6 ± 5,0	82,5 ± 4,4	75,5 ± 3,7	72,5 ± 3,5
QBS index (kumulált)	<b>231</b>	<b>196</b>	<b>142</b>	<b>146</b>

## Ugróvillás faunisztikai eredmények

A kutatás során összesen 2025 ugróvillás egyedet határoztunk meg. Összesen 51 fajt azonosítottunk be, amelyek élőhelyenkénti átlagos abundancia-értékeit a 3. táblázat tartalmazza. A kimutatott fajok összesen 15 családot képviselnek.

3. táblázat: Az előfordult *Collembola* fajok átlagos abundanciája (egyed/m<sup>2</sup>) a vizsgált erdőállományokban

MÉ – reliktum mézgás égeres, TK – természetserű tölgyes-körises; NNY – nemesnyáras; HNY – hazai nyáras

Table 3: *Collembola* species spectrum and mean abundance (ind./m<sup>2</sup>) in the sampled forest types

MÉ – relict alder forests; TK – semi-natural oak-ash forests; NNY – hybrid poplar plantations; HNY – grey poplar plantations

COLLEMBOLA	MÉ	TK	NNY	HNY
<b>Hypogastruridae</b>				
<i>Ceratophysella denticulata</i> (Bagnall, 1941)	146,6±87,4	0	0	0
<i>Choreutinula inermis</i> (Tullberg, 1871)	26,7±26,7	0	0	0
<i>Willemia virae</i> Kaprus, 1997	386,7±70,7	26,7±26,7	33,3±24,0	80,0±30,6
<i>Ceratophysella denticulata</i> (Bagnall, 1941)	146,6±87,4	0	0	0
<b>Neanuridae</b>				
<i>Micranurida pygmaea</i> Börner, 1901	40,0±40,0	20,0±20,0	0	0
<i>Deutonura conjuncta</i> (Stach, 1926)	413,4±106,7	100,0±41,6	66,7±17,6	80,0±34,6
<i>Friesea truncata</i> Cassagnau, 1958	133,3±81,2	33,3±17,2	0	0
<i>Neanura muscorum</i> (Templeton, 1835)	186,7±148,4	193,3±55,7	0	0
<i>Xenyllodes armatus</i> Axelson, 1903	173,4±96,2	0	0	0
<b>Odontellidae</b>				
<i>Superodontella lamellifera</i> (Axelson, 1903)	0	13,3±13,3	0	0
<b>Onychiuridae</b>				
<i>Micraptorura absoloni</i> (Börner, 1901)	120,0±40,0	0	0	0
<i>Protaphorura armata</i> (Tullberg, 1869)	253,4±196,4	240,0±46,7	66,7±35,3	146,7±63,6
<i>Protaphorura bicampata</i> (Gisin, 1956)	80,0±23,0	0	13,3±13,3	0
<b>Tullbergiidae</b>				
<i>Mesaphorura critica</i> Ellis, 1976	80,0±80,0	253,3±72,2	133,3±43,7	240,0±72,1
<i>Mesaphorura macrochaeta</i> Rusek, 1976	106,7±58,2	206,7±63,6	46,7±29,1	40,0±23,1
<i>Paratullbergia macdougalii</i> Bagnall, 1936	40,0±40,0	0	0	0
<b>Entomobryidae</b>				
<i>Entomobrya corticalis</i> (Nicolet, 1842)	333,4±70,7	253,3±127,7	0	0
<i>Entomobrya multifasciata</i> (Tullberg, 1871)	0	53,3±26,4	20,0±20,0	26,7±26,7
<i>Entomobrya muscorum</i> (Nicolet, 1842)	186,7±35,2	80,0±26,4	20,0±11,5	20,0±20,0
<i>Entomobrya quinquelineata</i> Börner, 1901	0	0	0	13,3±13,1
<i>Heteromurus nitidus</i> (Templeton, 1835)	93,4±35,2	146,7±62,4	26,7±13,3	20,0±20,0
<i>Heteromurus major</i> (Moniez, 1889)	0	6,7±6,7	0	0
<i>Lepidocyrtus arrabonicus</i> Traser, 2000	0	0	6,7±6,7	13,3±13,3
<i>Lepidocyrtus florum</i> Winkler & Mateos, 2018	120,0±69,2	0	0	0
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> (Gmelin, 1788)	0	80,0±80,0	0	0
<i>Lepidocyrtus lignorum</i> (Fabricius, 1793)	0	13,3±13,3	0	0
<i>Lepidocyrtus peisonis</i> Traser & Christian, 1992	160,0±83,2	0	73,3±40,6	93,3±43,7
<i>Orchesella flavescens</i> (Bourlet, 1839)	186,7±70,7	180,0±62,4	0	0
<i>Pseudosinella alba</i> (Packard, 1873)	0	166,7±26,4	13,3±13,3	0
<i>Willowsia buski</i> (Lubbock, 1871)	26,7±26,7	40,0±26,4	13,3±13,3	6,7±6,7
<i>Willowsia nigromaculata</i> (Lubbock, 1873)	13,3±13,3	6,7±6,7	0	0



COLLEMBOLA	MÉ	TK	NNY	HNY
<b>Isotomidae</b>				
<i>Cryptopygus bipunctatus</i> (Axelson, 1903)	0	46,7±46,7	13,3±13,3	20,0±20,0
<i>Isotomiella minor</i> (Schäffer, 1896)	880,0±151,4	700,0±160,1	226,7±69,6	233,3±160,1
<i>Isotoma riparia</i> (Nicolet, 1842)	106,7±70,6	0	0	0
<i>Isotoma viridis</i> Bourlet, 1839	106,7±58,2	20,0±20,0	73,3±40,6	80,0±80,0
<i>Folsomia penicula</i> Bagnall, 1939	200,0±61,2	246,7±121,7	0	0
<i>Folsomia quadrioculata</i> (Tullberg, 1871)	0	93,3±51,9	720,0±111,4	626,7±148,9
<i>Parisotoma notabilis</i> (Schäffer, 1896)	1013,4±224,4	946,7±149,4	1060,0±103,9	666,7±150,7
<i>Proisotoma minima</i> (Absolon, 1901)	0	140,0±72,2	0	0
<b>Tomoceridae</b>				
<i>Tomocerus minor</i> (Lubbock, 1862)	173,4±48,0	360,0±180,9	0	13,3
<i>Tomocerus vulgaris</i> (Tullberg, 1871)	0	13,3±13,3	0	0
<i>Pogonognathellus flavescens</i> (Tullberg, 1871)	240,0±100,6	100,0±55,7	33,3±17,6	46,7±37,1
<b>Arrhopalitidae</b>				
<i>Arrhopalites ulehlovae</i> Rusek, 1970	13,3±13,3	0	0	0
<b>Sminthurididae</b>				
<i>Sphaeridia pumilis</i> (Krausbauer, 1898)	853,4±93,4	820,0±174,3	213,3±54,6	213,3±35,3
<b>Dicyrtomidae</b>				
<i>Ptenothrix atra</i> (Linnaeus, 1758)	133,3±96,2	0	0	0
<b>Bourletiellidae</b>				
<i>Heterosminthurus bilineatus</i> (Bourlet, 1842)	13,3±13,3	0	0	0
<b>Katiannidae</b>				
<i>Sminthurinus bimaculatus</i> Axelson, 1902	0	0	13,3±13,3	0
<b>Sminthuridae</b>				
<i>Allacma fusca</i> (Linnaeus, 1758)	13,3±13,3	40,0±13,3	0	0
<i>Caprainea marginata</i> (Schött, 1893)	0	6,7±6,7	0	0
<i>Lipothrix italica</i> (Cassagnau, 1968)	280,0±92,4	40,0±40,0	60,0±41,6	46,7±29,1
<b>Neelidae</b>				
<i>Megalothorax minimus</i> Willem, 1900	106,7±35,2	113,3±55,7	46,7±24,0	86,7±52,1
<i>Neelides minutus</i> (Folsom, 1901)	13,3±13,3	0	0	0

A Csikos-éger reliktum állományából gyűjtött és meghatározott minták magas fajgazdagságot mutatnak. Összesen 37 fajt sikerült kimutatnunk, amelyek 13 családot képviselnek. Az ugróvillások 35%-a az Isotomidae család fajai közül került ki. Ezek közül eudominánsnak tekinthetjük a *Parisotoma notabilis* fajt. Szintén ebbe a családba tartozik az égeresek szubdomináns faja, az *Isotomiella minor*. Az Entomobryidae családból (15,79%) összesen nyolc faj került elő a mézgás égeresből. Ezek közül érdemes megemlíteni a néhány éve innen leírt *Lepidocyrtus florum* fajt, valamint a Fertő nádasából leírt *L. peisonis*-t. A tipikusan üde élőhelyekhez kötődő *Entomobrya muscorum* ebből az élőhelytípusból került elő a legnagyobb egyedszámmal. További szubdomináns faj a Sminthurididae család egyetlen kimutatott képviselője, a parányi termetű *Sphaeridia pumilis*. Az akcesszórius fajok között találunk néhány érdekességet is, mint például a hazánkon kívül csak Olaszországból ismert *Lipothrix italica* fajt, valamint a tipikusan higrofil *Isotoma palustris*-t.

A tölgyes-kőrisben 11 család 35 faja került elő. Az égereshez hasonlóan itt is az Isotomidae (37,93%), majd az Entomobryidae család (17,76%) aránya volt a legnagyobb, de számottevő részarányal (14,14%) volt képviselt a Sminthurididae család is. A domináns fajok ebben az élőhelytípusban is a *Parisotoma notabilis*, *Sphaeridia pumilis* és az *Isotomiella minor* voltak. Az akcesszórius fajok

közül gyakori volt az *Entomobrya corticalis* és a *Tomocerus minor*. Ritka fajoknak bizonyultak a csak ebben az erdőtípusban előfordult *Superodontella lamellifera* és *Caprainea marginata*.

A nemesnyáras ültetvényekben 11 család összesen 23 fajt sikerült kimutatni. A legnagyobb részarányal itt is az Isotomidae családot találtuk, az ugróvillás egyedek közel háromnegyede tartozik ide ezen az élőhelyen. Az Entomobryidae a nemesnyárasban kissé háttérbe szorult, részaránya az elsősorban a mélyebb rétegekben élő, euedafikus fajokat magába foglaló Tullbergiidae családhoz, valamint az egyetlen fajjal (*Sphaeridia pumilis*) képviselt Sminthurididae családhoz hasonlóan 5% körül alakul. A domináns faj itt is a *Parisotoma notabilis* volt, valamint megjelent egy másik pionír jellegű faj, a *Folsomia quadrioculata* is. A *Sphaeridia pumilis* és az *Isotomiella minor* itt már csak, mint kísérő fajok vannak jelen, utóbbiakhoz társul az euedafikus *Mesapohorura critica* is.

A hazai nyáras ültetvényekben 10 család összesen 22 fajt sikerült kimutatni. Az Isotomidae család fajai itt is nagy részarányal képviseltek, az egyedek több mint fele ebbe a családba tartozik. Sorrendben a második a Tullbergiidae család, amelynek magasabb részaránya az euedafikus *Mesapohorura* fajok (*M. critica*, *M. macrochaeta*) nagyobb abundanciájának köszönhető.

### Közösségi ökológiai eredmények

A vizsgált természetserű (mézgás égeres, tölgyes-kőrises), valamint ültetvényszerű (nemes nyár, hazai nyár) állományok ugróvillás-közösségeinek fontosabb karakterisztikáit a 4. táblázat tartalmazza.

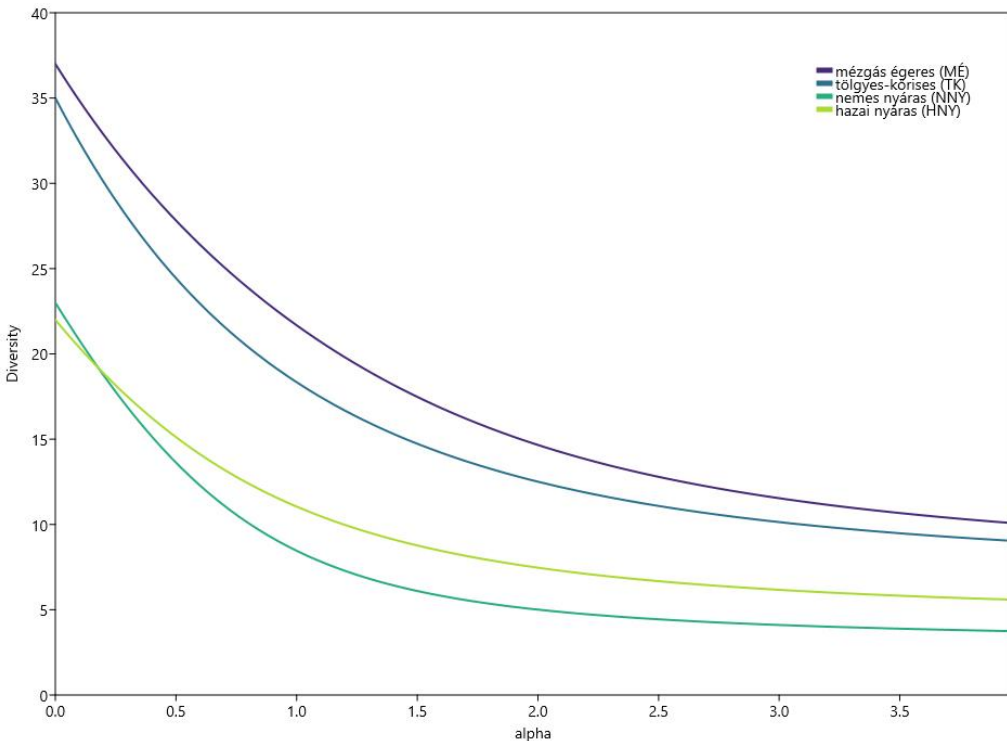
4. táblázat: A vizsgált állománytípusok ugróvillás-közösségeinek fontosabb karakterisztikái (átlag $\pm$ SE)  
 MÉ – reliktum mézgás égeres, TK – természetserű tölgyes-kőrises; NNY – nemesnyáras; HNY – hazai nyáras. \*kumulált fajszám  
 Table 4: Mean values of collembola community characteristics in the sampled forest types (mean $\pm$ SE)  
 HTGY – steppe oak forests, NNY – hybrid poplar, FF – Black pine, A – Black locust; \*cumulative species richness

	MÉ	TK	NNY	HNY
Fajszám (S)	27,7 $\pm$ 1,20 (*37)	25,0 $\pm$ 2,7 (*35)	15,0 $\pm$ 0,6 (*23)	14,3 $\pm$ 1,46 (*22)
Abundancia (A) (egyed/m <sup>2</sup> )	7653 $\pm$ 1257	5800 $\pm$ 923	2993 $\pm$ 585	2813 $\pm$ 535
Shannon index (H')	2,897 $\pm$ 0,049	2,742 $\pm$ 0,040	2,005 $\pm$ 0,083	2,135 $\pm$ 0,234
Egyenletesség (J)	0,873 $\pm$ 0,015	0,856 $\pm$ 0,025	0,741 $\pm$ 0,021	0,803 $\pm$ 0,054
Közösségi dominancia index (KDI)	27,53 $\pm$ 1,92	30,52 $\pm$ 3,14	59,47 $\pm$ 4,48	45,97 $\pm$ 5,81

Az átlagos és az élőhelyet jellemző kumulatív fajszámot (S) tekintve egyaránt a reliktum mézgás égeres állomány bizonyult a legfajgazdagabbnak. Ha a teljes vizsgálati területen kimutatott ugróvillás-fajok számát (51) 100%-nak tekintjük, akkor a mézgás égeres állományokban a fajok 72,5%-a (37 faj) fordult elő. Magasnak tekinthető a tölgyes-kőrises állományok fajszáma (35 faj), ami a teljes területen kimutatott fajkészlet közel 70%-a. Fajokban jóval szegényebbnek bizonyultak az ültetvényszerű nyár állományok. A nemes nyárasokban 23, a hazai nyárasokban 22 faj került elő (a teljes fajkészlet 43–45%-a).

Az abundancia vonatkozásában hasonló arányok figyelhetők meg. A legnagyobb átlagos abundancia (A) szintén a mézgás égeresek talajára volt jellemző. A nyár ültetvényekkel összehasonlítva 2,5-szeres volt az 1 m<sup>2</sup>-re vonatkoztatott egyedsűrűség a mézgás égeresekben.

A Shannon-diverzitás ( $H'$ ) legnagyobb átlagos értéke a fajszámhoz hasonlóan a mézgás égeresben adódott a legmagasabbnak, ezt követte sorrendben a tölgyes kőrises, a hazai nyáras, és végül a nemesnyáras diverzitása. Részben ezt igazolják a Rényi-féle diverzitás profilok (3. ábra) is, amelyek a Shannon-diverzitáson kívül a fajszámot, a Simpson-diverzitást, valamint a Berger-Parker indexet is figyelembe veszik. Az ugróvillás-közösségek Rényi-féle diverzitási profiljait elemezve megmutatkozik, hogy a mézgás égereshez kötődik a legdiverzebb közösség, ennek az élőhelynek a profilja fut a legmagasabban. Ezt követi a rangsorban a tölgyes-kőrises erdő, végül a nemes nyár és hazai nyár ültetvények. Utóbbi kettő esetében azonban a diverzitási profilok metszik egymást, így ezek a közösségek diverzitás szempontjából nem rangsorolhatók.

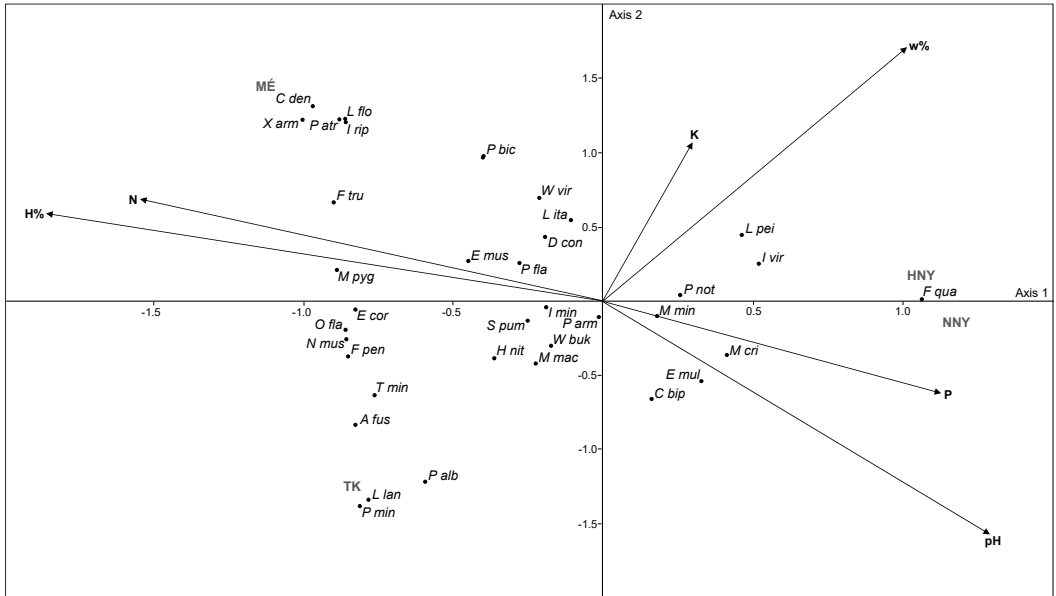


3. ábra: A vizsgált erdőállományok Collembola-közösségeinek diverzitási profiljai  
 Figure 3: Diversity profiles of Collembolan communities in the sampled forest types

## A talajparaméterek és a Collembola-közösségek összefüggései

A mért talajkörnyezeti paraméterek és a közösséget alkotó ugróvillás-fajok abundancia-értékei lehetővé tették komplex összefüggések feltárását is. Az ordinációs módszerként alkalmazott kanonikus korrespondencia analízis (CCA) eredményét a 4. ábra szemlélteti. A Monte Carlo permutációs teszt igazolta az első két tengely szignifikanciáját  $p < 0,05$  szinten. A két tengely együttesen 90,26% magyarázza a varianciának: 59,84%-ot az első, további 30,42%-ot pedig a második tengellyel sikerült lefedni. Az első tengelyt leginkább a talaj szervesanyag-tartalma (H%), a N és a P tartalom

határozza meg, de nem elhanyagolható a pH és a nedvességtartalom (w%) hatása sem. Utóbbi két paraméter mellett, a második tengelyt a legerősebben a K tartalom határozza meg.



4. ábra: Az ugróvillás fajok, erdőtypusok és a háttérváltozók elhelyezkedése a CCA ordináció első két tengelye mentén (a fajok a tudományos név 1+3 betűs kódjával vannak feltüntetve)

Figure 4: Ordination biplot of CCA with Collembola species, forest types and selected soil variables. Collembola species name abbreviations consist of the initial letter of the genus name followed by the first three letters of species

A szervesanyag-tartalom, valamint a vele azonos irányba futó N tartalom (jó közelítéssel az 1. tengely) mentén jól megfigyelhető az élőhelyek elkülönülése. A magas szervesanyag-tartalommal jellemezhető mézgás égeres az első tengely negatív oldalán található, a második tengelynek pedig a pozitív oldalán, ahol alacsonyabb pH és magasabb víztartalom jellemző. Itt található a kimondottan a mézgás égeresre jellemző karakterfajok, mint pl. a *Ceratophysella denticulata*, *Xenyllodes armatus*, *Isotoma riparia*, *Lepidocyrtus florae* és a *Ptenotrix atra*. A tölgyes-körises élőhely mind az első, mind a második tengelyt tekintve a negatív oldalon található, tehát még számottevő humusztartalommal, viszont alacsonyabb nedvességtartalommal jellemezhető. Ide orientálódnak emiatt a kissé xero-termofil fajok is, mint a *Pseudosinella alba*, *Proisotoma minuta*, *Lepidocyrtus lanuginosus* és a *Ptenotrix atra*. A pH tengely mentén negatív irányba eltolódva érdemes megemlíteni a kimondottan acidofil *Micranurida pygmaea* elhelyezkedését. A kissé nyiltabb, de nedves élőhelyekre jellemző fajok, mint az *Isotoma viridis* és a *Lepidocyrtus peisonis* mindkét tengely szempontjából a pozitív irányban helyeződnek, a kissé nyitott nyár ültetvényekben voltak jellemzőek. A vizsgálat leggyakoribb, minden élőhelyen domináns, euriök fajai, mint pl. a *Protaphorura armata*, *Isotomiella minor*, *Parisotoma notabilis* és a *Sphaeridia pumilis* centrális helyzetűek.

## MEGVITATÁS

Általánosan elfogadott, hogy az ültetvényeszerű erdőgazdálkodás, ezen belül különösen az idegenhonos fafajú, elegendően monokultúrák talajfaunája alapvetően szegényebb, mint az őshonos fafajok alkotta állományoké (Lindenmayer et al. 2003; Wang et al. 2022). A hansági kutatásunkban is ezt a kérdéskört igyekeztünk jobban feltárni, kétféle megközelítésből. Az egyik ilyen megközelítés a talajbiológiai minőség vizsgálata (Parisi 2001) volt, amelynek alapja a különböző, a talajban való létehez eltérő fokon adaptálódott mikroartopóda taxonok jelenléte vagy hiánya. Bár mára a módszer széles körben elterjedté vált (Menta et al. 2018), ezidáig főként a mezőgazdasági művelés értékelésére (pl. Mazzoncini et al. 2010; Menta et al. 2017; Tóth et al. 2025), valamint különböző szennyezések (pl. Migliorini et al. 2004; Visioli et al. 2013; Santorufo et al. 2012; Winkler et al. 2018) hatásának kimutatására alkalmazták, és meglehetősen kevés az erdei talajokról szóló ilyen jellegű tanulmány (Blasi et al. 2013; Rybak 2010). A talajbiológiai minőség értéke a hansági mintákban széles intervallumban változott. A legmagasabb QBS-index érték (231) a reliktum jellegű mézgás égeresre volt jellemző, ezt követte a természeteszerű tölgyes-körises QBS-értéke (196), míg közel azonos, alacsony értéket számítottunk a nemes nyáras és a hazai nyáras ültetvények talajmintáiból kinyert mikroartopódák alapján (142, illetve 146). Utóbbiak értékei alapján kijelenthető, hogy az alkalmazott nyár fafaja (idegenhonos, illetve őshonos) nem volt hatással a talajbiológiai minőségre, kétségtelenül itt a gazdálkodási mód (ültetvényeszerű, monokultúras telepített állományok) volt inkább meghatározó és eredményezte az alacsonyabb talajbiológiai minőség index értékeket. Ugyanakkor a telepített nyárasok talajbiológiai minőségértékei sem mondhatók extrém alacsonynak. Mint arra egyes tanulmányok (Parisi et al. 2005; Wahsha et al. 2014) rávilágítottak, a talajbiológiai minőség 100–200 közötti értéke már stabil talajökoszisztémára utal. Mindazonáltal érdemes azt is jobban megvizsgálni, hogy melyek azok a mikroartopóda taxonok, amelyek hiányoztak az ültetvények talajából. Ezek közé tartoznak az álskorpiók (Pseudoscorpionida), amelyek jelenlétét kizárólag a természetes, illetve természeteszerű állományokból (mézgás égeres, tölgyes-körises) mutattuk ki. A villáscsápúak (Paupoda) kizárólag a mézgás égeres talajából kerültek elő. Ezeknek az élőlényeknek az abundanciája általában nagyon alacsony, gyakran kevesebb, mint 100 egyed/m<sup>2</sup> (Coleman et al. 1996; Jeffery et al. 2010). Ennek eredményeképpen gyakran képviselik a háborítatlan talajokat, és a talajminőség bioindikátorként működnek (Menta & Remelli 2020).

A talajlakó taxonok közül az ugróvillásokat faj szinten is meghatároztuk, ami kevésbé elnagyolt, pontosabb értékelést és összehasonlítást tesz lehetővé. A vizsgálatok során összesen 51 ugróvillás faj került elő, ez a hazánkban kimutatott fajok (Dányi & Traser 2008) több, mint 12%-a. Ha a Fertőtájból kimutatott fajok listájával (Traser 2002; Traser & Winkler 2012) tesszük meg az összevetést, még jobb az arány, mivel az eddig kimutatott fajoknak több mint felét sikerült megtalálni. Faunisztikai érdekesség a *Lepidocyrtus florae* faj, amely fajt néhány évvel ezelőtt írtak le a Csíkos-égerből (Mateos & Winkler 2018). Míg az eredeti leírásban azt olvashatjuk, hogy a faj az égerfák mohabevonatában él, most a talajmintákból került elő néhány egyede. Egy másik *Lepidocyrtus* fajt, a Fertő nádasából leírt *L. peisonis*-t (Traser & Christian 1992) szintén megtaláltuk, az égeresen kívül a telepített nyárasok talajában is.

Lindenmayer et al. (2003) megállapítása, miszerint adott területen az őshonos, természetes állományok talajfaunája nagyobb fajgazdagságot mutat, a hansági vizsgálati területen az ugróvillások vonatkozásában is megmutatkozott. Míg a teljes vizsgálati területen kimutatott ugróvillás-fajok számát 100%-nak tekintve a mézgás égeres állományokban a fajok 72,5%-a előfordult, ez a százalékos arány az ültetvényeszerű, telepített nyárasokban ez az arány 43–45% volt. Ezt a jelenséget Palkó et

al. (2020) kiskunsági homoktalajokon is megfigyelték, ahol reliktum homoki tölgyesek és a helyükön létesített idegenhonos faállományokban vizsgálták a talajlakó ugróvillásokat. Kimutatták, hogy a nemes nyár ültetvényekben egyes talajparaméterek értéke oly mértékben megváltozott, ami nem csak az ugróvillások abundancia-csökkenéséhez, hanem egyes sztenök fajok eltűnéséhez is vezetett. Meglehetősen kevés információ áll rendelkezésre a nemes nyárasok talajbiológiai vonatkozásairól. Gyorsan növekvő nemesített fajtáik köztudottan „kiszorolják” a talajt, ami megmutatkozott a talajparaméterek változásában a hansági mintaterületeken is. A legalacsonyabb szervesanyag-tartalom (ami erős összefüggést mutat az ugróvillások abundanciájával) is a nyár ültetvények talajára volt jellemző.

A talajdegradáció foka és a Collembola közösségek fajszáma, valamint abundanciája között Hágvar (1987) erős negatív korrelációt mutatott ki. Ugyanakkor fellelhetők olyan példák is a szakirodalomban, amelyben bizonyos ugróvillás fajcsoportok ellenállnak a különböző degradációs folyamatoknak a talajparaméterek változása során (Bengtsson & Rundgren 1988). A talajlakó ugróvillásközösségek összetételében és dominancia-viszonyaiban változásokat indukálhatnak egyes tájidegen fajok a talajra hulló avar bomlásával is. Például a fenyőfélék gyantás túlevelének bomlása során savas vegyületek (pl. terpének, fenolos jellegű vegyületek) keletkeznek és szabadulnak fel, s emiatt a talajfauna lebontó tevékenysége is jóval kisebb hatékonyságú (Dunger & Voigtländer 2009).

A hansági vizsgálati területen a fafajcsere következtében jelentkező kedvezőtlen hatások mellett egyéb problémákkal is szembesülhetünk. A hansági láptalajok ugyanis a lecsapolások eredményeképpen jelentősen átalakultak (Heil et al. 2008). Az állandó vízborítás megszűnésével, a talajvíz csökkenésével a legtöbb ugróvillás számára életteret jelentő felszíni rétegek kiszáradhatnak. A szerves- és tápanyagokban gazdag kotus részeket a szél könnyen felkapja és messzire elhordja, így akár deflációs károk is felléphetnek (Stefanovits 1956; Bidló 2012). Különösen igaz ez a sorokban ültetett nyár ültetvényekre, amelyekben a szél erodáló hatása jobban érvényesülhet. A vizsgálati időszakban a Csíkos-éger állományok egy részén jellemző volt a vízborítás, viszont a korábbi évek során előfordultak extrém száraz időszakok. A lényegesen szárazabb talajviszonyú tölgyes-körises eltérő ugróvillás-fajkészlete is mutatja, hogy ezek a változások jelentős hatással lehetnek a talajlakó mezofaunára. Ezért a lápterületek kedvező ökológiai állapotának megóvása érdekében törekedni kell a korábban fennálló termőhelyi tényezők – különös tekintettel a hidrológiai viszonyok – biztosítására (Heil 2008).

Összességében elmondható, hogy az egykori mézgasz égeres állományok lecserélése akár idegenhonos, akár őshonos fafajú ültetvényekkel mérhető változásokat hozott egyrészt a talajparaméterek, másrészt a talaj biológiai minősége vonatkozásában. A jelentősen alacsonyabb QBS index, valamint a Collembola közösségek ökológiai karakterisztikáiban jelentkező szignifikáns csökkenés kétséget kizáróan jelzi a talajdegradáció jelenlétét és mértékét.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arbea J.I. & Jordana R. 1985: Efecto de una repoblación con coníferas en un robleal de Navarra sobre los colémbolos edáficos. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Entomologia Supl.* 1(2): 277–286.
- Babenko A.B., Chernova N.M., Potapov M.B. & Stebaeva M.B. 1994: Collembola of Russia and adjacent countries: Family Hypogastruridae. Nauka, Moscow.
- Balsay L. 1979: A "Kapuvári Égeresek" eltűnésének körülményeiről. *Az erdő* 28(10): 475–476.
- Balsay L. 1990: A Hanság nyárasításának története. *Erdészettörténeti Közlemények* 18: 99–100.
- Bellingier P.F., Christiansen K.A. & Janssens F. 1996–2025: Checklist of the Collembola of the World. Available from: [www.collembola.org](http://www.collembola.org) (accessed 04 November 2024)



- Bengtsson G. & Rundgren S. (1988) The Gusum case: a brass mill and the distribution of soil Collembola. *Canadian Journal of Zoology* 66: 1518–1526.
- Bidló A. 2012: Földtani, éghajlattani és talajtani viszonyok. In: Kárpáti L., Fally J. (eds.): Nationalpark Fertő-Hanság – Neusiedler See-Seewinkel Nemzeti Park: Monografikus tanulmányok a Fertő és a Hanság vidékéről Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 41–48.
- Blasi S., Menta C., Balducci L., Conti F.D., Petrini E. & Piovesan G. 2013: Soil microarthropod communities from mediterranean forest ecosystems in Central Italy under different disturbances. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 1637–1655.
- Brefeld G. 1999: Symphypleona. In: Dunger W. (ed.): Synopses on Palaearctic Collembola. Vol. 2. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 71(1): 1–318.
- Coleman D., Callahan M.A. & Crossley D.A. 1996: *Fundamentals of Soil Ecology*. London: Academic Press.
- Dányi L. & Traser Gy. 2008 An annotated checklist of the springtail fauna of Hungary (Hexapoda: Collembola). *Opuscula Zoologica* 38: 3–82.
- Deharveng L. 1982: Cle de détermination des genres de Neanurinae (Collembola) d'Europe et la région Méditerranéenne, avec description de deux nouveaux genres. *Trav. Lab. Ecobiol. Arthr. Edaph.* 3: 7–13.
- Dunger W. & Voigtänder K. 2009: Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil ecosystem development in post-mining sites of eastern Germany – a review. *Soil Organisms* 81(1): 1–51.
- Fjellberg A. 1980: Identification keys to Norwegian Collembola. *Norsk Entomol. Forening*, 1–152.
- Fjellberg A. 1998: The Collembola of Fennoscandia and Denmark. Part I.: Poduromorpha. *Fauna Entomologica Scandinavica* 35: 1–184.
- Galli L., Capurro M., Menta C. & Rellini I. 2014: Is the QBS-ar index a good tool to detect the soil quality in Mediterranean areas? A cork tree *Quercus suber* L. (Fagaceae) wood as a case of study. *Italian Journal of Zoology* 81(1): 126–135.
- Gama M.M., Vasconcelos T.M. & Sousa J.P. 1994: Collembola diversity in Portuguese autochthonous and allochthonous forests. *Acta Zoologica Fennica* 195: 44–46.
- Gardi C., Menta C. & Leoni A. 2008: Evaluation of environmental impact of agricultural management practices using soil microarthropods. *Fresenius Environmental Bulletin* 17: 1165–1169.
- Hågvar S. 1987: Why do collembolans and mites react to changes in soil acidity? *Entomologiske Meddelelser* 55(2–3): 115–119.
- Hammer Ř., Harper D.A.T. & Ryan P.D. 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1–9.
- Heil B., Kovács G., Bidló A. & Illés G. 2008: A dél-hansági láprekonstrukciót megalapozó termőhelyi vizsgálatok. *Talajvédelem Különszám, Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza*, 81–89.
- Jeffery S., Gardi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., Ritz K. et al. 2010: *European Atlas of Soil Biodiversity*. Luxembourg: European Commission, Publications Office of the European Union.
- Jordana R. 2012: Capbryinae, Entomobryini. In: Dunger W. & Burkhardt U. (eds.): Synopses on Palaearctic Collembola. Vol. 7/1. *Soil Organisms* 84: 1–390.
- Jordana R., Arbea J.I. & Carlos Simón M.J.L. 1997: Collembola, Poduromorpha. *Fauna Iberica*, Vol. 8. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. 1–807.
- Jordana R. & Arbea J.I. 1989: Clave de identificación de los géneros de Colémbolos de España (Insecta: Collembola). *Serie Zoológica* 19: 1–16.
- Klimetzek D. 1992: Schädlingsbelastung der Waldbäume in Mitteleuropa und Nordamerika. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 111: 61–69.
- Krebs C.J. 1978: *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 6th ed. Benjamin Cummings, San Francisco.
- Lindenmayer D.B., Hobbs R.J. & Salt D. 2003: Plantation forests and biodiversity conservation. *Australian Forestry* 66(1): 62–66.
- Mateos E. & Winkler D. 2018: New data clarifying the taxonomy of European members of the *Lepidocyrtus pallidus-serbicus* group (Collembola, Entomobryidae). *Zootaxa* 4429: 548–568.
- Mazzoncini M., Canali S., Giovannetti M., Castagnoli M., Tittarelli F., Antichi D. et al. 2010: Comparison of organic and conventional stockless arable systems: a multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Applied Soil Ecology* 44: 124–132.
- Menta C., Bonati B., Staffilani F. & Conti F.D. 2017: Agriculture management and soil fauna monitoring: the case of emilia-Romagna region (Italy). *Agricultural Research & Technology* 4(5): 1–3.
- Menta C., Conti F.D., Pinto S. 2018: Microarthropods biodiversity in natural, seminatural and cultivated soils – QBS-ar approach. *Applied Soil Ecology* 123: 740–743.
- Migliorini M., Pígoia G., Carusob T., Fanciullia P.P., Leonzio C. & Bernina F. 2004: Soil communities (Acari Oribatida; Hexapoda Collembola) in a clay pigeon shooting range. *Pedobiologia* 49: 1–13.
- MSZ 08-0206-2 1978: A talaj fizikai és vizgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.

- MSZ 20135 1999: A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása.
- MSZ 21470-52 1983: Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Talajok szervesanyag-tartalmának meghatározása.
- MSZ-08-0205 1978: A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.
- MSZ-EN-16169 2013: Iszap, kezelt biohulladék és talaj. A Kjeldahl-nitrogén meghatározása.
- Palkó Á., Ónodi G., Rédei T. & Winkler D. 2020: Talajfaunisztikai- és ökológiai vizsgálatok alföldi reliktum homoki tölgyesekben és a helyükön létesített idegenhonos faállományokban. Erdészettudományi Közlemények 10: 123–137.
- Parisi V. 2001: La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense" 37 (3/4): 105–114.
- Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C. & Mozzanica E. 2005: Microarthropod community as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. Agriculture, Ecosystems & Environment 105: 323–333.
- Pielou E.C. 1966: The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology 13: 131–144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Pinto C., Sousa J.P., Graça M.A. & Da Gama M.M. 1997: Forest soil Collembola. Do tree introductions make a difference? Pedobiologia 41: 207–214.
- Pomorski R.J. 1998: Onychiurinae of Poland (Collembola: Onychiuridae). Genus (Supplement), Polish Taxonomical Society, Wrocław, 1–201.
- Potapov M. 2001: Synopses on Palaearctic Collembola: Isotomidae. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 73(2): 1–603.
- Rényi A. 1961: On measure of entropy and information. In: Neyman, J. (ed.): Proceedings of the 4th Berkley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press, Berkley. 547–561.
- Rybak J. 2010: The assessment of biological diversity of spruce forest degradation area based on arthropod communities. Opera Concorctica 47: 239–245.
- Santorufó L., Van Gestel C.A.M., Rocco A. & Maisto G. 2012: Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. Environmental Pollution 161: 57–63.
- Shannon C.E. & Weaver W. 1949: The mathematical theory of communication. Urbana, Illinois, University Illinois Press.
- Sousa J.P. & Gama M.M. 1994: Rupture in a Collembola community structure from a *Quercus rotundifolia* Lam. forest due to reforestation with *Eucalyptus globulus* Labill. European Journal of Soil Biology 30(2): 71–78.
- Sousa J.P., Vingada J.V., Barrocas, H. & da Gama, M.M. 1997: Effects of introduced exotic tree species on Collembola communities: the importance of management techniques. Pedobiologia 41: 166–174.
- Stefanovits P. 1956: Magyarország talajai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Takács G. 2011: Tájéktalalkítás és a felszínborítás változásai a Hanságban a XVIII-XX. században. Tájökológiai Lapok 9: 13–42.
- ter Braak C.J.F. & Šmilauer P. 2002: CANOCO Reference Manual and Canodraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York.
- Thibaud J.M., Shulz H.J. & Da Gama M.M. 2004: Synopses on Palaearctic Collembola: Hypogastruridae. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 75(2): 1–603.
- Tóth Zs., Vasileiadis V.P. & Dombos M. 2025: An arthropod-based assessment of biological soil quality in winter wheat fields across Hungary. Agriculture, Ecosystems & Environment 378: 109325.
- Tóthmérész B. 1995: Comparison of different methods for diversity ordering. Journal of Vegetation Science 6(2): 283–290
- Traser Gy. 2002: The Collembola of the Fertő-Hanság National Park. In: Mahunka S. (ed.): The fauna of the Fertő-Hanság National Park. Hungarian Natural History Museum, Budapest. 259–270.
- Traser Gy. 2003: Hansági nemesnyár és éger erdők ugróvillás (Insecta: Collembola) faunája. Magyar Biológiai Társaság, Budapest. III. Kárpát-medencei Biológiai Szimpózium kiadványa. 153–157.
- Traser Gy. & Csóka Gy. 2001: A mezofauna – Insecta: Collembola – ásothalmi fenyő- és tölgyerdők talajában. Erdészeti Kutatások 90: 231–240.
- Traser Gy. & Christian E. 1992: *Lepidocyrtus peisonis* sp. n., ein neues Springschwanz aus dem Neusiedlersee-Gebiet (Collembola: Entomobryidae). Folia Entomologica Hungarica 52: 119–122.
- Traser Gy. & Horváth-Szováti E. 2004: Táj-hasznosítás hatása a talajfaunára: ugróvillás (Parainsecta: Collembola) közösség diverzitása Csévharasztón. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kecskemét, 51–62.
- Traser Gy. & Winkler D. 2012: Ugróvillások. In: Kárpáti L. & Fally J. (eds.): Nationalpark Fertő-Hanság – Neusiedler See-Seewinkel Nemzeti Park: Monografikus tanulmányok a Fertő és a Hanság vidékéről Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 143–148.
- Tullgren A. 1918: Ein sehr einfacher Ausleseapparat für terricole Tierformen. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 4(1): 149–150.
- Visioli G., Menta C., Gardi C. & Conti F.D. 2013: Metal toxicity and biodiversity in serpentine soils: application of bioassay tests and microarthropod index. Chemosphere 90: 1267–1273.



- Wahsha M., Bini C. & Nadimi-Goki M. 2014: The impact of olive mill wastewater on the physicochemical and biological properties of soils in Northwest Jordan. *International Journal of Environmental Quality* 15: 25–31.
- Wang C., Zhang W., Li X. & Wu J. 2022: A global meta-analysis of the impacts of tree plantations on biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 31: 576–587.
- Weiner W.M. 1996: Generic revision of Onychiurinae (Collembola: Onychiuridae) with a cladistic analysis. *Annales de la Société Entomologique de France* 32(2): 163–200.
- Winkler D., Bidló A., Bolodár-Varga B., Erdő Á. & Horváth A. 2018: Long-Term Ecological Effects of the Red Mud Disaster in Hungary: Regeneration of Red Mud Flooded Areas in a Contaminated Industrial Region. *Science of the Total Environment* 644: 1292–1303.
- Winkler D. & Tóth V. 2012: Effects of Afforestation with Pines on Collembola Diversity in the Limestone hills of Szárhalom (West Hungary). *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 8: 9–20.
- Zimdars B. & Dunger W. 1994: Tullbergiinae. In: Dunger W. (ed.): *Synopses on Palaearctic Collembola*. Vol.: I. *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz*, 68:3–4. 1–71.

*Érkezett: 2025.05.13.*

*Közlésre elfogadva: 2025.10.05.*