



SZENT ISTVÁN EGYETEM

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**BIOMASSZA EREDETŰ KOMPOSZTOK MIKOLÓGIAI
ELEMZÉSE**

SEBŐK FLÓRA

Gödöllő

2016

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Csákiné Dr. Michéli Erika
egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem,
Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar,
Környezettudományi Intézet

Témavezető: Dr. Dobolyi Csaba
ny. egyetemi docens, CSc
Szent István Egyetem,
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK

A mezőgazdasági és az ipari termelés, valamint a települések vegyes hulladékainak korszerű kezelésében a két legfontosabb szempont az energiaráfordítás minimalizálása és a szerves anyag visszapótlás biztosítása. Mivel a vegyes hulladékok viszonylag magas szerves anyag tartalma közvetlenül vagy közvetve biomassza eredetű, kezelésükre a komposztálós technológiai megoldások világszerte terjedőben vannak. A folyamat végterméke, a komposzt, amely magas humusztartalmából adódóan a mezőgazdasági és kertészeti termelésben talajkondicionálásra kiválóan alkalmas. Közvetve biomassza jellegű anyag számos élelmiszeripari, textilipari, gyógyszeripari hulladék, továbbá az állattartó telepeken keletkező friss trágyák, valamint a települési zöld hulladék is. Kezelésükre szintén az egyik leoptimalisabb és legelterjedtebb megoldás a komposztálás. Az Európai Unió a talajvédelemről szóló tematikus stratégiájával (COM (2006)231) kötelezi a tagállamokat – többek között – a szerves anyagok csökkenésének megállítására, előtérbe helyezve a fenti hulladékok komposztálós kezelését. Ennek hatására már 2011-ben az Unió országaiban a települési szilárd hulladék 15 %-át, kb. 35 millió tonnát komposztálták (EUROSTAT 2013)

A komposztálódás során végbemenő, kevés külső energia ráfordítását igénylő szervesanyag-lebomlási, illetve átalakulási folyamatok mikroorganizmusok tevékenységével kapcsolatosak. Tehát a technológiai feladatok kivitelezése céljából a különböző mikroorganizmus csoportok jelenlétének és szerepének ismerete elengedhetetlenül szükséges. Az exoterm lebontás koncentrátsága következtében a komposztálódó anyagtömeg hőmérséklete jelentősen megemelkedik, néhány nap alatt a 65-

70 °C-ot is eléri. Következésképpen, a lebontási folyamatok elsősorban termofil mikroorganizmusok, baktériumok és gombák nagyságrendileg azonos mértékű tevékenysége által mennek végbe. A higiénizációt is biztosító hőmérsékleti tartományban a sejtes élőlények közül már csak egyes baktériumok, elsősorban endospórák és aktinobaktériumok képesek szaporodni. Talán emiatt is állt elő az a helyzet, hogy a komposztálással kapcsolatos mikrobiológiai kutatási eredmények túlnyomó többsége bakteriológiai vonatkozású. A gombáknak a baktériumokétól eltérő sejtfelépítése, anyagcseréje, szaporodása és ökológiai tulajdonságaik indokolják, hogy a komposztálódás folyamatában és a komposztban való jelenlétükre, valamint közösségeik diverzitására vonatkozóan a jelenleginél több és alaposabb ismerettel rendelkezünk.

Doktori kutatási témámban a gombaközösségeknek a komposztálódásban való jelenlétével és diverzitásával kapcsolatos kérdéskör vizsgálatán belül az alábbi **célkitűzéseket** fogalmaztam meg:

- A termofil gombaközösségeknek a komposztálódás során bekövetkező mennyiségi vonatkozásainak és rendszertani diverzitásának vizsgálata. Ezen belül, hogy hogyan alakul a mezofil és a termofil gombák mennyiségének kinetikája, valamint hogy melyek a termofil mikrobióta ubikviter és domináns fajai.

- Tisztázni kívántam termofil gombák jelenlétét a komposztáló telepek levegőjében. A kérdés megválaszolásával hozzá kívántam járulni ezen gombák terjedésének és a komposztálás környezeti hatásainak ismeretéhez. A környezeti hatás témakörében vizsgálni kívántam még a komposztok és a termofil gombafajok szeszkviterpén kibocsátásának mértékét is.

- A komposztálódásban jelentős termofil gombaközösségek természetes rezervoárjának megismerése céljából előfordulásuk vizsgálatát természetes ökoszisztémákban. Utóbbira vonatkozó kritériumoknak megfelelni látszott az Eger-környéki Vár-hegy Erdőrezervátum területén 3,

különböző erdőállomány talaja, valamint az illető erdőállományokban az avarból vett, elhalt növényi maradványok.

- Termofil gombafajok toxikus nehézfémekkel szembeni érzékenységének megismerése. Jelentős szempont ugyanis, hogy a városi és a kistelepülési vegyes hulladékok esetleges nehézfém szennyeződése milyen mértékben zavarhatja a gombák lebontó tevékenységét a komposztálódás során.

- Céljaim között szerepelt továbbá törzsgyűjtemény létrehozása a munkám során nyert izolátumokból. Az utóbbi években fellendülő fiziológiai és taxonómiai kutatásukhoz kívánok ezzel hozzájárulni. Emellett, gyors anyagcseréjüknek és széles szubsztrátspektrumot érintő, életmódjukból adódóan hőstabil enzimrendszereiknek köszönhetően minden törzsük az újabb esélyek tárháza a mezőgazdasági, az ipari és a környezetvédelmi technológiák számára.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. *Mintavétel*

Két, egymástól eltérő összetételű (városi és kistelepülési) hulladékot kezelő komposztáló telepen 2011 októbere és 2012 júliusa közt gyűjtöttem komposzt- és levegőmintákat. A városi hulladék elsősorban háztartási, sok cellulózt tartalmazó szemétből, a kistelepülési hulladék a háztartási szemét mellett jellemzően nagy lignocellulóz tartalmú zöldhulladékból tevődött össze. A vizsgált komposztálótelepeken az intenzív szakaszokat követő rostálás eredményeképpen elsősorban humuszanyagokat tartalmazó porózus anyag keletkezett. A komposztokból 5-5 kg átlagmintát vettem, melyeket feldolgozásig (maximum 24 óráig) 4 °C-on tároltam.

A levegőmintákat háromszintes, Andersen-féle levegőminta-vevő készülékkel gyűjtöttem 1,5 m magasságban, a komposzttömeghez legközelebbi ponton. Az ismétlések három, egymást követő héten, szélcsendes napokon történtek, előzetes próbamérések alapján kalibrált átszívási idővel, 28,3 L/perc átszívási sebesség mellett. A levegőminta vételekhez Martin-féle tápagart (Martin 1950), valamint maláta-kivonat és mikrokristályos cellulóz agart használtam.

2009 októberében, 2010 áprilisában és júliusában összesen 27 talajmintát gyűjtöttem a Vár-hegy Erdőrezervátum három erdőállományában (hegyvidéki gyertyános-tölgyes, középhegységi cseres-tölgyes, cserszömörécés karsztbokorerdő). 2009 őszén – a vegetációs időszak végén – a 8 fás- és 6 lágyszárú növény elhalt maradványából pedig összesen 48 mintát vettem. A mintákat steril mintavételi edénybe helyeztem, a laboratóriumba aseptikus módon szállítottam és feldolgozásig (maximum 24 óráig) 4 °C-on tároltam.

2.2. Alkalmazott mikrobiológiai módszerek

2.2.1. Tenyésztési módszerek, körülmények, izolálás

A begyűjtött talaj- és komposztmintákból homogenizálás után 5,0-5,0 grammot mértem ki, és belőlük steril desztillált vízzel, erős mechanikai rázással, 10-szeres hígítású szuszpenziót készítettem. A talaj- és komposzttaggregátumok további dezorganizálása céljából a tömény szuszpenziókat 5 perces ultrahangos kezeléssel finomítottam. Az így kapott szuszpenziókból decimális hígítási sort készítettem, a hígítási lépcsőkből pedig 100-100 µl-t 3-3 ismétlésben tápagar-lemezekre szélesztettem. A termofil gombák egymáshoz képest igen eltérő tápigényére való tekintettel a tenyésztésekhez háromféle, egymástól nagymértékben eltérő összetételű mikológiai táptalajt (burgonyakivonat glükóz agart, malátakivonat agart és Martin-féle agart) alkalmaztam. A beoltott táptalajokat 50 °C-os termosztátban 3-5 napig inkubáltam, naponta ellenőriztem, és három napos korban elkészítettem az első kioltásokat.

A különböző növényfajok gally-, szár- és levélavariját a laboratóriumban steril desztillált vízzel megnedvesítettem, majd – a nedvesség megőrzése céljából – steril befőttesüvegbe zárva 50 °C-on inkubáltam. A szubsztrátumokon megjelenő gombatelepekből tiszta tenyészetet hoztam létre.

A komposztálótelepek levegőjével exponált táptalajokat szintén 50 °C-on 3-5 napig inkubáltam, naponta ellenőriztem és az újonnan kinőtt telepeket leizoláltam.

A tiszta tenyészeteket azonosítás és törzsgyűjteménybe helyezés céljából burgonyakivonat glükóz agarra, malátakivonat agarra, Sabouraud-glükóz agarra és szükség esetén mikrokristályos cellulóz tápagarra oltottam.

2.2.3. Törzsfenntartás

A Petri-csészén növő tiszta és spórázó gombatelepet steril üveg tárgylemezzel lekapartam, 20%-os glicerin oldattal belemostam egy Potter-Elvehjem típusú sejthomogenizálócsőbe, majd aszeptikus körülmények között elkészítettem a sejszuspenziót, melyből 1 ml-t fagyasztócsőbe pipettáztam és törzsfenntartás céljából -80°C -on tároltam.

2.2.4. A termofil gombák fajsztíű azonosítása

Az izolátumok rendszertani azonosítása morfológiai tulajdonságaik, valamint az ITS-régió szekvencia elemzése alapján történt.

Az izolátumok rendszertani azonosítása fenotípusos, elsősorban telep- és mikroszkopikus morfológiai tulajdonságok alapján történt. A termőtestképzés 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 (konídiumontogéniája), továbbá a mitospórák alakja, mérete, színe stb. volt a legfontosabb szempont a genus szintű határozásban (Kiffer és Morelet 2000). Az izolátumok fajsztíű meghatározását pedig Cooney és Emerson (1964), Apinis (1967), Millner és mtsai (1977), Oorschot (1977), Schipper (1978), Ellis (1981, 1982), Upadhyayet és mtsai (1984), Straatsma és Samson (1993), Chen és Chen (1996), Guarro és mtsai (1996) és Mouchacca (1997) munkája alapján végeztem.

A molekuláris azonosítást a riboszomális RNS-t kódoló gén (rDNS) ITS1 és ITS2 szakaszainak szekvenciája alapján végeztem az alábbiak szerint. A gombák DNS-ének kivonását MasterPure™ Yeast DNA Purification (Epicentre, USA) készlet segítségével végeztem, a gyártó utasításai szerint. Az ITS régió amplifikálásához polimeráz láncreakció technikát (Polymerase Chain Reaction, PCR) alkalmaztam, ITS1 és ITS4

indítószekvenciák (primerek) felhasználásával (White et al. 1990). A PCR-reakció során nyert PCR-terméket (amplikont) ellenőrzésként 1%-os agaróz gélben megfutattam, majd DNA, RNA and protein purification Kit (Macherey-Nagel, Németország) segítségével tisztítottam a gyártó útmutatásának megfelelően. A tisztított amplikon került végül a szekvenáló reakcióban felhasználásra. A szekvenáló reakciót a BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, USA) alkalmazásával hajtottam végre. A szekvenáló PCR reakció során képződött terméket etanolos kicsapással tisztítottam meg a felesleges alkotóktól. Az etanolos kicsapás után az amplikonok nukleotidsorrendjét, szekvenciáját ABI 3130 automata kapilláris szekvenáló berendezés segítségével lett határozva. A kapott szekvenciákat az NCBI (National Centre for Biotechnology Information) GenBank adatbázisban (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>) található BLAST program (Altschul et al. 1997) segítségével azonosítottam.

2.3. Diverzitási indexek meghatározása

A propagulum-együttesek biodiverzitását Shannon-Weaver indexszel (H) (Shannon és Weaver 1963), valamint Simpson-féle indexszel (D) (Simpson 1949) fejeztem ki.

A Shannon-Weaver indexet Shannon-féle entrópia-függvénynek is nevezik, mert a rendszer rendezettségét számszerűsíti. Képlete:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i,$$

ahol S a fajszám, p_i az i faj előfordulási valószínűsége, amit például a relatív gyakorisággal közelíthetünk. Értéke akkor maximális, ha minden faj egyforma egyedszámmal van jelen, természetes rendszerekben általában 1,5 és 4,5 közé esik (McDonald 2003). Az index érzékeny a domináns fajok

jelenlétére. A Shannon-Weaver index a leggyakrabban használt diverzitás-index.

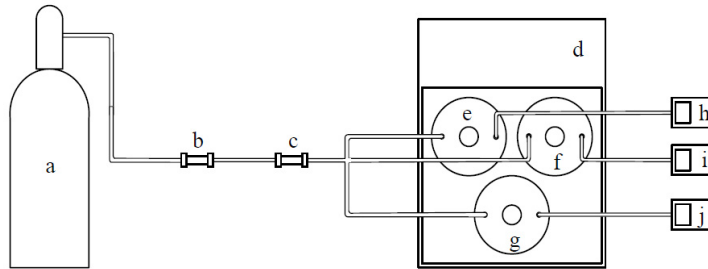
A Simpson-index azt a valószínűséget számszerűsíti, hogy két véletlenszerűen kiválasztott egyed két különböző fajba tartozik.

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)},$$

ahol S a fajszám, n_i az i faj tömegességét (abundanciáját) meghatározó érték (pl. egyedszám), N az egyedek száma. Az index értéke 0 és 1 közé esik, ez utóbbi érték jelenti a maximális diverzitást.

2.4. A szeszkviterpén kibocsátás meghatározása

A szeszkviterpén emisszió vizsgálatát Nilsson és mtsai (1996) által kidolgozott módszer alapján a Pannon Egyetem Mérnöki Kar Környezettudományi Intézetében működő Levegőkémiai Kutatócsoport munkatársai által kifejlesztett szilárd fázisú mikroextrakciós berendezéssel (SPME) végeztük el, melynek sematikus ábrája a 1. ábrán látható. A méréséhez a mintákat 9 cm átmérőjű hengerekbe helyeztük. A steril áramlási rendszerrel egyidejűleg három tenyészet, illetve komposztminta vizsgálata lehetséges. A gombatelepek anyagcseréjének széndioxid felhalmozódás általi gátlódásának elkerülése érdekében a hengerek gőzterét egy aktív szeszes szűrővel, valamint egy HEPA szűrővel tisztított levegővel öblítettük. A gőzteréből vett minták szemikvantitatív vizsgálatát gázkromatográfiás méréssel, szelektált ion-megfigyelési (*SIM*) üzemmódban végeztük. A kiértékelésnél csak azokat a vegyületeket vettük figyelembe, amelyeknél a szeszkviterpénekre jellemző 161-es és 204-es ionok együttesen fordultak elő.



1. ábra. A komposztminták és a gombatenyészetek szeszkviterpén-kibocsátásának mérésére szolgáló kísérleti rendszer vázlatja. **a:** sűrített levegőt tartalmazó palack, **b:** aktívszén szűrő, **c:** HEPA szűrő, **d:** termosztát, **e-f-g:** mintavételi edények, **h-i-j:** szén-dioxid mérés

2.5. Termofil gombák nehézfémekkel szembeni érzékenységének vizsgálata

A fonalas gombák táptalaj felületén való növekedését egyszerű lineáris összefüggéssel jellemezhetjük: egységnyi idő alatt egységnyi a telep átmérőjének növekedése. A termofil gombák valamennyi faja micéliumosan növekedik, ezért érzékenységük vizsgálatához módszerként telepeik úgynevezett mérgezett agaron való növekedésének mérését választottam. A vizsgálathoz *Rasamsonia emersonii* TK07, *Thermomyces lanuginosus* TK11, *Thermothelomyces thermophila* TK04 és *Mycothermus thermophilus* TK09 törzseket használtam. Sabouraud-glükóz táptalajon (SGA) mind a négy fajnak megfelelően pigmentált, kontúros és egzakt méretű telepe növekedett. Micéliumuk megfelelően szőtte be a tápközeget, mely által biztosak lehettünk benne, hogy a bekevert toxikus vegyület adekvát koncentrációjával a gombák hifája érintkezésbe került. A vizsgálatokat 3 párhuzamosban végeztem. A telepátmérőt vonalzóval, mm-es pontossággal naponta kétszer mértem, amíg a törzsek el nem érték a Petri csésze szélét (92 mm). A kapott átmérőkből területet számoltam. Ezután meghatároztam a vizsgált vegyületek

effektív koncentrációját (EC_{50}), mely a vizsgált gomba telepének területét 50%-kal csökkentette.

A kísérlet során a következő vegyületek hatását vizsgáltam: réz-nitrát ($Cu(NO_3)_2 \cdot 2,5H_2O$), kadmium-nitrát ($Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), nikkel-nitrát ($Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) és ólom-nitrát ($Pb(NO_3)_2$).

2.5. Statisztikai módszerek

A tenyésztési vizsgálatokat minden esetben három párhuzamosban végeztem. A kapott eredményeket átlagoltam, melyeket a számított szórásértékeket is feltüntetve diagrammon ábrázoltam. Az időrendi, illetve a különböző kezelések hatásainak vizsgálatához varianciaanalízist alkalmaztam a Microsoft Excel statisztikai makróinak használatával.

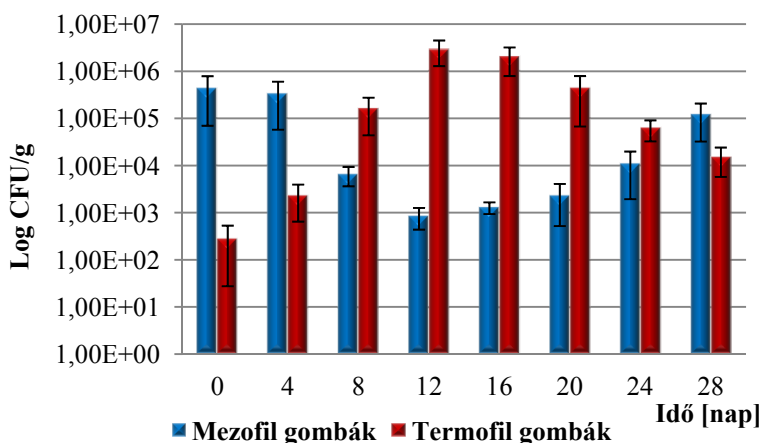
3. EREDMÉNYEK

3.1. Termofil gombaközösségek diverzitása

Kétféle település komposztálódó szilárd szerves hulladékában, komposztok által befolyásolt levegőben, valamint természetes, erdei ökoszisztémákban a termofil mikóta mennyiségi viszonyai és faji összetétele ökológiai törvényszerűségeket mutatott.

3.1.1. Diverzitás városi szilárd hulladékok komposztálódása során

A folyamat indulásakor a megfelelő méretűre aprított, városi eredetű, szilárd, szerves hulladékból készített, és 45-50 % nedvességtartalmúra beállított keverék $5,6 \times 10^5$ CFU/g mezofil, és csupán $2,8 \times 10^2$ CFU/g termofil gombaelemet tartalmazott. A 12. napra a mezofil mikóta $8,5 \times 10^2$ CFU/g-ra csökkent, a termofil mikóta viszont 10^6 nagyságrendűre emelkedett, és még a 16. napon is $2,0 \times 10^6$ CFU/g értéken állt (2. ábra). Ennek alapján fel kellett tételeznem, hogy a komposztálódás folyamatában a gombákon belül az utóbbiak szerepe a legjelentősebb. Tekintettel arra, hogy a termofil gombafajok egymástól távoli rendszertani csoportokba tartoznak, érdemesnek látszott a termofil mikobióta fajösszetételében és rendszertani diverzitásában a komposztálódás folyamán bekövetkező változásokat is vizsgálat tárgyává tennem.



2. ábra. Mezofil és termofil gombapropagulumok mennyisége városi szilárd hulladék komposztálódása során

A komposztálásra előkészített, városi eredetű, vegyes szerves anyag hulladékból 128 izolátumot nyertem, melyek 6 faj között oszlottak meg. Közöttük a *Thermomyces lanuginosus* és a *Rasamsonia emersonii* bizonyult dominánsnak, de még a legkisebb gyakoriságú *Chaetomium thermophilum*-ot is 8,6 % arányban találtam a keverékben. A hulladékokból vagy felületükről tenyészthető fajok fele egyenként 20 %-nál nagyobb arányban fordult elő, a további 3 faj gyakorisága is 8,6 % és 11,7 % között volt, a számítható Shannon diverzitás ebből kifolyólag viszonylag alacsony ($H=1,70$) lett, annak valószínűsége pedig, hogy az együttesből random módon vett bármely izolátum az előtte vettel azonos fajba tartozzon (Simpson-féle diverzitási index), 0,81 volt (1. táblázat).

1. táblázat. A termofil gombák közösségeinek diverzitása városi kevert szilárd hulladék komposztálódása során

Diverzitási formula	Komposztálódás időtartama (nap)			
	0. nap	8. nap	16. nap	28. nap
Shannon-diverzitási index (H)	1,70	1,52	2,10	2,21
Simpson-diverzitási index (D)	0,81	0,77	0,88	0,91
Fajok száma	6	5	9	11

A komposztálódás 8. napján a termofil mikóta növekedésének exponenciális szakaszában (10^5 CFU/g) a 139 izolátum mindössze 5 faj között oszlott meg. Az induláskor domináns 3 faj a komposztálás kezdeti szakaszában gyors szaporodást mutatott, közös arányuk (70,3 %) még nőtt is (78,5 %). Miközben tehát 3 faj extrém gyors felszaporodása által a termofil mikóta három nagyságrenddel nőtt, az induló együttes által képviselt alacsony diverzitás, ökológiai törvényszerűségek szerint, még szűkült is (H=1,52, D=0,77).

A 16. napon propagulum-mennyiségük 5-7 napig tartó maximumának ($2,0 \times 10^6$ CFU/g) végén a tanulmányozott 146 izolátum 9 faj között oszlott meg. Leggyakoribbnak ekkor is a széles katabolikus enzimrendszerekkel rendelkező *Thermomyces lanuginosus* (23,3 %) mutatkozott, bár, miközben tényleges mennyisége az előző, fajokra feldolgozott 8. napi mintavétel óta mintegy tízszeresére nőtt, a közösségen belüli relatív gyakorisága némileg csökkent. Lényegében hasonlóan alakult három másik fajnak (*Rasamsonia emersonii* és *Rhizomucor pusillus*, *Thermomyces thermophilus*) a mennyisége, illetve relatív gyakorisága is, közülük a *Thermomyces thermophilus* és a *Rasamsonia emersonii* erős lignocellulóz-bontó képességűek (Rosenberg 1978). Kisebb arányokban megjelent a komposztálódásnak ebben a szakaszában további 4 faj is, melyek a szakirodalmi adatok szerint elsősorban komposztlakók. A velük együtt már 9 fajból álló termofil mikobióta diverzitása (H=2,10, D=0,88) lényegesen

meghaladja mind az induláskori, mind az exponenciális növekedési szakaszban kialakult diverzitást.

A városi szilárd szerves hulladék komposztálódása során az utolsó mintát az intenzív technológiai folyamat végén, a 28. napon vettem A mennyiségileg $4,4 \times 10^4$ CFU/g-ra redukálódott termofil mikrobióta a reprezentatív 149 izolátum vizsgálata alapján 11 faj között oszlott meg, a *Thermomyces lanuginosus* (20,8 %) és a *Rasamsonia emersonii* (19,5 %) kiemelkedő abundanciájával. Mivel ez a két faj a komposztálás valamennyi fázisában nagy arányban volt jelen, és szakirodalmi források szerint (Rosenberg 1978, McHale és Coughlan 1981, Puchart et al. 1999, Singh et al. 2003, Waters et al. 2010) széles körben alkalmazott lebontó enzimmészlettel rendelkezik, valószínűsíthető, hogy szerepük a komposztálódásban is jelentős. A további, 5 és 12 % gyakorisággal jelenlévő 6 faj közül 4, a *Malbranchea cinnamomea*, a *Thermosthelomyces thermophila*, a *Rasamsonia composticola* és a *Mycothermus thermophilus* csak a komposztálódás átalakulási és érési szakaszában jelenik meg, azaz válik tenyésztéssel kimutathatóvá. Feltételezhető tehát, hogy szerepük a komposzt érésének is nélkülözhetetlen tényezője.

3.1.2. Diverzitás kistelepülési szilárd hulladékok komposztálódása során

A mezofil és a termofil mikóta kinetikája a kistelepülési hulladékok komposztálódása során – a technológiai eltérések ellenére – a megfelelő városi folyamatokéhoz számos hasonlóságot mutat. A mezofil mikótában az egy nagyságrenddel magasabb indulási érték után különösen hasonló változások történtek. Néhány mikrobiális ökológiai mutató vonatkozásában a kistelepülési hulladékok komposztálódásban azonban tapasztalható eltérés a városi hulladékok komposztálódásához képest. Az induló keverékből 7 termofil fajt sikerült kimutatni, közülük kiugró volt a *Thermomyces*

lanuginosus dominanciája, és ebben az anyagban jelen volt az *Acremonium alabamense* is. A kistelepülés szilárd hulladékának keverékében található termofil gombapropagulum együttes nagy valószínűséggel származik közvetlenül az általa kolonizált szubsztrátumokból, tehát az előbbieknél kisebb gyakoriságú *Acremonium thermophilum*-ot (6,6 %), *Chaetomium thermophilum*-ot (8,1 %), *Rhizomucor pusillus*-t (7,3 %) és *Thermoascus aurantiacus*-t (9,5 %) is ubikviter előfordulású termofil gombafajnak tekinthetjük. A nyesedéket és egyéb zöld hulladékot is tartalmazó kistelepülési hulladékokból származó, szintén ubikviter fajokból álló együttes diverzitása magasabb ($H=1,79$, $D=0,81$), mint a vele összevethető városi induló fajösszetételé.

A 12. napon, a termofil mikóta növekedésének logaritmikus szakaszában a 141 reprezentatív izolátum szintén mindössze 5 faj között oszlott meg. Közülük 3 már az induló keveréknek is domináns faja volt, széles spektrumú katabolikus enzimrendszereiknek köszönhetően populációik az addigra már magas hőmérséklettel jellemezhető niche komplexum betöltésében pionír szerepre tettek szert. A mindössze öt faj gyakoriságában egymáshoz képest számottevő különbség nem alakult ugyan ki, a mikrobióta számokkal kifejezhető diverzitása ($H=1,53$, $D=0,78$) még az induló keverékben tapasztaltnál képest is redukálódott.

A 18. napon a komposztálódásnak már a mezofil, 40-45 °C-ra hűlő szakaszában a termofil mikóta maximum értékénél ($4,0 \times 10^6$ CFU/g) az izolált 146 törzs 11 faj között oszlott meg. Leggyakoribbnak az ubikviter, és mindemellett pionír szerepet is játszó *Thermomyces lanuginosus*-t találtam (19,2 %), bár más fajok megjelenése, illetve előretörése következtében a mikrobiótán belüli aránya az exponenciális szakaszhoz képest kismértékben csökkent. A hasonló tápanyag igényű és ökológiai tulajdonságú *Rasamsonia emersonii* és *Thermomyces thermophilus* fajok jelenléte (15,8 és 13,7 %) ebben a szakaszban szintén stabilnak bizonyult. A niche komplexum

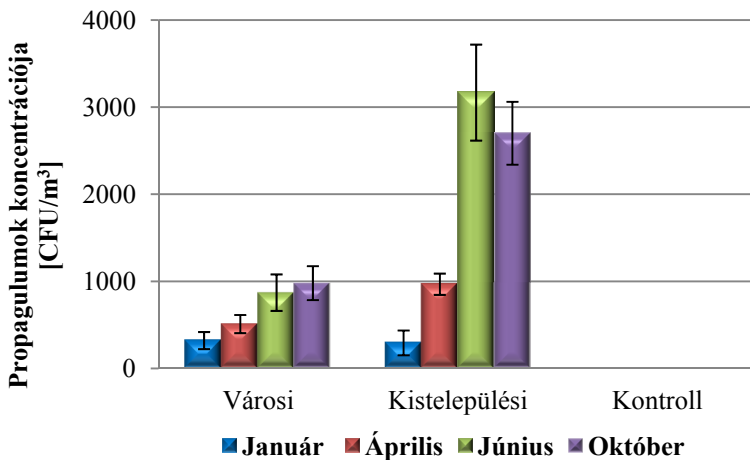
feltöltődését jelzi további 3 faj 10 % feletti gyakorisága. A termofil szakasz végén, a niche-komplexum feltöltődésének folyamán az előző szakaszhoz képest 5 faj populációsintjének a kimutathatósági küszöbérték fölé emelkedésével a termofil mikrobióta számokkal is kifejezhető diverzitása ($H=2,08$, $D=0,87$) jelentősen emelkedett.

A 42. napon a mennyiségi szempontból $3,9 \times 10^4$ CFU/g-ra csökkent termofil mikrobiótából származó 147 izolátum identifikálása 12 fajt eredményezett, közöttük ezúttal is a *Thermomyces lanuginosus* előfordulási arányát (26,5 %) találtam a legmagasabbnak. Az együttes domináns fajai voltak továbbá az ubikviter előfordulású *Rasamsonia emersonii* (13,6 %) és *Thermomyces thermophilus* (10,9 %), valamint az autochton komposztlakó *Thermothelomyces thermophila* (12,2 %) is. A homotalliás *Chaetomium thermophilum* (6,8 %) és a *Thermoascus aurantiacus* (14,1 %) viszonylag magas aránya arra enged következtetni, hogy a komposztban termőtestükkel vannak jelen.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNY (I. tézis, a 3.1.1. és 3.1.2. fejezetben bemutatott eredmények alapján): A komposztálódás egymást követő fázisaiból vett minták tenyésztéses vizsgálatával kimutattam, hogy a mezofil és a termofil gombaközösségek dinamikája a városi és a kistelepülési szilárd hulladékok komposztálódása során nagymértékű hasonlóságot mutat. A települési szilárd hulladékok komposztálódásának termofil mikrobiótája ökológiai törvényszerűségek alapján szerveződik. Maximumát, mind a városi, mind a kistelepülési szilárd hulladék esetében, 11-12 fajjal a termofil fázis végére éri el, rendszertani diverzitása az érési szakasz során némileg még emelkedik is.

3.1.3. Diverzitás levegőben

A városi kevert hulladékból készült komposzt felszínével érintkező levegőben januárban 320, áprilisban 510, júliusban 870, októberben 980 CFU/m³ termofil gombát tenyésztettem (3. ábra). Bár a növekedés a januártól októberig tartó időszakban egyértelmű volt, szembeötlő változás elsősorban az április-július időszakban történt. A kistelepülési eredetű hulladék-komposzt közelében a levegőből januárban 292, áprilisban 960, júliusban 3150, októberben 2700 CFU/m³ termofil gomba volt nyerhető. Ezen a helyen a téli, legalacsonyabb értékhez képest a tavasszal mért mennyiség valódi növekedésként értékelhető, a nyári maximum pedig már több, mint egy nagyságrenddel meghaladta a téli értéket.



3. ábra. Termofil gombapropagulumok légköri koncentrációja városi és kistelepülési szilárd hulladékokból készült komposztok környezetében.

Az emittálódó termofil gombapropagulumok horizontális terjedésének becslésére a városi hulladékokból készült, érett komposzt prizmáitól különböző távolságban vett levegőminták tenyésztéses vizsgálatát is elvégeztem. Az összes termofil gombaelem mennyisége a városi kevert hulladékból készített komposzt közvetlen közelében mért 980 CFU/m³

értékből 20 m távolságban annak mintegy 65%-a, 100 m távolságban mintegy 10%-a, 500 m távolságban pedig csak mintegy 2%-a volt kimutatható.

A városi komposzt halomnak a közelében a levegőminták propagulum-együttesének faji összetételét 81 reprezentatív izolátum meghatározásával tudtam feltárni. A kapott 9 faj között kiugróan magas arányban volt jelen a *Rasamsonia emersonii* (43,2 %) és meglepően gyakori volt még a *Thermoascus aurantiacus* (12,3 %) is, a többi 7 faj 10 %-nál alacsonyabb arányban fordult elő (2. táblázat).

2. táblázat. Termofil gombafajok relatív gyakorisága komposztokban és a környező levegőben (2011. október)

Faj	Relatív gyakoriság (%)			
	Városi komposztálótelep		Kistelepülési komposztálótelep	
	Komposzt	Levegő	Komposzt	Levegő
<i>Acremonium alabamense</i>	4	8	5	6
<i>Chaetomium thermophilum</i>	17	5	12	9
<i>Malbranchea cinnamomea</i>	13	2	11	0
<i>Melanocarpus albomyces</i>	0	0	5	0
<i>Mycothermus thermophilus</i>	15	0	16	0
<i>Rasamsonia emersonii</i>	28	35	19	40
<i>Rhizomucor pusillus</i>	15	7	12	9
<i>Thermoascus aurantiacus</i>	10	10	14	12
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	51	7	49	10
<i>Thermomyces thermophilus</i>	21	3	19	3
<i>Thermothelomyces thermophila</i>	16	4	23	3

A kistelepülési komposzt halomnak a közelében a levegőminták propagulum-együttesének faji összetételét 92 reprezentatív izolátum meghatározásával tudtam feltárni. A kapott 8 faj között – a városi komposztáló telephez hasonlóan – itt is kiugróan leggyakoribbnak a *Rasamsonia emersonii*-t (43,5 %) találtam, és a 10 % körüli gyakoriságú fajok (*Acremonium alabamense*, *Chaetomium thermophilum*, *Rhizomucor*

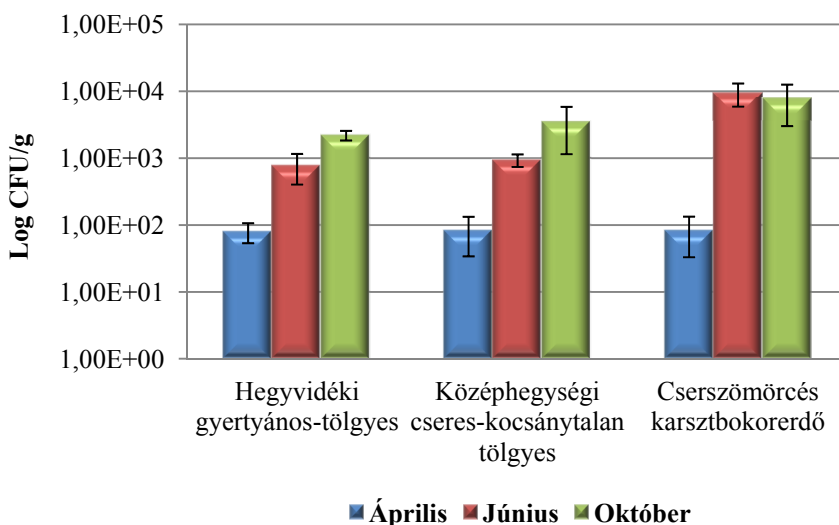
pusillus, *Thermoascus aurantiacus*, *Thermomyces lanuginosus*) is a másik helyszínen találtakkal azonosak voltak. Utóbbiak relatív gyakorisága – a *Thermomyces lanuginosus*-é kivételével – levegőben magasabb volt, mint az aktuális komposztban. Bizonyos fajok (*Malbranchea cinnamomea*, *Melanocarpus albomyces*, *Thermothelomyces thermophila*, *Mycothermus thermophilus*, *Thermomyces lanuginosus*, *Thermomyces thermophilus*) levegőben szignifikánsan kisebb arányban fordultak elő, mint az illető komposztban.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNY (II. tézis, a 3.1.3. fejezetben bemutatott eredmények alapján): Andersen-féle mintavevő alkalmazásával és a levegőminták tenyésztéses vizsgálatával kimutattam, hogy a tárolt komposzt környezetében a termofil gombák koncentrációja a levegőben, még a leghidegebb hónapban, januárban is 300 CFU/m³ és az év során ennek tízszeresét is elérheti. A levegő gombaszennyezettségének komposzt eredetét bizonyítja, hogy a komposzt halomtól való távolsággal jelentős mértékben csökken a levegő termofil gombatartalma. Kimutattam továbbá, hogy propagulumaik emittálódásának mértékében az egyes fajok között jelentős eltérés áll fenn, ami a komposztok termofil mikrobiótája és a környező levegő gomba együttesének fajösszetételében és diverzitásában eltérést eredményez.

3.1.4. Diverzitás talajban

A hegyvidéki gyertyános-tölgyes (*Carici pilosae-Carpinetum*) állomány talajában áprilisban $8,0 \times 10^1$ CFU/g, júliusban $7,8 \times 10^2$ CFU/g, októberben pedig már $2,2 \times 10^3$ CFU/g mennyiségben találtam termofil gombapropagulumot (4. ábra). Ebben a talajban a termofil mikóta

legnagyobb, októberi értékénél a mikrobióta fajösszetételét 67 reprezentatív izolátum vizsgálatával állapítottam meg. Négy fajt sikerült elkülöníteni, melyek közül még a „legritkább” *Rhizomucor pusillus* is 10,4 % arányban volt jelen. A termőtesteivel kitenyésző *Thermomyces thermophilus* (28,6 %) és a konídiumos szaporodású, és a legtöbb biotópban leggyakoribb *Thermomyces lanuginosus* (34,3 %) mellett a saját vizsgálataimban ubikviternek nem bizonyuló *Thermothelomyces thermophila* (26,7 %) is kitenyészett (3. táblázat).



4. ábra. Termofil gombák mennyisége erdei ökoszisztémák talajában. Várhegy Erdőrezervátum, 2011.

A középhegységi cseres-kocsánytalan tölgyes (*Quercetum petraeae-cerris*) állomány talajában áprilisban $8,1 \times 10^1$ CFU/g, júliusban $9,4 \times 10^2$ CFU/g, októberben pedig már $3,5 \times 10^3$ CFU/g mennyiségben találtam termofil gombapropagulumot. Az őszi talajminta termofil mikrobiótát – 63 izolátum meghatározása alapján – öt faj alkotta. Közülük három, a *Thermomyces lanuginosus* (49,2 %), a *Thermothelomyces thermophila* (22,2

%) és a *Rhizomucor pusillus* (20,6 %) mutatkozott gyakoribbnak, további kettő, az *Acremonium alabamense* és a *Mycothermus thermophilus* pedig csupán 2, illetve 3 izolátummal jelent meg (3. táblázat).

Az alacsonyabb növényzetű cserszömörcés karsztbokorerdő (*Cotino-Quercetum pubescentis*) talajából áprilisban $8,2 \times 10^1$ CFU/g, júliusban $9,5 \times 10^3$ CFU/g, októberben pedig $7,8 \times 10^3$ CFU/g mennyiségben sikerült termofil gombát kitenyésztennem (3. ábra). A karsztbokorerdő mikrobiótáját – a másik két erdőtípus megfelelő gomba együttesével való összehasonlíthatóság érdekében – szintén az ősszel nyert izolátumok alapján vizsgáltam. 115 reprezentatív izolátum identifikálásával a mikrobióta résztvevőjeként 4 fajt tudtam kimutatni, melyek közül a *Rasamsonia emersonii* (32,2 %) és a *Thermomyces lanuginosus* (53,9 %) tűntek dominánsnak (3. táblázat).

A három erdőtípus talaj-mikrobiótájának diverzitása a kvantitatív tenyésztéssel kapott fajok kicsi, és egymástól alig eltérő arányából következően viszonylag alacsony volt (4. táblázat).

Az erdőállományok avarjából, illetve annak felületéről a dúsító tenyésztésnek megfelelő nedves-kamrás eljárással összesen 6 fajt sikerült azonosítanom, melyek közül 3 csak ezzel a módszerrel volt kimutatható.

3. táblázat. Termofil gombafajok jelenléte (db) erdei ökoszisztémák talajaiban és avarjában. Vár-hegy Erdőrezervátum, 2011. október

Faj	Hegyvidéki gyertyános-tölgyes		Középhegységi cseres-kocsánytalan tölgyes		Cserszömörccés karsztbokorerdő	
	Talaj	Avar	Talaj	Avar	Talaj	Avar
<i>Acremonium alabamense</i>	0	0	3	0	0	0
<i>Chaetomium thermophilum</i>	0	0	0	15	0	27
<i>Melanocarpus albomyces</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Mycothermus thermophilus</i>	0	0	2	0	6	0
<i>Rasamsonia emersonii</i>	0	6	0	3	37	8
<i>Rhizomucor pusillus</i>	7	20	13	17	10	0
<i>Thermoascus aurantiacus</i>	0	4	0	0	0	6
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	23	6	31	19	62	22
<i>Thermomyces thermophilus</i>	19	0	0	0	0	0
<i>Thermothelomyces thermophila</i>	18	0	14	0	0	0

4. táblázat. Termofil gombaközösségek diverzitása erdei ökoszisztémák talajaiban. Vár-hegy erdőrezervátum, 2011. október

Diverzitási formula	Hegyvidéki gyertyános-tölgyes	Középhegységi cseres-kocsánytalan tölgyes	Cserszömörccés karsztbokorerdő
Shannon-diverzitási index (H)	1,31	1,26	1,06
Simpson-diverzitási index (D)	0,27	0,33	0,40
Fajok száma	4	5	5

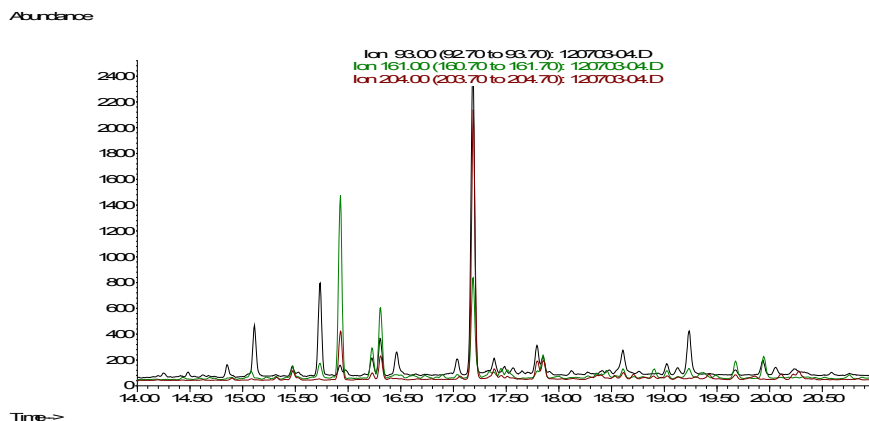
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNY (III. tétel, a 3.1.4. fejezetben bemutatott eredmények alapján): A Vár-hegy Erdőrezervátum 3 társulásának talajából és avarjából kitenyészthető termofil gombaközösségek mérete szezonális változást mutat. A gombaközösségek diverzitása – a vizsgált komposztokéhoz képest – közepes vagy alacsony szintű volt. A talajokban és az avarban összesen 10 termofil gombafaj jelenlétét igazoltam.

3.2. Termofil gombákból álló törzsgyűjtemény kialakítása

Összesen 87 termofil gombatörzset helyeztem törzsgyűjteménybe. A törzseket különböző eredetű komposztokból, komposztáló telepek levegőjéből, elhalt növényi maradványokról, illetve talajmintákból izoláltam. Fenotípusos tulajdonságaik és ITS szekvencia-elemzésük alapján 12 fajba tartoznak. A gyűjteményben az *Acremonium alabamense*-t 7, a *Chaetomium thermophilum*-ot 8, a *Malbranchea cinnamomea*-t 5, a *Melanocarpus albomyces*-t 3, a *Mycothermus thermophilus*-t 6, a *Rasamsonia composticola*-t 2, a *Rasamsonia emersonii*-t 10, a *Rhizomucor pusillus*-t 11, a *Thermoascus aurantiacus*-t 8, a *Thermomyces lanuginosus*-t 12, a *Thermomyces thermophilus*-t 7, a *Therموthelomyces thermophila*-t pedig 8 törzs képviseli.

3.3. Komposztok és termofil gombatörzsek szeszkviterpén emissziója

A vizsgálatban szereplő *Therموthelomyces thermophila* törzs 5 napos tenyészetéből óránként közel 1000 pg szeszkviterpén emisszióját detektáltuk, ahol nyolcféle molekula volt elkülöníthető. A többi faj törzse ennél kisebb, de jól mérhető mennyiségű szeszkviterpént termelt, és csupán a *Thermomyces lanuginosus* törzs szeszkviterpén termelését nem tudtuk bizonyítani. A retenciós idő alapján megállapítható, hogy bizonyos szeszkviterpének termelésére több faj is képes.



5. ábra. Szeszkviterpének jelenlétét bizonyító ionkromatogram. Mérési kép a *Thermothelomyces thermophila* Tb085 törzs 14-21 perc közötti tartományáról. (Pannon Egyetem, Levegőkémiai Kutatócsoport, 2012)

A két különböző eredetű komposztminta közül a városi kevert hulladékkomposztnál tapasztaltunk többféle (16) és nagyobb arányú (378,1 pg/h) szeszkviterpén kibocsátást, míg a kistelepülési kevert hulladékkomposztból a 14féle szeszkviterpénből csupán 55,8 pg emittálódott óránként.

A komposztokból emittálódott szeszkviterpének retenciós ideje néhány esetben megegyezett a vizsgált termofil gombák által kibocsátott szeszkviterpének retenciós idejével, így levonható a következtetés, hogy a komposztok szeszkviterpén emissziójának háttérében részben az ott élő termofil gombák állnak.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNY (IV. tézis, a 3.3. fejezetben bemutatott eredmények alapján): Települési vegyes szilárd hulladékokból készült komposztokból és a bennük előforduló 7 termofil gombafaj tenyészetéből szeszkviterpének emittálódását bizonyítottam. Bizonyos szeszkviterpének termelésére több faj is képes. A komposztminták általi szeszkviterpén kibocsátási arányok a különböző

talajtípusokra megállapított szeszkviterpén kibocsátási értékkel nagyságrendileg megegyeznek. A termofil gombák kevesebb számú szeszkviterpént bocsátanak ki, de azt hasonló mennyiségben, mint a talajlakó mezofil fajok.

3.4. Termofil gombák tűrőképessége nehézfémekkel szemben

A négy vizsgált gombafaj egy-egy törzsének telepnövekedési tűrőképessége a réz(II), a kadmium(II), a nikkel(II), és az ólom(II) ionokkal szemben fajoként eltért. A *Mycothermus thermophilus* TK09 törzs tűrőképessége az alkalmazott fémionokkal szemben a réz(II) ($EC_{50}=34,4$ ppm), ólom(II) ($EC_{50}=11,6$ ppm), nikkel(II) ($EC_{50}=10,4$ ppm), kadmium(II) ($EC_{50}=1,7$ ppm) sorrendben alakult. A *Rasamsonia emersonii* TK07-es, illetve a *Thermothelomyces thermophila* TK04-es törzs esetében a vizsgált fémekkel szembeni tűrőképességi sorrend megegyezett *Mycothermus thermophilus* esetében tapasztaltakkal, azonban a *Thermomyces lanuginosus* TK11-es törzs nikkel(II) ionnal szemben toleránsabbnak bizonyult, mint az ólom(II) ionnal szemben (5. táblázat).

5. táblázat. Termofil gomba törzsek nehézfémekre meghatározott EC_{50} értéke

Törzsek	EC_{50} (ppm)			
	Réz	Kadmium	Nikkel	Ólom
<i>Mycothermus thermophilum</i> TK09	34,4	1,7	10,4	11,6
<i>Rasamsonia emersonii</i> TK07	105,2	4,7	15,3	20,2
<i>Thermomyces lanuginosus</i> TK11	70,4	1,8	30,4	16,3
<i>Thermothelomyces thermophila</i> TK04	90,6	5,5	17,3	26,5

A vizsgált törzsek között a *Rasamsonia emersonii* TK 07-es és a *Thermothelomyces thermophila* TK04-es törzs bizonyult legtoleránsabbnak. EC_{50} értékük egy-két esetben meg is haladta a 36/2006. (V. 18.) FVM

rendeletben szereplő, a komposztok esetében a toxikus elemekre vonatkozó előírásokat (réz: 100 ppm, kadmium: 2 ppm, nikkel: 50 ppm, ólom: 100 ppm). A vizsgált törzsek között legérzékenyebbnek viszont a *Mycothermus thermophilus* TK09 bizonyult, melynek telepnövekedése, mint biológiai eszköz, alkalmasnak látszik arra, hogy segítségével nehézfémektől eredő toxicitást detektáljanak.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNY (V. tézis, a 3.4. fejezetben bemutatott eredmények alapján): Az egyes termofil gombafajok tűrőképessége a különböző toxikus nehézfémekkel szemben fajonként eltér. A vizsgált fajok között legtoleránsabbnak a *Rasamsonia emersonii* és a *Thermotheomyces thermophila* mutatkozott, melyek EC_{50} értéke kadmium esetében még meg is meghaladta a 36/2006. (V. 18.) FVM rendeletben szereplő, a komposztok toxikus elemeire vonatkozó előírást. A legérzékenyebb fajnak a *Mycothermus thermophilus* bizonyult, melynek a telepnövekedése, mint biológiai eszköz, alkalmasnak látszik arra, hogy segítségével nehézfémektől eredő toxicitást detektáljanak.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A biomassza eredetű, többségében városi vagy kistelepülési szilárd hulladék komposztálódásának, illetve a komposztoknak a mikológiai elemzéséből számos, tudományos szintű és gyakorlati jellegű következtetés vonható le.

A közvetlenül vagy áttételesen biomassza eredetű városi és kistelepülési vegyes szilárd hulladék viszonylag alacsony, de jól tenyészthető termofil gomba tartalma arra enged következtetni, hogy a csoport egyes tagjai ubikviter előfordulásúak.

A termofil mikótának a termofil fázisban, illetve annak végén létrejövő magas szintje és a mikrobióta viszonylag széles diverzitása arra enged következtetni, hogy a települési hulladékok szerves anyag tartalma az egyes termofil gombafajok számára kedvező tápanyag. Mivel többségében biomassza eredetű biopolimerekről van szó, következtethetjük, hogy ezek a fajok széles spektrumú és nagy aktivitású lignocellulóz-bontó enzimrendszerrel rendelkeznek. Az induló keverék minimálisnak számító termofil mikótája alapján azonban feltételezhető, hogy egyes fajok ott csak a kimuatahatósági küszöb alatti mennyiségben vannak jelen és később fel tudnak szaporodni. A diverzitás növekedésének az is oka lehet, hogy a komposztáló telepeken folyamatos üzem lévén, az új prizma az előző folyamat reziduális spóráival mintegy beoltódik. A termofil mikrobiótának az érési szakaszban az alacsony szintű mikótával is együttjáró széles diverzitása azt mutatja, hogy a fajok többsége rendelkezik valamely kitartó képlettel, melyek segítségével még az érett komposztban is túlélhet. A termofil gombák reziduális propagulumainak a rekolonizációban játszott szerepére következtethetünk a prizmák érési szakaszában talált magas fajszámból, illetve diverzitásból is. Javaslom tehát, hogy biomassza komponenseket tartalmazó hulladékok komposztálásakor termofil gombák oltóanyagként

való alkalmazását tekintjük szükségtelennek, és a technológia során csupán a szaporodásukhoz szükséges feltételeket biztosítsuk. Utóbbi javaslatom a bioremediációban alkalmazott komposztálási eljárásokra természetesen nem vonatkozik.

A különböző termofil gombafajok szeszkviterpént termelő képessége erősíti azt a szakirodalmi feltételezést (Kramer és Abraham 2012), hogy a gombák nagy rendszertani csoportjainál a szeszkviterpének egyaránt képződő másodlagos anyagcseretermékek. A komposztokból történő nettó szeszkviterpén emittálódás pedig bizonyíték arra, hogy az ott termelődő szeszkviterpén molekulák teljes mennyiségét a szilárd kolloidok nem adszorbeálják.

Mivel az utóérési szakaszban a termofil gombaelemek mennyisége a komposztban már csökken, és mivel ez a biológiai folyamat évszakonként alig változik, a termofil gombák levegő-koncentrációjának az év során tapasztalt növekedése háttérben (szélcsendes időben) inkább a felső rétegekben az inszoláció által is befolyásolt konvekció, mint a gomba-propagulumokat aktívan levegőbe juttató mechanizmus állhat.

A komposzthalmok közvetlen környezetében a termofil gombaspóra-együttesek mennyiségi viszonyait és diverzitási törvényszerűségeit becslési szinten tehát jó közelítéssel meg lehet állapítani, hiszen azokat döntően két összetevő, az emittálódás és a kiülepedés határozza meg. További és részletesebb következtetések levonásához azonban figyelembe kell venni, hogy mind az emittálódást, mind a kiülepedést számos további tényező befolyásolja.

Termofil gombák közösségeinek a talajokban való, egy-egy időszakban 10^3 CFU/g nagyságrendű jelenléte önmagában csak arra képez bizonyítékot, hogy telepképzésre alkalmas propagulumok ott aktuálisan jelen vannak. A termofil talajmikóta méretének szezonális változása viszont már arra is következtetni enged, hogy micéliumaik a talaj felső rétegeiben, az inszoláció

hatására felmelegedő szubsztrátumokon még növekedni is képesek. Néhány termofil gombafajnak a különböző erdőállományok talajában való együttes előfordulása támogatja azt a szakirodalomban széles körben elterjedt nézetet, hogy a szaprotróf gombáknak ez a növekedési hőmérsékleti igény alapján definiált, fiziológiai csoportja földrajzilag kozmopolita elterjedésű, és a csoport néhány faja természetes előfordulású (Cooney és Emerson 1964, Johri et al. 1999, Salar és Aneja 2007). Egymáshoz viszonyított arányuk pedig a rendelkezésükre álló niche-komplexumok betöltöttségét feltételezi.

A dolgozatban bemutatott valamennyi termofil mikrobiótára érvényes az az általános következtetés, hogy a diverzitások számításának nagyobb megbízhatósága, vagy egy-egy ritkább faj jelenlétének pontosítása érdekében javasolható a merítés szélességének, azaz a reprezentatív izolátumok számának növelése, akár a vizsgálatok mennyiségének növelése árán is.

A mikotaxonómiában egyre erősödő törekvés az „egy gomba = egy név” elv érvényesítése. Bár a szabályozások változásainak hatására az utóbbi években számos termofil gombát is tartalmazó nemzetséget felülvizsgáltak és rendszertanilag rendbe raktak, még mindig található az alig 50 fajt magába foglaló ökofiziológiai csoportban olyan fajok, melyek rendszertani hovatartozása nem egyértelmű. A termofil gombafajok nagy ökológiai és technológiai jelentősége miatt szükségesnek látom a természetes ökoszisztémák környezeti elemeiből származó törzsek releváns genomszintű és fenotípusos tulajdonságainak vizsgálatát. A “hagyományosnak” tekinthető ITS-szekvenciák ismeretét pótlólag valamennyi ismert fajra kiterjeszteném, valamint fontosnak tartom – különösen a természetes ökoszisztémákból izolált törzsek esetében – jelentősebb enzimológiai, proteomikai, eljárással nyerhető tulajdonságaiknak a különböző nemzetközi adatbázisokba való feltöltését.

A termofil gombáknak a toxikus nehézfém ionokkal szembeni tűrőképességét mérgezett tápagaros módszerrel vizsgáltam, és valamennyi

esetben a *Mycothermus thermophilus* bizonyult a legérzékenyebb fajnak. Mivel EC_{50} értéke mind a földtani közegre, mind pedig a felszín alatti vizekre előírt B határértéknek jelentősen alatta van, a *Mycothermus thermophilus* telepnövekedése, mint biológiai eszköz, alkalmasnak látszik arra, hogy segítségével nehézfém tartalmú szennyeződést detektáljanak.

6. A ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Tudományos folyóiratokban megjelent, lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény:

Sebők, F., Dobolyi, C., Bobvos, J., Szoboszlay, S., Kriszt, B., Magyar D. (2016): Thermophilic fungi in air samples in surroundings of compost piles of municipal, agricultural and horticultural origin. *Aerobiologia* 32:255–263. **IF: 1,452**

Sebők F., Dobolyi Cs., Magyar D., Bobvos J., Szoboszlay S., Kriszt B. (2013): Komposztálótelepek levegőjének termofil gomba tartalma. *Egészségtudomány* 57: 37–54.

Kósa-Kovács M., **Sebők F.**, Szoboszlay S., Kriszt B., Dobolyi Cs. (2012): Termofil gombaközösségek a Vár-hegy erdőrezervátum talajaiban és avarjában. *Tájökológiai Lapok* 10(1): 163-175.

Horváth, E., Hoffer, A., **Sebők, F.**, Dobolyi, C., Szoboszlay, S., Kriszt, B., Gelencsér, A. (2012): Experimental evidence for direct sesquiterpene emission from soils. *Journal of Geophysical Research* 117: D15304. **IF: 3,174.**

Horváth, E., Hoffer, A., **Sebők, F.**, Dobolyi, C., Szoboszlay, S., Kriszt, B., Gelencsér, A. (2011): Microscopic fungi as significant sesquiterpene emission sources. *Journal of Geophysical Research* 116: D16301. **IF: 3,021.**

Sebők, F., Cs. Dobolyi, M. Farkas, B. Kriszt (2010): Succession of fungal populations in composting mixtures containing biogas slurry. *Növénytermelés* 59 (Suppl.): 497-500.

Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemény (az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan):

Sebők, F., György Kérész, Csaba Dobolyi, Sándor Szoboszlay, Balázs Kriszt (2015): Sensitivity of members of thermophilic compost mycobiota to toxic compounds. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 62 (Suppl.): 94-95.

Sebők, F., A. Hoffer, C. Dobolyi, S. Szoboszlay, B. Kriszt, A. Gelencsér (2013): Sesquiterpene emission of thermophilic fungi and different compost products. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 60(Suppl.): 78

Sebők F., Dobolyi Cs., Kósa-Kovács M., Szoboszlay S., Kriszt B. (2012): Gombaközösségek magas hőmérsékletű természetes biotópokban. 9. Magyar Ökológus Kongresszus, Programfüzet, Előadások és poszterek összefoglalói, p. 92.

Horváth, E., **F. Sebők,** A. Hoffer, Cs. Dobolyi, S. Szoboszlay, B. Kriszt, A. Gelencsér (2011): Sesquiterpene emission of fungi based on pure culture experiments. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 58 (Suppl.): 158.