

TERMOFIL GOMBAKÖZÖSSÉGEK A VÁR-HEGY ERDŐREZERVÁTUM TALAJAIBAN ÉS AVARJÁBAN

KÓSA-KOVÁCS MÍRA¹, SEBŐK FLÓRA¹, SZOBOSZLAY SÁNDOR¹,
KRISZT BALÁZS¹, DOBOLYI CSABA²

¹Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet,
Környezetvédelmi és Környezetbiztonsági Tanszék
2100 Gödöllő, Péter K. u. 1., e-mail: sebok.flora@kti.szie.hu

²Szent István Egyetem, Környezetipari Regionális Egyetemi Tudásközpont
2100 Gödöllő, Péter K. u. 1.

Kulcsszavak: gombaközösségek, erdőrezervátum, termofil gombák, talajlakó gombák

Összefoglalás: Három erdőállomány talaját vizsgálva, mikrobiológiai tenyésztéssel, négy különböző gombatáptalaj alkalmazásával, 50°C-on való inkubálással kvantitatív tenyésztést végeztünk. Egy hegyvidéki gyertyános-tölgyes és egy középhegységi cseres-tölgyes állomány talajából 10^2 – 10^3 CFU/g termofil gombaelem jelenlétét mutattuk ki. A melegebb klímájú, cserszömöréc karsztbokorerdő lazább szerkezetű rendzínatalajában vizsgálataink szerint 10^3 – 10^4 CFU/g termofil gomba él. Leggyakoribb termofil fajoknak a *Rhizomucor pusillus*, a *Thermomyces lanuginosus* és a *Myceliophthora thermophila* bizonyultak. A termofil gombaközösségek mennyiségi viszonyai az erdőállományok talajában szezonális törvényszerűségek szerint alakultak. A fás- és a lágyszárú növények elszáradt és elhalt részeit szintén jelentős számú termofil gomba kolonizálta. Nedveskamrában inkubálva, dúsító tenyésztéssel 8 fás- és 6 lágyszárú növényfaj ágairól, illetve kórójáról 9 termofil gombafajt izoláltunk. A különböző gombacsoportokhoz tartozó fajok között leggyakoribb a *Rhizomucor miehei*, a *Chaetomium thermophilum* és a *Thermomyces lanuginosus* voltak. Valamennyi gombaizolátumból mikrobiológiailag tiszta tenyészetet is készítettünk, és reprezentánsaikat – későbbi vizsgálatok céljára – törzsgyűjteményben helyeztük el.

Bevezetés

Az erdőrezervátumok jelentősége

Az erdőrezervátumok olyan, jogszabályi oltalom alatt álló erdőterületek, amelyek kiterjedt erdőtömb belsejében helyezkednek el; kellően nagy területű és hosszú ideje bolygatlan őserdőszerű állományok. A erdőrezervátumokban a zavartalanul érvényesülő, természetes erdei folyamatok vizsgálata fontos szempont. Mivel a hazai rezervátumok szinte mindegyike korábban gazdasági erdő volt, szerkezetük és működésük jelentősen különbözik a közvetlen emberi behatásoktól mind ez ideig mentes őserdőkétől. Ebből következően arra is törekedni kell, hogy a kutatások során a Földön még megtalálható őserdőről megszerzett ismeretek is felhasználásra kerüljenek (HOCHBICHLER et al. 2000). A gazdasági erdőkben a természetes erdők strukturális és funkcionális elemei többnyire hiányosan találhatók meg. Az erdőrezervátumokban, elvben, a természetes önszabályozás által kialakított és fenntartott, struktúrájában és funkciójában teljes erdő vizsgálható és vizsgálendő is.

A Vár-hegy Erdőrezervátum az Északi-középhegységben, a Bükk délnyugati részén, Egertől 12 km-re található. A területet az Északi-Középhegység nagytáj Bükkvidék középtájának Tárkányi-medence kistájába sorolják. Az erdőrezervátum nyilvántartott területe 339 ha, melyet gazdaságilag kezelt és felhagyott erdők, mészkedvelő cseres-tölgyesek, zárt molyhos-tölgyesek és gyertyános-tölgyesek borítanak. A rezervátum magterülete

három különálló részre tagolódik, melyek a Csák-pilis hegytől a Vár-hegyig észak-észak-kelettől dél-délnyugati irányban terülnek el; teljes kiterjedésük 94,1 ha. Közöttük védőzóna található.

A Vár-hegy Erdőrezervátum ÉK-DNy irányban húzódó hegyvonulatának három, 600 m fölé magasodó csúcsa van. A legalacsonyabb pontja 315 m, a legmagasabb pedig 669 m. Oldalai gyakran 30–60° (átlagosan 20–30°) lejtőszögűek (MAGYAR 2002).

A Vár-hegyet és környékét a földtörténeti középkor legfontosabb üledékei, a különböző korú és kifejlődésű mészkövek alkotják. A fő tömegét triász-kori, ladini-emeleti sötétebb vagy világosabb szürke, tűzköves mészkő (helyenként dolomitbetelepülésekkel), valamint fehér mészkő, vörös kovapala- és tűzkőrétegekkel képezi.

A talajtípusok nagy változatosságot mutatnak. A legnagyobb részt ezek közül a váz-talajok (sziklás, köves váz-talajok), illetve a közethatású erdőtalajok (barna, fekete és vörösayagos rendzina, humuszkarbonát-talaj) teszik ki. Szintén jelentős részt képviselnek a lejtőhordalék talajok, illetve ezeknek bizonyos talajokkal alkotott átmenetei. Ezen kívül legkisebb, de még mindig jelentős arányban barna erdőtalajok (úgy mint barnaföld és agyagbemosódásos barna erdőtalaj) is előfordulnak. A lejtőhordalék-talajoknak ez a nagy területaránya részben a magterület jelentős reliefenergiájából adódó eróziós folyamatoknak, részben pedig a tájhasználatnak köszönhető. Ez utóbbi ad magyarázatot a hegygerincen található lejtőhordalék talajok atipikus elhelyezkedésére is, ugyanis ezek nem mások, mint az egykori tájhasználat következtében kialakult mesterséges képződmények maradványai.

A magterületen jellemzően négy különböző fizikai talajféleség – homokos vályog, vályog, agyagos vályog és agyag, valamint ezek egymással, illetve törmelékkel alkotott számos átmenete – fordul elő. A vályog és az agyagos vályog fizikai féleség, valamint a kettő átmenete dominál a rezervátum magterületén. A vályog és az agyagos vályog fizikai féleség kedvező a legtöbb növény számára, mivel a csapadékvizet viszonylag gyorsan befogadja, és a víz tartósabb tárolására is képes. Ebből kifolyólag a terület talajai többségének vízgazdálkodása kedvező, víztartó képessége jó, vízvezető képessége közepes.

A humuszvastagság értéke barna erdőtalajok esetében általában nem több 15–30 cm-nél, de – különösen mély lejtőhordalék-talajoknál, ahol a szerves anyag felhalmozódása, a kettős biológiai gátlás következményeként, nagyobb mértékű, mint annak mineralizációja – akár 60–120 cm közötti is lehet.

Az alapkőzetben is viszonylag nagy változatosság figyelhető meg, különösen a magterület középső részén. Ezzel együtt az is kitűnik, hogy a mészkő az egyértelműen domináns alapkőzet. Emellett még jelentős mértékben előfordul a lejtőhordalék, illetve az egyéb üledék és a különböző talajképző kőzetek kombinációja, valamint a magterület ÉK-K-i részén található mészmentes metamorf kőzet, amely savanyú talajok kialakulásához vezetett (JUHÁSZ 2006).

Gombák jelenléte és szerepe a talajban

A talajokból kimutatott gombafajok száma több ezerre tehető. Az ismert talajlakó gombák földrajzi elterjedéséről, biológiai aktivitásáról, ökológiájáról speciális kézikönyvek adnak áttekintést (JAKUCS és VAJNA 2003).

A talaj általában nem optimális élőhely a gombák többsége számára, mégis sok faj alkalmazkodott ehhez az élőhelyhez. Ásványi komponensei nem kedveznek a gombák

talajbani vegetatív növekedésének és a reprodukciónak. A gombák élettevékenységét a talajban képződött vagy a talajba juttatott, illetve került lebontható szerves anyag és a növények gyökérzete teszi lehetővé (CHRISTENSEN 1989).

A talajban élőhelyet találó gombák faji összetételét és aktuális tevékenységét a talaj, mint komplex rendszer fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságai (pl. szervesanyag-tartalom, pH, sótartalom, oxigénellátottság, víztartalom, antagonista mikroorganizmusok jelenléte) határozzák meg (KIDD et al. 2009). A tápanyagforrásoknak döntő szerepük van a rizoszféra gombái faji összetételének és mennyiségének alakulásában. Tápanyagforrásként szolgálnak a gyökerekből a talajba diffundáló szerves anyagok, pl. a vízdoldható cukrok, az aminosavak, a vitaminok, a hormonhatású vegyületek, a fungisztatikus anyagok, valamint az illékony szerves vegyületek. Jelentős tápanyagforrást képeznek a növények gyökerei, az azok folyamatosan növekvő csúcsairól leváló sejtek és a rövid életű (mindössze 1–2 napig élő) gyökérszörök (RITZ és YOUNG 2004, WAINWRIGHT 1992).

A talajlakó gombák többsége tartósan nyugvó állapotban (pl. oospóra, klamidospóra, szklerócium formájában) van. Ezt a nyugvó állapotot a talajban megnyilvánuló általános gátló hatás, valamint a tápanyagok korlátozott mennyisége okozza. E jelenség neve: fungisztázis (HSU és LOCKWOOD 1971). A rizoszférában megnyilvánuló hatások, főleg a tápanyagforrások megjelenése, ezt a gátlást feloldja, a nyugvó képletek, így például az oospórák, klamidospórák csíratömlőt fejlesztenek és megkezdik aktív tevékenységüket.

A termofil gombák a gombáknak elsősorban a minimális, optimális, valamint maximális növekedési hőmérsékleti tartománnyal jellemezhető fiziológiai csoportját alkotják. Utóbb említett hőmérsékleti tartományokban, különösen 50°C fölött a termofil gombák az egyetlen növekedni és szaporodni képes eukarióta élőlények. Következésképpen – egyéb szempontból kedvező élő és élettelen környezeti tényezők fennállása esetén – a niche kitöltésében kizárólagos szerepet játszanak (MOUCHACCA 1997). A magas hőmérsékleten növekedő gombák tudományos vizsgálata 1899-ig nyúlik vissza. TSIKLINSKY (1899) kerti talajból burgonyaszéletre hifomicétát tenyésztett ki 50°C-on. A gombát a későbbiekben kenyéren is tenyésztették 52–53°C-on, amely hőmérséklet termofil körülménynek minősül. TSIKLINSKY ezt a hifomicétát *Thermomyces lanuginosus*-nak nevezte el. Hasonló jelenség játszódott le a többi termofil gomba leírása során is az 1900-as évek első évtizedeiben. Ugyanennek a folyamatnak az eredménye a szakirodalomban megjelent, rendszertanilag nem kellően egyértelmű besorolása ezen csoport néhány tagjának (COONEY és EMERSON 1964). A termofil gombák növekvő gyakorlati jelentősége és a természetes ökoszisztémákban játszott szerepének felismerése, továbbá új izolálási technikák bevezetése azok taxonómiai ismeretének fejlődését is magával vonta (MOUCHACCA 2000; ANASTASI et al. 2005).

Anyag és módszer

Mintavétel

A Vár-hegy Erdőrezervátum három erdőállományában (hegyvidéki gyertyános-tölgyes, középhegységi cseres-tölgyes, cserszömörécés karsztbokorerdő) gyűjtöttünk talaj- és avarmintákat. A három időpontban (2009. októberében, 2010. áprilisában, 2010. júliusában) összesen 27 talajmintát vettünk az előírásnak (mintavételi helyenként 20–20 pont-

minta) megfelelően. Avarmintát ősszel (2009-ben), a vegetációs időszak végén 8 fás- és 6 lágyszárú növény elhalt maradványából összesen 48 helyről vettünk. A mintákat steril mintavételi edénybe tettük és a laboratóriumba aseptikus módon szállítottuk.

Tenyésztéses vizsgálatok

A hegyvidéki gyertyános-tölgyes, a középhegységi cseres-tölgyes és a cserszömörécés karsztbokorerdő begyűjtött talajmintáiból homogenizálás után 1,0–1,0 grammot kimértünk, és belőlük steril desztillált vízzel, erős mechanikai rázással, 10-szeres hígítású szuszpenziókat készítettünk. A talajaggregátumok további dezorganizálása céljából a tömény szuszpenziókat 5 perces ultrahangos kezeléssel finomítottuk. Az így kapott szuszpenziókból $10^2\times$, $10^3\times$, $10^4\times$ és $10^5\times$ hígításokat készítettünk, a hígítási lépcsőkből pedig 100–100 μl -t 5–5 ismétlésben tápagar-lemezekre szélesztettünk. A termofil gombák egymáshoz képest igen eltérő tápigényére való tekintettel a tenyésztésekhez háromféle (burgonyakivonat–glükóz-agar, malátakivonat-agar és a Martin-féle agar), egymástól nagymértékben eltérő összetételű mikológiai táptalajt alkalmaztunk. Cellulóz-bontó képesség tenyésztéses vizsgálatára alkalmaztuk továbbá a cellulózt egyedüli szénforrásként tartalmazó mikrokristályos cellulózagart. A beoltott táptalajokat 50°C -os termosztátban 3–5 napig inkubáltuk, naponta ellenőriztük, és három napos korban elkészítettük az első kioltásokat. Az izolátumok rendszertani azonosítása fenotípusos, elsősorban telep- és mikroszkopikus morfológiai tulajdonságok alapján történt. A termotestképzés képessége az ivari folyamatok meglétére vagy hiányára utaló alapvető morfológiai bélyeg (ALEXOPOULOS et al., 1996). Az ivari folyamat hiányakor az illető törzs mitospóráképzésének citomorfológiai módja (konidiumontogéniája), továbbá a mitospórák alakja, mérete, színe stb. volt a legfontosabb szempont a genus szintű határozásban (KIFFER és MORELET 2000). A 2000-ig leírt termofil gombafajok listáját MOUCHACCA (2000) adta közre.

Inkubáció nedveskamrában

A különböző növényfajok elhalt gally-, szár- és levélmaradványait a laboratóriumban steril, desztillált vízzel megnedvesítettük. Nedvesítés után a maradványokat nedveskamrában 50°C -on inkubáltuk. Az utóbbi szubsztrátumokon megjelenő gombatelep-növekedést naponta regisztráltuk, mikroszkopos és mikrobiológiai tenyésztéses módszerrel vizsgáltuk.

Ökofiziológiai tulajdonságok vizsgálata

A különböző biopolimerek hasznosításának képességét az illető vegyületnek, mint a táptalajba adagolt egyetlen szénforrásnak a jelenlétében való növekedés regisztrálásával vizsgáltuk. A cellulóz, a hemicellulózok (xilán, mannán) és a lignin hasznosításának vizsgálatokor a keletkezett gombabiomasszát, a zsírsavészter (Tween 80) bontásának meghatározásakor a felszabadult zsírsavat vettük figyelembe. A teszteléshez alkalmazott táptalajok összetétele a mikrokristályos cellulózagart alapjával volt azonos; szénforrásként azonban az adott biopolimert alkalmaztuk. A keratinbontás képességét natív keratinanyagon, gőzben sterilizált galambtollon való növekedés képességével teszteltük. A vizsgálata-

tokat minden fajnak a típustörzshöz fenotípusosan legjobban hasonlító reprezentánsával végeztük.

A különböző termofil gombatörzsek növekedésének hőmérsékleti igényét a telepek burgonyakivonat–glükóz-agarra való oltásával vizsgáltuk. A szuszpenzió formájú inokulummal végzett leoltást követően a különböző hőmérsékleten létrejött telepátmérőket 2 és 5 nap inkubációs idő után, 1°C-os intervallumonként regisztráltuk. Növekedési minimumként a legalacsonyabb, maximumként a legmagasabb, még növekedést biztosító hőmérsékletet adtuk meg. Optimumként a legnagyobb telepátmérőt eredményező hőmérsékletet regisztráltuk.

Eredmények és megvitatásuk

Termofil gombák mennyisége növénytársulások talajában

Az alkalmazott táptalajok hatékonysága, eltérő összetételükből adódóan, erdőállományonként különböző volt. Legtöbb telep mindhárom vizsgált erdőállományban a burgonyakivonat–glükóz-agar és a malátakivonat-agar táptalajokon nőtt ki: a hegyvidéki gyertyános-tölgyes talajából $2,2 \times 10^3$ és $2,9 \times 10^3$, a középhegységi cseres-tölgyes talajából $3,5 \times 10^3$ és $4,5 \times 10^3$, a cserszömörécés karsztbokorerdő talajából pedig $7,8 \times 10^3$ és $4,1 \times 10^3$ telepképző egység (CFU)/g volt a kapott érték. A különböző tápagarokon a kitenyészett fajok száma is eltérő volt, mindhárom talajból a legdiverzebb telepegyüttes burgonyakivonat–glükóz-agaron, a legkevesebb teleptípus pedig a Martin-féle agaron jelent meg. A mikrokristályoscellulóz-agaron lényegében csak a cellulózt bontani képes fajok telepei tudtak növekedni (1. ábra).

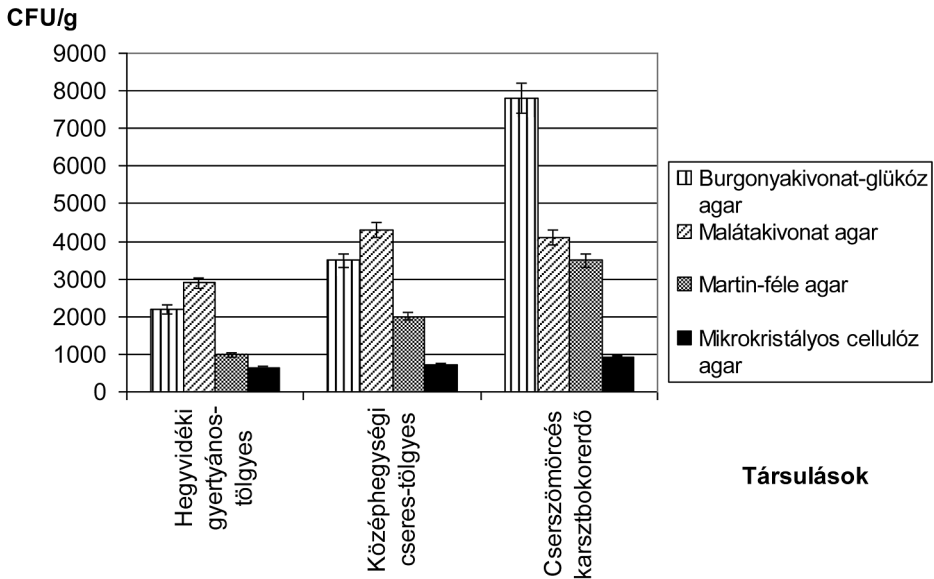
Eredményeink figyelemre méltóak, hiszen az erdőrezervátumok talaja viszonylag kevés antropogén hatásnak van kitéve. Következésképpen nagy a valószínűsége, hogy a szóban forgó talajok – bár igen minimális mennyiségben – tartalmazzák a termofil gombák kitartósejtjeit.

A cserszömörécés karsztbokorerdő talajában viszonylag nagy mennyiségű termofil gomba jelenlétét tapasztaltuk. A jelenség háttérben több tényező hatása valószínűsíthető. Egyrészt az állomány rendszertalaja szerves anyagban gazdagabb, mint a másik két vizsgált állományé, másrészt a fokozott oxigénigényű termofil gombák számára feltételezhetően előnyös, hogy a három közül a legkevésbé kötött talajról van szó. Harmadrészt az eredmény hozzájárul annak a tévhitnek a cáfolásához, mely szerint a fonalas gombák spóráképzése savanyú közegben nagyobb mértékű. (Meszes rendzínáról lévén szó, a többi talajgombákéhoz hasonlóan, a termofil gombák szaporítóképletei is nagyobb arányban termelődnek). Végül egy közvetlen bizonyíték nélküli, de óhatatlanul megszülető feltételezés: a cserszömörécés karsztbokorerdő eleve a melegebb klímájú, déli kitettséű oldalon alakult ki, így mikrobiótája is nagyobb arányban áll melegkedvelő fajokból.

Mindhárom erdőállomány talajában a termofil gombák mennyisége jól jellemezhető szezonális mintázatot mutatott (2. ábra). A tavasszal vett talajmintákból viszonylag kevés, $8,0 \times 10^1$ – $8,2 \times 10^2$ CFU/g termofil gombát tudtunk kitenyészteni. A júliusban vett mintákban, elsősorban a magasabb talajhőmérséklet következtében, mindhárom erdőállományban jelentősen több termofil gombaelem jelent meg, számuk grammonként a hegyvidéki gyertyános-tölgyesben $7,8 \times 10^2$, a középhegységi cseres-tölgyesben pedig $9,4 \times 10^2$ volt.

A termofil gombák kiugróan magas értékét ($9,5 \times 10^3$ CFU/g) találtuk viszont júliusban a déli kitétségű, erősen napsütötte cserszömörccés karsztbokorerdő talajában és az őszi mintavételkor a hegyvidéki gyertyános-tölgyes ($2,2 \times 10^3$ CFU/g), továbbá a középhegységi cseres-tölgyes ($3,5 \times 10^3$ CFU/g) állományokban. És, bár a cserszömörccés karsztbokorerdő talaja termofil gombáinak mennyisége ($7,8 \times 10^3$ CFU/g) ősszel jelentősen felülmúlta a másik két társulásban mért megfelelő értéket, a júliusi extrém csúcshoz képest mégis csökkenést jelentett.

1. ábra Termofil gombák telepszáma erdei ökoszisztémák talajából különböző mikológiai tápagarokon
Figure 1. Colony forming units of thermophilic fungi in the soils of forest ecosystems on different mycological media

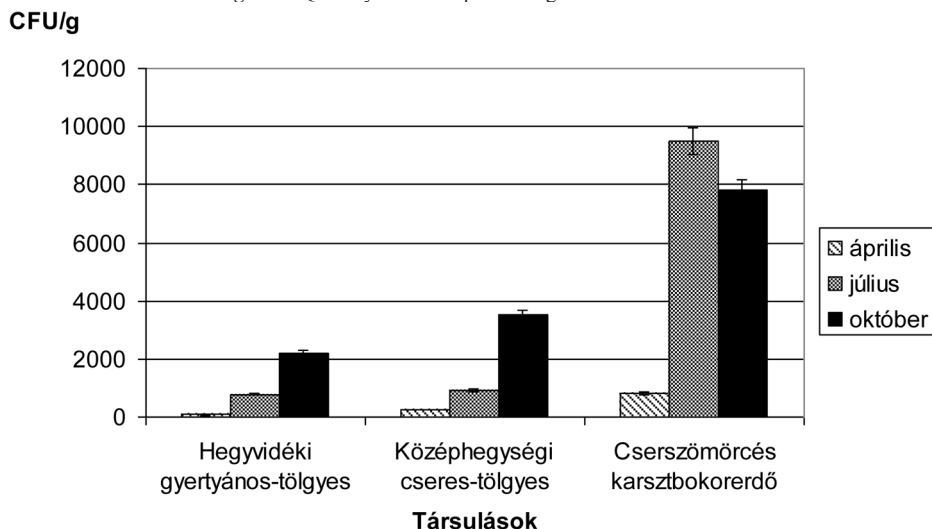


Az áprilisi mintákból kitenyészett telepek alacsony száma megbízható ökológiai következtetést ugyan nem tesz lehetővé, de – feltételezhetően az alacsony telepszámból adódóan – egy-két „hidegtűrő” faj megjelenését észlelhettük. Kiterjedt lombkoronaszinttel jellemezhető állományokban, így a hegyvidéki gyertyános-tölgyesben és a középhegységi cseres-tölgyesben az őszi minták tenyésztési maximuma a meleg késő nyáron keletkezett spórák, mint kitartóképletek tömegével magyarázható. A termofil gombáknak a cserszömörccés karsztbokorerdő talajából való kiugróan magas nyári maximumot mutató megjelenése feltételezhetően azzal függ össze, hogy záródó lombkoronaszint hiányában a talaj itt ebben az évszakban ténylegesen felforrósodik.

A Vár-hegy Erdőrezervátum három növénytársulását képviselő három erdőállomány talajából különböző évszakokban nyert, összesen 245 termofil gombaizolátum fenotípusos tulajdonságai alapján 7 izolátumtípust (7 fajt) képviselt (1. táblázat). Kettő ezek közül előfordult mindhárom társulásban, másik kettő két, a maradék három pedig csak egy-egy talajból volt izolálható.

2. ábra Termofil gombák mennyisége a különböző évszakokban

Figure 2. Quantity of thermophilic fungi in different seasons



Az erdőállományok talajából nyert 5–7 termofil gombafaj ökofiziológiai tulajdonságai alapján valamennyi termofil gombaközösség diverz fajegyüttesnek minősíthető. Ehhez vegyük hozzá azt a tényt, hogy a gombavilágnak 2 külön divízióját képviselték, továbbá azt, hogy a jelenleg összesen ismert mintegy 50 termofil gombafajnak körülbelül 20%-a a vizsgálataink helyszínéről, azaz viszonylag kis területről előkerült. Eredményeink által is igazolva látjuk azt az ökológiai tételt, hogy a rendelkezésre álló niche-t az élővilág legkülönbözőbb köreihez tartozó fajok viszonylag hamar betöltik.

1. táblázat Termofil gombafajok jelenléte a vár-hegyi erdőállományok talajában

(Mikológiai tenyésztéses vizsgálat; 2009. október, 2010. április, 2010. július)

Table 1. Presence of thermophilic fungi in soils of forest sites of Vár-hegy

(Microbiological culturing; October 2009, April 2010, July 2010)

Fajnév	Erdőállomány		
	Hegyvidéki gyertyános-tölgyes	Középhegységi cseres-tölgyes	Cserszömörccés karsztbokorerdő
<i>Acremonium thermophilum</i>	-	3	-
<i>Myceliophthora thermophila</i>	18	14	-
<i>Paecilomyces sp.</i>	-	-	37
<i>Rhizomucor pusillus</i>	7	13	10
<i>Scytalidium thermophilum</i>	-	2	6
<i>Talaromyces sp.</i>	19	-	-
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	23	31	62

Avarlakó termofil gombák

A Vár-hegy Erdőrezervátum cserszömörccés karsztbokorerdejének állományában ősszel gyűjtött 14 növényfaj lombavar- és szármaradványmintájából összesen 161 termofilgomba-izolátumot nyertünk, melyek fenotípusos tulajdonságaik alapján kilenc faj között oszlottak meg (2. táblázat) (3. ábra). A két leggyakoribb fajba, a *Thermomyces lanuginosus*-ba és a *Chaetomium thermophilum*-ba 47, illetve 42 izolátum tartozott.

Alapul véve azt a hipotézist, hogy a természetes ökoszisztémákban a szaprotróf gombák túlnyomó többségének a talaj a rezervoárja, meglepőnek kell tekintenünk, hogy vizsgálataink során az avarból több termofil gombafaj tenyésztett ki, mint a talajból. Az eredmény okát abban látjuk, hogy – bár a talaj valóban rezervoárja a termofil gombafajoknak is – mennyiségük ott a mikrobiológiai tenyésztés kimutathatósági határa (10^2 CFU/g) alatt lehetett. További okként szerepelhet az avar időnkénti felmelegedése is. A termofil gombák mennyiségére és a közösségek fajösszetételére vonatkozó eredményeink többségükben tenyésztési mikrobiológiai módszerrel születtek. Ezen fajok felfokozott anyagcseréjéből következően a szükséges tenyésztési idő nagymértékben lerövidül, ami a tenyésztési munka hatékonyságát növeli. A populációikban meglevő elégséges egyedszám, a kellően reprezentatív értékű fajszám, a termőhelynek megfelelő ökofiziológiai potenciál, párosulva az alkalmazható módszerek előnyeivel, valószínűsíti a feltételezésünket, mely szerint érdemes további bizonyítékokat szerezni arra vonatkozóan, hogy a természetes ökoszisztémák termofil gombaközösségei használható indikátorok lesznek az illető termőhely teljes szaprotróf mikótáját jellemző biodiverzitás megállapítása során.

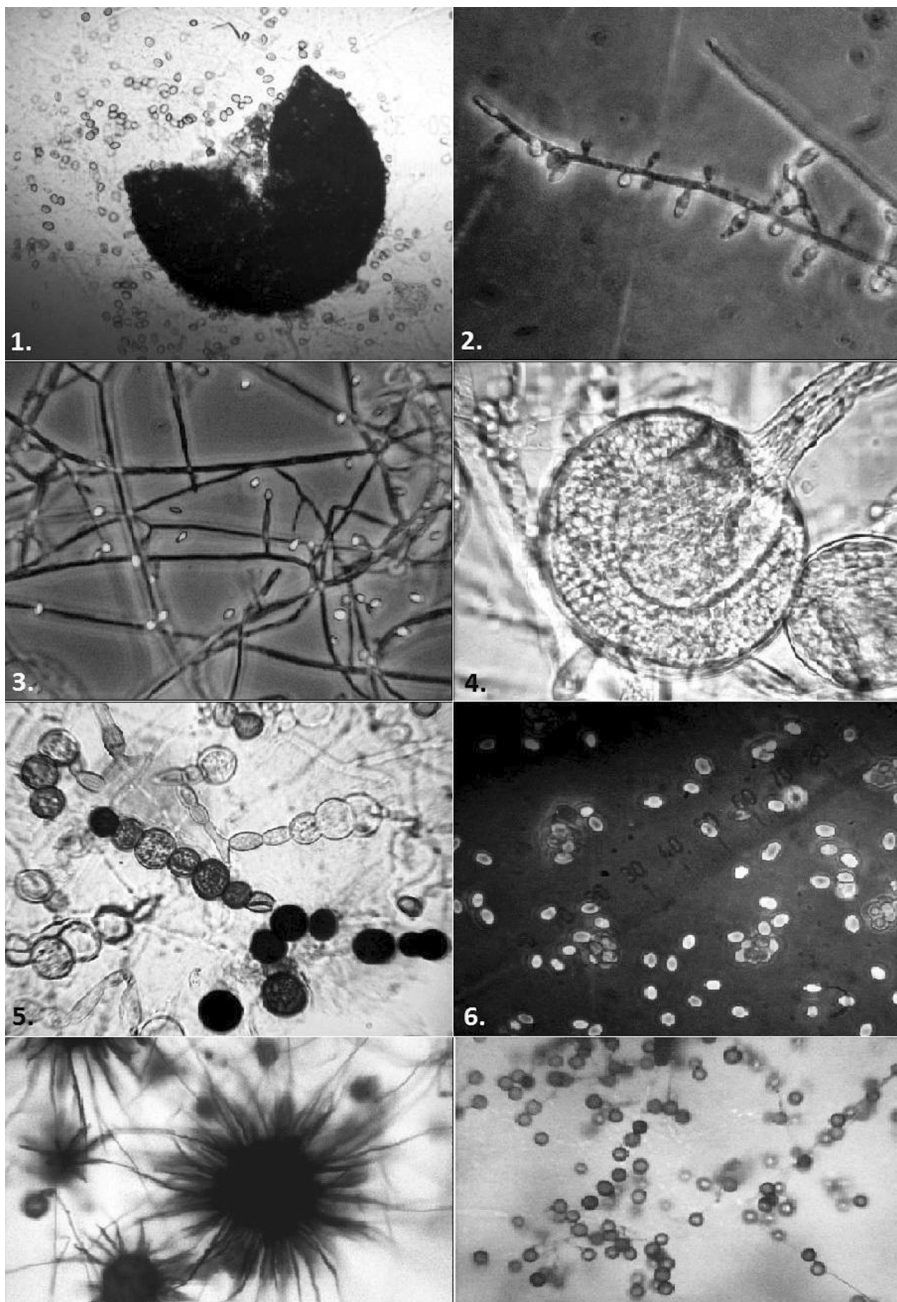
2. táblázat Avarról izolált termofil gombafajok előfordulási gyakorisága
Table 2. Incidence of thermophilic fungi isolated from litter

Faj	Izolátumok száma	Gyakoriság (%)
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	47	29,2
<i>Chaetomium thermophilum</i>	42	26,1
<i>Rhizomucor pusillus</i>	21	13,1
<i>Paecilomyces</i> sp.	17	10,6
<i>Rhizomucor miehei</i>	16	9,9
<i>Thermoascus aurantiacus</i>	10	6,2
<i>Malbranchea cinnamomea</i>	5	3,1
<i>Melanocarpus albomyces</i>	2	1,2
<i>Talaromyces</i> sp.	1	0,6

A termofil gombatörzsek ökofiziológiai tulajdonságai

Az erdőrezervátum talajaiból és az avarmintákból izolált termofil gombatörzsek ökofiziológiai tulajdonságai között a különböző irányú katabolikus aktivitásokat tartottuk legjelentősebbeknek. Többségük nagy aktivitással bontotta a legerjedtebb növényi vázanyag, a lignocellulóz komponenseit. A vizsgált törzsek többsége, a *Rhizomucor pusillus* kivételével, jól vagy igen jól növekedett a cellulózt egyedüli szénforrásként tartalmazó,

3. ábra Az izolált termofil gombák termőtestjei és konidiumképzése. 1. *Melanocarpus albomyces*, 2. *Myceliophthora thermophila*, 3. *Acremonium thermophilum*, 4. *Rhizomucor pusillus*, 5. *Scytalidium thermophilum*, 6. *Thermoascus aurantiacus*, 7. *Chaetomium thermophilum*, 8. *Thermomyces lanuginosus*
 Figure 3. Fruiting bodies and conidiophores of the isolated thermophilic fungi. 1. *Melanocarpus albomyces*, 2. *Myceliophthora thermophila*, 3. *Acremonium thermophilum*, 4. *Rhizomucor pusillus*, 5. *Scytalidium thermophilum*, 6. *Thermoascus aurantiacus*, 7. *Chaetomium thermophilum*, 8. *Thermomyces lanuginosus*



úgynevezett mikrokristályos-cellulóz agaron. Valamennyi vizsgált törzs, a cellulózhoz hasonlóan egyedüli szénforrásként hasznosította a hemicellulózoikat, azaz a xilánt és a mannánt is. A vizsgált törzsek többsége lignin bontására is képes volt, közülük a *Malbranchea cinnamomea*, a *Myceliophthora thermophila* és a *Talaromyces* sp. a lignint egyetlen szénforrásként tartalmazó tápagaron különösen erős ligninbontónak bizonyult. Tween-80 tartalmú tesztagaron tenyésztéssel vizsgálva valamennyi törzs zsírsavbontásra képesnek bizonyult. A *Rhizomucorok* mellett kiemelkedő volt ebből a szempontból a *Myceliophthora thermophila* és a *Thermomyces lanuginosus*. A Petri-csészés nedveskamrás tenyésztéssel, sterilizett galambtoll in situ bontásával tesztelt keratinbontó képességet 2 fajnál alacsonynak, az *Acremonium thermophilum* és a *Thermoascus aurantiacus* törzsek esetében közepesnek, a *Myceliophthora thermophila* esetében pedig erősnek regisztrálhattuk (3. táblázat).

A vizsgált 12 faj növekedési hőmérsékleti optimumai 46 és 51°C között voltak, növekedésük felső határa pedig 55 és 59°C közé esett.

A benomil nevű fungicidvegyület 100 ppm koncentrációja a táptalajban valamennyi törzs növekedését totálisan gátolta, vagyis a vizsgált fajok közül egy sem tartozhatott az erdei ökoszisztémákban egyébként uralkodó Basidiomycota divízióba.

A 12 termofil gombafaj ökofiziológiai tulajdonságai széles spektrumú szervesanyag-lebontó szerepet jeleznek. Ezt igazolja, hogy mind az Ascomycota divízió tagjai, mind a biológiailag hozzájuk tartozó konídiumos fajok a növényi vázanyag szénhidrátokat képviselő cellulózt, xilánt és mannánt könnyen és nagy sebességgel képesek voltak bontani. Bizonyos mértékig alacsonyabb arányú és mértékű, mindemellett széles körű ligninbontó képességet tapasztaltunk a vizsgált fajoknál. A biomassza-lebontás jelentős lépésének, az észterlipidok hidrolitikus bontásának – vizsgálati eredményeink tanúsága szerint – a termofil gombák feltétlenül főszereplői; természetesen magas hőmérsékletekkel jellemezhető niche-ekben, pl. a komposztálás termofil szakaszában válik ez uralkodó folyamattá. A szárazföldi gerincesek kultakarójául szolgáló vázfehérjét, a keratint, a mezofil lebontó szervezetek közül csak igen kevesek és azok is csak térben korlátozott módon képesek lebontani. Eredményeink, miszerint két termofil gombafajunk közepes mértékben, egy pedig erősen volt képes bontani a keratint, hozzájárulnak azon komposztálások kivitelezhetőségéhez, ahol a vágóhídi vagy a kommunális hulladékban keratin is nagy mennyiségben jelen van. Növekedési hőmérsékleti igényük következtében a különböző biotópokban csak kis arányban vannak ugyan jelen, viszonylag hosszan perzisztáló exoenzimjeik aktivitása azonban szerepüket még természetes ökoszisztémákban is növeli.

Tiszta tenyészeik rendkívül erős cellulóz-, hemicellulózs- és lipidbontó tulajdonságukból következően a hulladékgazdálkodásban egyre nagyobb teret nyerő komposztálás oltóanyagaként a jövőben várhatóan szerepet kapnak.

3. táblázat Erdőállományok talajából és avarról izolált termofil gombatörzsek ökofiziológiai jellemzői
 Table 3. Ecophysiological characteristics of fungal strains isolated from soils and litter of forest sites

Gombafaj (izolátumszám)	Katabolikus aktivitás (bontás)						Növekedési hőmérséklet (°C)			Benomil érzékenység
	1	2	3	4	5	6	min.	optimum	max.	
<i>Acremonium thermophilum</i> (T198)	+	+	+	-	++	++	25	46	58	+++
<i>Chaetomium thermophilum</i> (Tb082)	+++	++	++	++	+	-	27	50	58	+++
<i>Malbranchea cinnamomea</i> (Tb064)	+	+	+	+++	++	+	41	48	52	+++
<i>Melanocarpus albomyces</i> (Tm049)	++	++	++	+	+	-	26	49	57	+++
<i>Myceliophthora thermophila</i> (T123)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	26	50	56	++
<i>Paecilomyces</i> sp. (T147)	+++	+++	+++	++	++	-	25	47	56	+++
<i>Rhizomucor miehei</i> (Te021)	+	+	++	++	+++	-	20	48	55	+++
<i>Rhizomucor pusillus</i> (Tb102)	-	+	+	++	+++	-	27	51	57	+++
<i>Scytalidium thermophilum</i> (T126)	+++	+++	+++	+	+	-	39	51	57	+++
<i>Talaromyces</i> sp. (Te012)	+++	+++	+++	+++	++	-	27	47	58	+++
<i>Thermoascus aurantiacus</i> (Tb011)	+	++	++	++	++	++	22	51	55	+++
<i>Thermomyces lanuginosus</i> (Tb116)	++	+++	+++	+	+++	+	34	48	59	+++

1: cellulóz, 2: xilán, 3: mannán, 4: lignin, 5: zsírsav-észter, 6: keratin
 (+++: erős; ++: közepes; +: gyenge; -: nincs)

Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat a Jedlik Ányos Program 07-A2-130 számú, Biokomp4 azonosító jelű projekt támogatásával végeztük. Köszönjük Horváth Ferenc tudományos munkatársnak és Dr. Mázsa Katalin osztályvezetőnek az erdőrezervátumok ismeretéhez és a Vár-hegy Erdőrezervátumban végzett gyűjtőmunkánkhoz nyújtott segítségüket. Köszönjük továbbá Erdőcs Brigittának a kitűnő technikai segítséget.

Irodalom

- ALEXOPOULOS, C. J., MIMS, C. W., BLACKWELL, M. 1996: Introductory Mycology, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 632.
- ANASTASI, A., VARESE, G. C., MARCHISIO, V. F. 2005: Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost. *Mycologia*, 97: 33–44.
- CHRISTENSEN, M. 1989: A view of fungal ecology. *Mycologia*, 81: 1–19.
- COONEY, D. G., EMERSON, R. 1964: Thermophilic fungi: An account of their biology, activities and classification. W. H. Freeman, San Francisco, p. 188.
- HOCHBICHLER, E., O’SULLIVAN, A., VAN HEES, A., VANDEKERKHOVE, K. 2000: COST Action E4: Forest reserves research network. WG2 „Recommendations for data collection in forest reserves, with an emphasis on regeneration and stand structure” In: European Communities: *EUR 19550. COST Action E4. Forest reserves research network*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 135–181.
- HSU, T. S., LOCKWOOD, J. L. 1971: Responses of fungal hyphae to soil fungistasis. *Phytopathology*, 61: 1355–1362.
- JAKUCS E., VAJNA L. 2003: Mikológia, Agroinform Kiadó, Budapest, p. 477.
- JUHÁSZ P. 2006: Termőhely-térképezés a Várhegyi-erdőrezervátum területén. Diplomamunka NYME-EMK, Sopron, p. 74.
- KIDD, P., BARCELÓ, J., BERNAL, M. P., NAVARI-IZZO, F., POSCHENRIEDER, C., SHILEV, S., CLEMENTE, R., MONTERROSO C. 2009: Trace element behaviour at the root-soil interface: Implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany*, 67: 243–259.
- KIFFER, E., MORELET, M., 2000: The Deuteromycetes. Classification and generic keys. Science Publisher INC., Enfield, p. 273.
- MAGYAR ZS. 2002: Lombkorona-szerkezet légifelvételeken alapuló vizsgálata erdőrezervátumban. Diplomamunka. NYME-EMK, Sopron, p. 69.
- MOUCHACCA, J. 1997: Thermophilic fungi: biodiversity and taxonomic status. *Cryptogamie, Mycologie* 18: 19–69.
- MOUCHACCA, J. 2000: Thermophilic fungi and applied research: a synopsis of name changes and synonymies. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16: 881–888.
- RITZ, K., YOUNG, I. M. 2004: Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist*, 18: 52–59.
- TSIKLINSKY, P. 1899: Sur les mucédinées thermophiles. *Annales de l’Institut Pasteur, Paris*, 13: 500–505.
- WAINWRIGHT, M. 1992: The impact of fungi on environmental biogeochemistry. In Carroll, G. C., Wicklow, D. T. (1992) (eds.) *The fungal community: its organisation and role in the ecosystem*, Marcel Dekker, New York, 601–618.

TERMOPHILIC FUNGAL COMMUNITIES IN SOILS AND LITTER
OF FOREST RESERVATION OF VÁR-HEGY

M. KÓSA-KOVÁCS¹, F. SEBŐK¹, S. SZOBOSZLAY¹, B. KRISZT¹, C. DOBOLYI²

¹Szent István University, Institute of Environmental and Landscape Management,
Department of Environmental Protection and Safety
H-2100 Gödöllő, Páter K. u. 1., e-mail: sebok.flora@kti.szie.hu

²Regional University Centre of Excellence in Environmental Industry
Based on Natural Resources
H-2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

Keywords: fungal communities, forest reservation, thermophilic fungi, soil fungi

The soils of three forest sites were examined by quantitative microbiological culturing, with the use of four mycological media at 50°C. From the soil of the association *Quercetum petraeae-cerris* and *Carici pilosae-Carpinetum* we pointed out 10²-10³ CFU/g fungal elements. In the rendzina soil of *Cotinetum-querquetum pubescentis* requiring warmer climate, according to our investigations, 10³-10⁴ CFU/g thermophilic fungi live. *Rhizomucor pusillus*, *Thermomyces lanuginosus* and *Myceliophthora thermophila* occurred as the most common species. The populations of thermophilic fungi showed a definite seasonality in soils of the different forest sites. The residual parts of different herbaceous and arboreal plants were colonised by several thermophilic fungal species. Incubating them in wet chamber we obtained nine thermophilic species on the surface of twigs. The most common species belonging to different taxons were *Rhizomucor miehei*, *Chaetomium thermophilum* and *Thermomyces lanuginosus*. We made axenic cultures into a culture collection for further investigations.

