

# Műtárgyakat károsító penészgombák és negatív hatásai

Mara Gyöngyvér – Mara Zsuzsanna

## 1. A műtárgyak mikrobiális degradációja

A penészgombák szerves anyag lebontásából nyerik az életfolyamataikhoz szükséges energiát. Ezért hidrolitikus enzimeket választanak ki a gombafonalak (hifák) végén, amelyek képesek komplex biopolimér vegyületek (keményítő, cellulóz, lignin, fehérje) lebontására. A penészgombák tehát jelentős degradációt okozhatnak szervesanyag tartalmú műtárgyakon. A gombásodás által érintett műtárgyak cellulózt (könyvek, textíliák, festmények, bútorok, faszobrok) vagy fehérjét (pergamen, bőr, múmiák) tartalmaznak<sup>1</sup>. Dolgozatunkban a műtárgyak gombák okozta károsodásaira, valamint ezek vizsgálati módszereire térünk ki.

## 2. A mikroorganizmusoknak szükséges feltételek

A gombák és egyes baktériumok spórái nagyon sokáig megbújhatnak az anyagban, akár évekig is mindaddig, amíg a környezet légnedvessége nem megfelelő a spórák életre keléséhez. A papírban például 8–10% nedvességtartalom mellett már elképzelhető bizonyos spórák csírázása, de a legtöbb gombának legalább 70%, a baktériumoknak pedig még ennél is magasabb relatív légnedvességre van szükségük élettevékenységük kifejtéséhez (1. táblázat). A baktériumok és gombák számára az optimális hőmérséklet 20–30°C között van, de előfordulnak ennél alacsonyabb hőmérsékletnél fejlődő fajok is.

1. táblázat. A penészgombák számára szükséges feltételek (Valentin, 2003 nyomán)

Tényező	Értékek
Víz mennyiség	Víz aktivitás: 0,6–0,98
Hőmérséklet	+5–120°C
pH	0–13
Nyomás	1000 bar
Sókoncentráció	Ultra tiszta-telített sóoldatig
Tápanyag mennyisége	10 µg/l-től

A por, a sötét, meleg és nedves környezet, a rendszeres légcseré hiánya, a műtárgyon előforduló, szerves biopolimérek (például a keményítő és más poliszacharidok,

kollagén és egyéb fehérjék) jelenléte általában kedvez a mikroorganizmusok megtelepedésének.<sup>2</sup>

## 3. Degradációt okozó gombák és az általuk okozott károk

A gombák országa rendszertanilag igen változatos, a törzseket ivari szaporítóképleteik alapján írják le. A degradációt okozó gombák (2. táblázat), mint pl. a könnyező házigomba (*Serpula lacrymans*) rendszertanilag a tömlősgombák törzséhez tartozik. A műtárgyak károsodását okozó penészgomba fajok több génuszt is képviselnek,

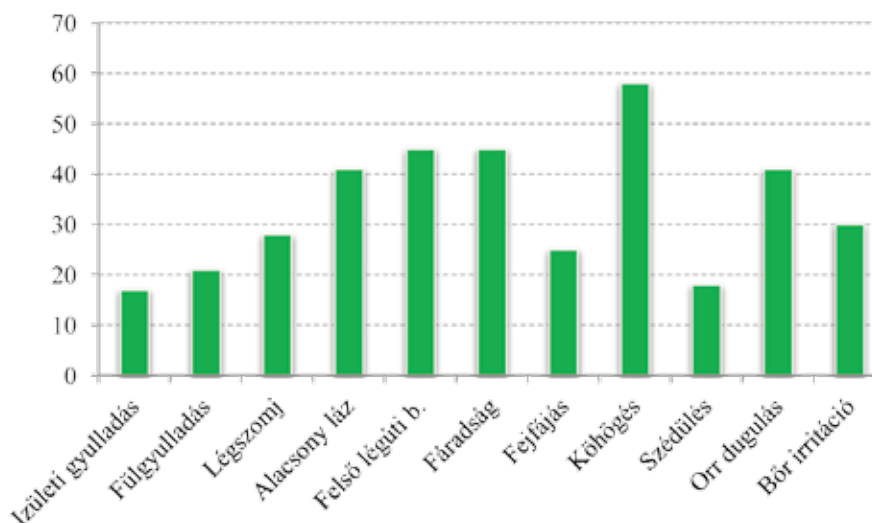
2. táblázat. A fontosabb műtárgy degradációt okozó penészgomba fajok és exoenzimjeik (Valentin, 2003 nyomán)

Gomba faj	Előfordulás	Metabolikus termék
<i>Alternaria tenuis</i>	Cellulóz, fehérje	Proteáz, amiláz, celluláz, glukonsav
<i>Alternaria solanis</i>	Cellulóz	Proteáz, amiláz, celluláz
<i>Aspergillus glaucus</i>	Cellulóz, fehérje	Proteáz
<i>A. nidulans</i>	Cellulóz, fehérje	Proteáz, amiláz
<i>A. flavus</i>	Cellulóz, fehérje	Proteáz, amiláz, celluláz
<i>A. niger</i>	Cellulóz, fehérje	Glukozidáz, amiláz, celluláz, citromsav oxálsav
<i>A. tamarii</i>	Cellulóz	Proteináz, citrom-, oxál-, glukonsav
<i>Myrothecium verrucaria</i>	Cellulóz, fehérje	Celluláz
<i>Paecilomyces varioti</i>	Cellulóz	Proteináz, ecetsav, oxálsav
<i>Penicillium frequentans</i>	Cellulóz, fehérje	Proteináz, amiláz, celluláz, lipáz, oxálsav
<i>P. commune</i>	Cellulóz, fehérje	Proteináz, ecetsav
<i>P. notatum</i>	Cellulóz, fehérje	Proteináz
<i>P. brevicompactum</i>	Cellulóz, fehérje	Proteináz, ecetsav

<sup>1</sup> Valentin, N.: Microbial contamination in museum collections: Organic materials. In: Molecular Biology and Cultural Heritage, C. Saiz Jimenez eds., 2003. pp. 85–93.

<sup>2</sup> Tímárné Balázs Ágnes: Műtárgyak szerves anyagainak felépítése és lebomlása, Magyar Nemzeti Múzeum. 1993. pp. 58–59.

1. diagram. Gombák okozta szimptómák és rendellenességek gyakorisága %-ban (Salkinoja-Salonen és mtsai. 2003 nyomán)



ismerünk *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Myrothecium* sp., *Paecilomyces* sp. és *Penicillium* sp. fajokat, amelyeket a Fungi Imperfecti mesterséges rendszertani kategóriába sorolhatunk.

A penészgombák által okozott károk rendkívül sokrétűek. Növekedésük és terjeszkedésük az anyagban, mint például a gombák hifáinak behatolása, olyan komoly mechanikai és fizikai feszítő hatással járhat, hogy az anyag akár porrá is válhat. A deterioráció lehet kémiai jellegű is, amely során a penészgombák által termelt exoenzimok vagy szerves és szervetlen savak károsítják a műtárgyak építőelemeit (cellulóz, fehérje stb.). De nem ritkán találkozunk olyan penészgombákkal, amelyek hifái elszínezik és megtelepednek a műtárgy anyagában, anélkül, hogy táplálékul használnák fel azt. A papíron gyakran színes elváltozás is megfigyelhető, amely jelenséget foltosodásnak (foxing) nevezzük. A foltosodást többféle tényezőnek is tulajdonítják a szakirodalomban, a gombák által termelt a barna színű humin savaknak, a melaninnak valamint a tirozin alapú pigmenteknek. Újabb feltételezések szerint, a foltosodást a gombaspórákban található lipidek autooxidációja okozza<sup>3</sup>.

A műtárgyak degradációja mellett, a penészgombák gyakran egészségi károsodásokat is okozhatnak. Ebben szerepet játszanak a spórák, a mikotoxinok, és az illékony szerves vegyületek<sup>4</sup> (VOC). A penészgombák spórái

allergiás eredetű szénanáthát és asztmás megbetegedést válthatnak ki. A mikotoxinok kisméretű és hosszú életű molekulák, amelyek lipofil tulajdonsággal bírnak, azaz képesek a kettős lipidréteggel határolt sejtekbe bejutni. A legjelentősebb mikotoxinok az aflatoxinok, trichotecének, fumonizinek, zearalenonok, az ochratoxinok és az ergot-alkaloidák<sup>5</sup>. A műtárgyak degradációját okozó penészgombák jelentős hányada különböző tüneteket és rendellenességeket okozhat (1. diagram), a bőr irritációjától az felső légúti megbetegedésekig<sup>6</sup>.

#### 4. A gombafajok tanulmányozása

A penészgombák tanulmányozására leggyakrabban klasszikus mikrobiológiai módszereket használtak. A műtárgy felületéről vett mintát, steril körülmények között Czapek-Dox táptalajra oltják le, majd 30°C-on, kb. 5 napos inkubálási idővel tenyésztik ki. Az így képződött gombatelepeket morfológiailag, majd mikroszkópián elemezik. Az elektronmikroszkópia megjelenésével a pásztázó elektronmikroszkópiát (SEM – scanning electron microscopy) használják a műtárgyak penészgomba kolonizációjának, valamint mechanikai károsodásának kimutatására<sup>7</sup>.

A molekuláris biológiai módszerek fejlődésének köszönhetően számos DNS alapú módszer használható

<sup>3</sup> Florian, M.-L. E: The role of the conidia of fungi in fox spots. In: Studies in Conservation, Vol. 41(2):, 1996. pp. 65–75.

<sup>4</sup> Az illékony szerves vegyületek (rövidítve: VOC ill. VOCs volatile organic compound[s] alapján) azon szerves, azaz szénhidrogéneket tartalmazó vegyületek, amelyek könnyen elpárolognak (illékonyak), ill. már alacsony hőmérsékleten (pl. szobahőmérsékleten) gáz halmazállapotban vannak jelen. Az illékony szó azt implikálja, hogy a VOC-ok csoportjához tartozó anyagok a magas gőznyomásuk ill. az alacsony forráspontjuk miatt gyorsan elpárolognak (elillannak). <http://www.kefa-international.com/hu/lexikon/voc.html>

<sup>5</sup> <http://www.soltub.hu/down/mt/mikotoxinok.pdf>

<sup>6</sup> Salkinoja-Salonen, M. S. – Peltola, J. – Andersson, A. A. – Saiz-Jimenez, C.: Microbial toxin in moisture damaged indoor environments and cultural assets. In: Molecular Biology and Cultural Heritage, C. Saiz Jimenez eds., 2003. pp. 93–99.

<sup>7</sup> Blanchette, R. A.: A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. In: International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 46. 2000. pp. 189–204.

a deteriorációt okozó nem, vagy nehezen tenyészthető gombafajok azonosítására. A mikroorganizmusok DNS-e kis, de elegendő mennyiségben izolálható különböző műtárgyakból származó mintadarabból (papír, fa). Az össz kivont mikrobiális DNS egy tetszőleges szakaszának enzimatikus úton történő sokszorosítását polimeráz láncreakcióval végzik (PCR). Általában a penészgombák esetében a riboszomális DNS egy bizonyos szakaszának vizsgálatát (ITS szakasz, internal transcribed spacer) használják a taxonómiai besorolás érdekében. A felszaporított DNS fragmentumot restriktions enzim emésztéssel (RFLP), denaturáló gélelektroforézist használva (DGGE) vagy akár szekvencia analízissel is vizsgálhatjuk<sup>8</sup>. Amíg a restriktions enzim emésztés és a szekvencia analízis arra ad lehetőséget, hogy egyes penészgomba törzseket meghatározzunk, a denaturáló gélelektroforézis arra alkalmas, hogy egymástól elkülönítse a penészgomba törzseket, abban az esetben, ha több törzs is okozta a deteriorációt.

## 5. Megelőzés és védekezés

A korszerű műtárgyvédő első és alapvető lépése a preventív védelem megteremtése, amely során a műtárgyakat megfelelő környezeti paraméterek között kell tárolni. A penészgombák degradációjának megelőzéséhez tehát megfelelő hőmérséklet és páratartalom értékeket kell biztosítani (alacsony hőmérséklet és 60% alatti relatív légnedvességű környezet). Amennyiben a műtárgyak az előírt értékek között vannak tárolva, kiállítva, kizárhatjuk a mikrobiológiai fertőzés veszélyét. Abban az esetben, ha a műtárgyon penészgomba jelenlétét észleljük, valamint a biodegradáció nyomait lehet felfedezni, szanáló védelmi tevékenységet kell végezni. A penészgombák elleni védekezés során fizikai (sugárzás, hőmérséklet) valamint vegyi (gázosítás) módszereket alkalmazhatunk<sup>9</sup>. A hőmérséklet változtatás során alacsony hőmérsékleti értékeket valamint magas hőmérsékleti értékeket is alkalmazhatunk. Az alacsony hőmérséklet, azaz a fagyasztás a penészgombákra nem hatásos, ellenkezőleg hat viszont a hőmérsékleti értékek növelése, amely hatásos módszer lehet a gombák ellen, ha megfelelő magas hőmérsékletet és időt fordítunk a műtárgy kezelésére<sup>10</sup>. Egy másik fizikai módszer a sugárkezelés, a  $\gamma$  besugárzás, amelyet papír és fa alapú műtárgyak kezelésére használnak. A  $\gamma$  sugárzás nagyon hatásos a rovarok ellen már kis dózisban is, míg a penészgombák elleni védekezésben

10–16kGy (kilo grey) szükséges egyes törzsek, az *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium* elpusztításához. Az inert gázfertőtlenítő szerek közül a  $N_2$ -el való kezelés nem alkalmas a gombák elpusztítására<sup>11</sup>. Az alacsony  $O_2$  (0,005–0,1%  $O_2$ ) tartalmú környezet viszont hatékony lehet az aerob cellulózbontó mikroorganizmusok elleni harcban<sup>12</sup>.

Mivel a penészgombák igen jelentős károkat tudnak okozni a műtárgyakon (a struktúra degradációja, elszíneződés), nagyon fontos a preventív műtárgyvédő. Amennyiben idegen környezetből kerül be műtárgy a gyűjteménybe igen fontos annak alapos vizsgálata. Ha a makro- és mikroszkópos vizsgálatok során megállapítható a penészedés jele, érdemes kitenyészteni a penészgombát azonosítás céljából. Ezáltal információt kapunk arról, hogy milyen lehetséges degradációval kell számolnunk, illetve milyen módszereket alkalmazhatunk a megszüntető védelem során.

*Dr. Mara Gyöngyvér*

Biológus

Sapientia EMTE Kolozsvár

Műszaki és Társadalomtudományok Kar

530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.

Tel.: +40-266-317-121

*Mara Zsuzsanna*

Okl. festőrestaurátor művész

Csiki Székely Múzeum

530132 Csíkszereda, Vár tér 2.

Tel.: +40-266-311-727

E-mail: zsuzsamara@yahoo.com

<sup>8</sup> Michaelsen, A. – Pinzari, F. – Ripka, K. – Lubitz, W. – Pinar, G.: Application for molecular techniques for identification of fungal communities colonising paper material. In: *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2006. Vol 58. pp.133–141.

<sup>9</sup> Valentin, N.: Microbial contamination in museum collections: Organic materials. In: *Molecular Biology and Cultural Heritage*, C. Saiz Jimenez eds., 2003. pp. 85–93.

<sup>10</sup> Morgós, A.: Műtárgyak korszerű fertőtlenítése. In: *ISIS Erdélyi Magyar Restaurátor Füzetek 1.*, Szerk. Kovács P. Haáz Rezső Alapítvány, Székelyudvarhely, pp. 21–42.

<sup>11</sup> Morgós, A. id.m.

<sup>12</sup> Valentin, N.: Microbial contamination in museum collections: Organic materials. In: *Molecular Biology and Cultural Heritage*, C. Saiz Jimenez eds., 2003. pp. 85–93.