

BIODETERIORACE AUDIOVIZUÁLNÍCH MATERIÁLŮ

**TEREZA BRANYŠOVÁ^a, BARBORA TEPLÁ^a,
KATEŘINA DEMNEROVÁ^a, HANA STIBOROVÁ^a
a MICHAL ĎUROVIČ^b**

^a Ústav biochemie a mikrobiologie, Fakulta potravinářské a biochemické technologie, ^b Ústav chemické technologie restaurování památek, Fakulta chemické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
branyshot@vscht.cz, barca.tepla@gmail.com

Došlo 16.11.20, přijato 8.2.21.

Klíčová slova: biodeteriorace, fotografie, filmy, identifikace mikroorganismů, metagenomika

Obsah

1. Úvod
2. Vývoj audiovizuálních materiálů
3. Projevy biodeteriorace
4. Identifikace mikroorganismů
 - 4.1. Kultivační metody
 - 4.2. Metagenomika
 - 4.2.1. Polymerasová řetězová reakce
 - 4.2.2. Sekvenování DNA
5. Mikrobiologické nálezy na archiváliích
6. Závěr

1. Úvod

Audiovizuální materiály se staly nedílnou součástí života už v první polovině devatenáctého století, kdy byla vynalezena heliografie, předchůdce dnešní fotografie¹. Od té doby se technologie pořizování fotografických a filmových materiálů značně zlepšila a zjednodušila. Odhaduje se, že mezi lety 1838 a 2013 bylo pořizeno přes tři a půl bilionu fotografií, které přinášejí autentická svědectví o podobě tehdejšího světa². Audiovizuální materiály jsou definovány jako materiály, které nezávisle na gramotnosti pořizovatele ani uživatele. Informace je přenášena sluchem, zrakem nebo obojím zároveň³. Předložený článek se zabývá pouze materiály, jejichž informační hodnota je závislá zejména na zrakovém vjemu. Dobové filmy a fotografie nám dávají možnost nahlížet na historii z jiného úhlu pohledu, než jaký nám poskytují písemné materiály. Z těchto důvodů je více než žádoucí zachovat co nejvíce materiálů budoucím generacím.

Na kvalitu uchovávaného audiovizuálního materiálu má vliv nejen používaná surovina a technika přípravy, ale i způsob a podmínky jejich skladování. Dosud nebyla věnována zasloužená pozornost mikroorganismům (bakterie a mikromycety), které za nevhodných skladovacích podmínek kontaminují povrch fotografií a filmových pásek, což má za následek jejich biodeterioraci^{4,5}. První studie, která mapovala přítomnost mikroorganismů na audiovizuálních materiálech, byla provedena v 80. letech minulého století československým historikem a chemikem Vladimírem Opělou⁶. Od té doby metody izolace a identifikace značně pokročily a je tedy možné získat mnohem více informací o mikroflóře v archívech.

Cílem této publikace není vydat přehled historických fotografických technik ani popis procesu vzniku fotografie, neboť toto téma již bylo dostatečně popsáno v jiných publikacích⁷. Chceme se soustředit nejen na historický vývoj audiovizuálních materiálů a nejčastěji archivované nosiče, ale i na metody izolace a identifikace mikroorganismů kontaminujících tyto materiály a jejich biodeteriorační vlastnosti.

2. Vývoj audiovizuálních materiálů

Původně byly fotografické nosiče vyráběny z běžně dostupných materiálů, experimentovalo se s kovovými a skleněnými deskami, kartonem a různými druhy papíru. Skleněné desky byly používány zejména pro tvorbu negativů metodou suchých želatinových desek a dosti často je nacházíme v českých archivních sbírkách. Technika slaneho papíru využívala možnosti rozptýlit světlocitlivé částice přímo v hmotě papíru a ne v emulzi, jak bylo běžnější u jiných technik, např. u albuminového papíru nebo u zmíněné techniky suchých želatinových desek¹. Použití kartonových a papírových nosičů bylo ekonomické, neboť tyto materiály byly běžně dostupné, ale snadno podléhaly vnějším vlivům. V posledních desetiletích však byly všechny tyto materiály vytěsněny polymerním nosičem, ale i přesto jsou tradiční fotografické techniky nadále využívány v umělecké fotografii^{1,8}.

Na rozdíl od různých typů nosičů, světlocitlivá vrstva prodělala daleko intenzivnější rozvoj. V průběhu času se ustálily dva preferované substráty, jejichž příznivé vlastnosti umožnily disperzi částic citlivých na světlo a měly zcela zásadní vliv na směřování fotografického průmyslu. Od padesátých let devatenáctého století byl jako fixační hmota pro soli halogenidů používán vaječný bílek obsahující albumin¹. Připravené papírové desky bylo pak možné uchovávat v běžných podmínkách a díky tomu se i značně zkrátil proces výroby fotografie. O dvacet let později byla objevena možnost využití želatiny jako vhodného pojiva pro soli halogenidů⁹. Ty byly možné v želatině rovnoměr-

ně rozptýlit, jejich poloha se tuhnutím fixovala a nedocházelo ke shlukování. Metoda suchých želatinových desek způsobila malou revoluci ve fotografickém průmyslu, po níž byly fotografie dostupné téměř všem společenským vrstvám¹.

Další vývoj fotografických technik směřoval k ušlechtilým tiskům, barevné fotografii a myšlenke zachytit okamžik nejen ve statické podobě. Ačkoliv prvotní experimenty proběhly již v roce 1877, na první filmovou pásku bylo nutné počkat ještě více než 10 let do roku 1888 (cit.¹⁰). Po pokusech se skleněnými deskami a zcitlivěným papírem se začal používat celulozový pásek. Celuloid, jako jeden z prvních termoplastů, vznikl reakcí nitrocelulose s kafrem, který zabraňoval přirozenému tavení⁸. Jeho hlavní nevýhodou však bylo riziko samovznícení a tvorba oxidu dusného a dusnatého, což značně komplikovalo archivaci. Tento nedostatek byl na počátku 20. století odstraněn vývojem celulozo-acetátového pásku neboli bezpečnostního filmu. Po experimentech s nahrazováním postranních řetězců celulose různými organickými kyselinami se osvědčila celulozo-triacetátová podložka. Ta byla méně hořlavá než celuloid, nicméně zase podléhala acetátovému syndromu, při kterém dochází k uvolňování plyné kyseliny octové. Při vyšších koncentracích může tato kyselina poškodit i další dokumenty uložené v archivech. V polovině padesátých let minulého století byla objevena polymerová báze, která postupně vytlačila dřívější formy nosičů.

Princip světlocitlivé vrstvy zůstal i přes změny v nosičích totožný. Pro černobílý film obsahovala želatinová matrice soli stříbra, které se v průběhu procesu změnily na kovové stříbro tvořící obraz. Pozdější barevné filmy obsahovaly tři překrývající se vrstvy barviv v emulzi – žlutou, tyrkysovou a purpurovou¹¹. Pro každou barvu byl vytvořen vlastní film, snímky jednoho obrazu v různých barvách byly poskládány za sebe tak, že se pravidelně střídaly a po zrychlení tohoto procesu nebylo možné tento efekt lidským okem rozlišit^{1,3,11}.

3. Projevy biodeteriorace

Organické složky, které fotografické a filmové materiály běžně obsahují, mohou být potenciálním zdrojem uhlíku, vhodným pro růst mikroorganismů. I když povrch fotografického nebo filmového materiálu může být osídlen mnoha různými mikroorganismy, obvykle jen několik druhů produkuje enzymy schopné tyto materiály rozkládat. Míra poškození materiálu záleží také na jejich složení⁵. Například želatina, běžně využívána jako pojivo fotografické emulze, je vhodným substrátem pro mikrobiální populace produkující proteasy^{5,12}.

Želatina je rozpustná bílkovina živočišného původu. Vyrábí se částečnou hydrolyzou kolagenu obsaženého v kůži, pojivech a kostech zvířat, přičemž dochází k jeho přeměně na glutin, látku s želírujícími vlastnostmi. V audiovizuálních materiálech se vyskytuje ve formě dlouhých, pevně stočených řetězců¹³. Působením proteolytických enzymů dochází k selektivnímu štěpení peptidických

vazeb v želatině. Zároveň metabolickou aktivitou mikroorganismů dochází ke generování reaktivních forem kyslíku (ROS), jako jsou hydroperoxydy nebo superoxydy vodíku. Právě ROS se využívá pro studium degradace želatiny citlivou chemiluminiscenční technikou, při které fotoproteiny po interakci s ROS emitují světlo.

Tato metoda byla použita v práci Abrusci a spol. (2007)¹⁴ pro detekci biodegradace želatiny bakteriemi a plísněmi izolovanými z filmového materiálu. U testovaných bakterií, druhů rodu *Bacillus* (například *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. megaterium*) i u všech zkoumaných druhů mikromycet rodu *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Trichoderma* a *Cladosporium* byla potvrzena schopnost degradace želatiny¹⁴.

Vaječný albumin je další živočišný produkt využívaný jako fixační hmota pro soli halogenidů. Jeho gelovitá struktura je přisuzována interakcím glykoproteinů, mezi které patří např. lysozym, ovomucin a ovalbumin. Ty jsou díky cysteinovým zbytkům schopny tvořit disulfidové můstky, a tím vytvořit lysozym-ovomucinový komplex¹⁵. Albumin je rozkládán mnoha endopeptidasami, z nichž můžeme zmínit třeba subtilisin, který byl poprvé izolován z druhu *Bacillus subtilis*¹⁶.

Faktory jako relativní vlhkost a vysoká teplota obvykle zvyšují riziko biologického poškození¹⁷. Uvádí se, že mikroorganismy rozkládají organickou část emulze fotografií a filmů zejména při relativní vlhkosti > 60 % (cit.⁵). Významným zdrojem mikrobiální kontaminace vzduchu jsou lidé (kůže nebo vlasy) a ventilační systémy¹⁸. Vladimír Opěla (viz výše) ve své pilotní studii došel k závěru, že právě podmínky prostředí jako vzduch, teplota nebo pohyb personálu mají zásadní vliv na přítomnost mikrobiální kontaminace⁶, která výrazně zvyšuje možnost poškození archiválií¹⁸.

Mezi nejčastější projevy poškození fotografického nebo filmového materiálu patří chromatické změny způsobené mikroorganismy, a to především mikroskopickými houbami, které vytvářejí na povrchu materiálu různě barevné skvrny. To je následek růstu mycelia a produkci bílého, černého, hnědého, žlutého nebo jiného pigmentu^{19,20}. Výsledným projevem biodeteriorace audiovizuálních materiálů bývá zejména ztráta obrazu²¹. Kromě pigmentace může docházet také k fyzickému poškození nebo až k celkovému rozkladu napadeného audiovizuálního materiálu, na kterém se hlavně podílejí enzymy produkované mikroorganismy. Mezi tyto enzymy patří lipasy, katalasy, proteasy nebo celulasy^{20,22,23}. Oxidoredukční enzymy především chrání bakterie před oxidačním stresem např. odbouráním peroxidu vodíku. Ten vzniká jako meziprodukt kyslíkového metabolismu a účastní se také degradace celulose způsobené mikromycetami²⁴. Podle studie Puškárové a spol.²⁴ vykazovaly značnou celulasovou aktivitu např. bakteriální rody *Bacillus* a *Bjerkandera*, méně potom mikromycety, např. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* a *Chaetomium*²⁴.

Současně vznikající organické kyseliny (např. kyselina fumarová, jantarová, šťavelová, citronová, mléčná, octová a další) snižují pH (cit.^{20,22,23}). Mikroorganismy zároveň využívají anorganické prvky obsažené ve fotoma-

teriálu, jako jsou například vápník, hliník, křemík, železo nebo draslík²⁵. Abychom mohli případnému poškození zabránit, je důležitá důkladná znalost přítomných mikrobiálních populací a všech faktorů, které mohou ovlivnit jejich růst. Nezbytné je tedy mikrobiální mapování povrchu památkových objektů a stejně tak i ovzduší, a to jak z kvantitativního, tak z kvalitativního hlediska¹⁸.

4. Identifikace mikroorganismů

Izolace a následná identifikace mikroorganismů jsou prvními kroky k pochopení jejich účinku na památky kulturního dědictví²⁶. Pro izolaci, charakterizaci a identifikaci kontaminujících mikroorganismů (bakterií a mikromycet) se používají tradiční kultivační techniky. Jednotlivé kolonie bakterií se barví podle Grama²⁷ a dále se testuje jejich biochemická aktivita²⁸. Mikromycety lze identifikovat po nárůstu na vhodné agarové půdě mikroskopicky.

Řada literárních zdrojů uvádí, že z doposud 1 % objevených mikroorganismů na Zemi se v laboratoři podařilo kultivovat pouze malou část^{28,29}. Postupně byly vyvíjeny další možné postupy a modifikace vedoucí k úspěšnému zachytu a identifikaci dříve nekultivovatelných druhů³⁰. Takovými modifikacemi může být prodloužení doby inkubace, použití růstového média chudého na živiny nebo změna koncentrace kyslíku³¹.

Pro detailnější charakterizaci mikroorganismů se v současnosti používají molekulárně-biologické metody, pomocí nichž lze získat celkový přehled o genetické rozmanitosti v daném prostředí, tedy i na objektech kulturního dědictví^{29,32}. Aplikace molekulárně-biologických postupů umožňuje identifikovat mikroorganismy již téměř tři desetiletí. Avšak pro sledování funkce mikrobiálních druhů v životním prostředí se stále používají kultivační metody³⁰.

V posledních letech je věnována pozornost metagenomice, která se využívá ke studiu genetického materiálu (DNA nebo RNA) izolovaného přímo ze vzorku prostředí bez předcházející kultivace. Analyzovat tedy lze i nekultivovatelné mikroorganismy³². Potenciál metagenomických studií byl značně navýšen vývojem metod sekvenování nové generace (NGS, z angl. next-generation sequencing). Těmito technikami lze sekvenovat vzorky DNA nezávisle na kultivaci, čímž je umožněno hloubkové sekvenování s následnou analýzou dat vzorků životního prostředí, tedy i kulturních památek³³.

4.1. Kultivační metody

Klasické kultivační metody jsou založené na izolaci mikroorganismů z nárůstu na agarových plátnách³⁴. Prvním krokem je výběr vhodných kultivačních médií, který se řídí podle požadavků mikroorganismů. Pro zachyt mikrobiálních populací ze životního prostředí se běžně používají média obsahující sacharidy, proteiny a vitaminy v koncentracích, které se v přírodě nevyskytují. Umožňují tak kultivaci rychle rostoucích druhů³². Většina mikrobiálních populací ve vzorku se však může nacházet v životaschopném, ale nekultivovatelném stavu (VBNC,

z angl. viable but nonculturable) nebo není schopna růstu na zvoleném kultivačním médiu³⁵.

Pro zhodnocení mikrobiální kontaminace fotografií a kinematografických filmů lze použít hned několik různých médií. Pro mikroskopické houby je využíván nespécifický agar se sladovým extraktem (MEA) a agar DG18 (obsahující dichloran a glycerol), který je určený pro xerofilní druhy, jenž jsou schopny růstu na substrátu s nízkou vodní aktivitou^{36,37}. Pro zachyt bakterií je využíván například živný³⁷ či Luria-Bertani LB10 agar nebo specifický Reasonerův R2A agar, který je vhodný pro pomalu rostoucí druhy bakterií¹⁸.

4.2. Metagenomika

Jak již bylo zmíněno, metagenomické studie umožňují sledovat mikrobiální populace v jejich přirozeném prostředí bez potřeby izolace a kultivace jednotlivých druhů. Tento obor se neustále vyvíjí a s příchodem metod NGS lze již sekvenovat veškerou DNA přítomnou ve vzorku³⁷. V oblasti kulturních památek se tyto studie objevily teprve nedávno. Platformy sekvenace, které se využívají, jsou odlišné, avšak mezi jednu z nejvyužívanějších patří Illumina MiSeq^{38–43}. Nezávisle na konkrétní technice NGS se vědci shodují, že jsou tyto metody pro hloubkovou analýzu mikroorganismů výhodnější než konvenční mikrobiologické techniky, jako je například kultivace. Nespornou výhodou těchto metod je možnost neinvazivního vzorkování, což je základní požadavek pro práci s kulturními památkami³⁹. Navíc bylo prokázáno, že metoda odběru vzorku (invazivní či neinvazivní) ovlivňuje získané výsledky. Následujícím krokem po vzorkování je polymerasová řetězová reakce, během které dochází k amplifikaci specifických cílových oblastí²².

4.2.1. Polymerasová řetězová reakce

Polymerasová řetězová reakce (PCR) je základem molekulárně-biologických metod, které umožňují studovat mikroorganismy na základě genové analýzy jejich DNA či RNA a napomáhají tak k odhalení mikrobiální rozmanitosti v ekosystémech^{35,44}. RNA se využívá především pro získání informací o metabolických aktivitách. Oproti tomu DNA je vhodným nástrojem pro identifikaci specifických genů či mikrobiálních populací³⁷. Nevýhodou analýzy DNA však může být fakt, že je detekována veškerá DNA ze vzorku, tedy i z mrtvých buněk. V případě analýzy pouze živých buněk je tedy lepší variantou detekce RNA (cit.⁴⁵).

Před samotnou PCR je vždy nutný odběr vzorku s následnou extrakcí nukleových kyselin. Získané nukleové kyseliny jsou následně amplifikovány pomocí PCR reakce a tím je získán vysoký počet cílových fragmentů DNA (cit.³⁵). Z cílových úseků, které mohou být později sekvenovány, je konstruována tzv. knihovna fragmentů. Tyto fragmenty mají kovalentně přidané DNA adaptéry (univerzální sekvence specifické pro každou platformu) na každém konci⁴⁶.

Jako specifické cílové fragmenty se běžně využívají geny ribosomální RNA, které jsou si dostatečně podobné.

Přidané primery, kterými jsou krátké oligonukleotidové úseky DNA ohraničující cílové fragmenty amplifikace, je rozeznají jako „stejně“ a zároveň jsou natolik odlišné, že pomocí nich lze rozeznat jednotlivé druhy. Pro identifikaci bakterií a archeí jsou tyto geny uznávaným standardem³⁹. Tvoří je devět krátkých variabilních oblastí, ohraničených konzervovanými úseky, které jsou charakteristické pro taxonomické zařazení^{21,39}. V případě mikroskopických hub se pro identifikaci využívá region ITS (internal transcribed spacer), který se nachází mezi fragmenty rRNA na podjednotce 60S (cit.³⁹). Sekvence v tomto regionu jsou značně variabilní a poskytují tak vysoké taxonomické rozlišení^{44,47}.

4.2.2. Sekvenování DNA

Pro identifikaci produktů získaných pomocí metody PCR se využívají metody sekvenace, kterými lze zjistit pořadí nukleotidů v nukleových kyselinách³². Aby byly výsledky sekvenací přesné, je důležité zahrnout do analýzy pozitivní a negativní kontroly. Pozitivní kontroly obsahující sekvence DNA známých druhů poskytují odhad chyb v sekvenování. Ideální pozitivní kontrola obsahuje DNA izolovanou ze směsi referenčních kmenů. Oproti tomu negativní kontroly slouží pro zohlednění zkreslení analýzy díky stopovým množstvím DNA kontaminující činidla pro izolaci DNA či pro přípravu knihovny²¹. Původně tradiční Sangerovo sekvenování je od roku 2005 postupně nahrazováno technikami sekvenování nové generace (NGS)⁴⁶. Výhody NGS spočívají v možnosti současně provést miliardy sekvenáčnických reakcí. První komerční technologie NGS byla představena již v roce 2004 společností 454 Life Science, později odkoupenou firmou Roche. V průběhu následujících dvou let se na trhu objevily další platformy, jako Illumina Solexa nebo SOLiD. Techniky NGS se nadále zdokonalují. Jako příklad může posloužit skutečnost, že pro analýzu nukleových kyselin byly počáteční požadované koncentrace v mikrogramech, v dnešní době stačí pouze pikogramová množství⁴⁸.

5. Mikrobiologické nálezy na archiváliích

Díky možnostem detekce stopových množství DNA jsme schopni analyzovat významně širší paletu mikrobiálních komunit než pouze s využitím tradičních kultivačních metod. Tuto skutečnost můžeme dobře vidět v přehledovém článku, který vyšel v loňském roce a jsou v něm srovnány výsledky studií zabývajících se biodeteriorací některých audiovizuálních materiálů⁷.

Aktuálně nejnovější studie zkoumající biodeterioraci stříbrno-želatinových fotografií poprvé využívá pro sekvenaci platformu Illumina MiSeq. Zjištěnou vysokou biodiverzitu přičítá právě použití NGS metod a doporučuje je pro další výzkum této problematiky⁴⁹. Z celkového počtu prací je tato dosud jediná, která metody NGS aplikovala, ostatní využily kultivační metody nebo ve třech případech tradiční sekvenování⁷. Těmito pracemi se v následujícím odstavci budeme zabývat více.

V prvním případě byl vzorkován celuloidový film a stříbrno-želatinová fotografie z italského archivu⁴. Druhá

studie se zaměřila na albuminové fotografie uložené ve Slovenském národním archivu²⁴ a dosud poslední studie tohoto týmu týkající se biodeteriorace fotografií pochází z roku 2016 a zkoumá mikrobiální komunity způsobující tzv. foxing³⁷. Tento úkaz, již dříve popsany na ostatních druzích kulturních památek, se projevuje pravidelnými hnědo-oranžovými skvrnami vznikajícími činností mikroorganismů, zejména hub. Ze skvrn byly izolovány hlavně xerofilní druhy, které se vyznačují schopností růst při nízké relativní vlhkosti ($a_w < 0,8$)⁵⁰. Veličina a_w značí poměr vody, která je dostupná v substrátu. Intenzita zabarvení souvisí s množstvím barnatých a titaničitých iontů v hmotě papíru. Sloučeniny obsahující tyto prvky se běžně používaly k dekorativním účelům rámu²⁴. Foxing byl dosud zkoumán pouze na želatinových fotografiích a papírových pozitivních. Bylo zjištěno, že součinností kolonizujících mikroorganismů vzniká lokalizované hromadění organického materiálu, které v průběhu času způsobuje hnědnutí podkladové vrstvy a želatiny. Odumřelá těla mikroskopických hub poté zřejmě poskytují další hmotu indukující vznik a šíření skvrn³⁷.

Z přehledového článku zmíněného výše vyplývá, že větší biodiverzitu a heterogenitu mikroorganismů poskytovaly výsledky pocházející z nekultivačních metod, ačkoliv pro komplexní výsledek je vhodné použít oba typy metod. Mezi nejčastěji identifikované rody mikromycet izolovaných z audiovizuálních materiálů patří *Alternaria*, *Cladosporium*, *Mallassezia* a *Nectria*⁷, které patří mezi běžné patogeny rostlin. Rod *Alternaria* může způsobit dermatologické infekce a dýchací obtíže včetně bronchiálního astmatu zejména u imunosuprimovaných pacientů^{51,52}. Rod *Mallassezia* se přirozeně vyskytuje na lidské kůži, kde se vzácně podílí na vzniku různých kožních zánětů⁵². Společně s rodem *Alternaria* mohly být na archiválii přeneseny pravděpodobně přímým kontaktem během neopatrného zacházení. Bakteriální druhy byly zastoupeny zejména rody *Pseudomonas*, *Geobacillus* a *Streptococcus*⁴. Zde je zajímavý výskyt právě rodu *Streptococcus*³⁷, jehož druhy *S. oralis*, *S. australis* a *S. mitis* se běžně vyskytují v ústní dutině⁵³. Jejich výskyt na audiovizuálních materiálech může implikovat lidskou kontaminaci při pořizování fotografií a manipulaci.

Ostatní studie zaměřené na výzkum biodeteriorace audiovizuálních materiálů využívaly pouze metody založené na kultivaci⁷. Mezi nejčastěji identifikované mikromycety patří rody *Aspergillus* a *Penicillium*. *Aspergillus* patří mezi nejrozšířenější houby v prostředí, pro člověka jsou nebezpečné z důvodu dvojího mechanismu toxicity. Nejenže jsou některé druhy schopny produkovat širokou paletu toxinů, např. aflatoxiny a ochratoxiny, které jsou původci zejména alimentárních intoxikací, ale mohou též způsobovat aspergilózy⁵⁴. Ty se projevují těžkými dýchacími obtížemi u imunosuprimovaných pacientů a provází je vysoká úmrtnost⁵⁵. Některé rody *Penicillium* jsou schopné tvorby antibiotika penicilinu. V současné době ale není možné říci, zda má jejich přítomnost na audiovizuálních materiálech vliv na složení celé komunity. Rody *Aspergillus* a *Penicillium* tvoří vegetativní spory⁵⁶, které se po dozrání uvolňují do prostředí a mohou mít negativní vliv

na pracovníky v archivech. Mezi nejčastěji identifikované bakterie pomocí kultivačních metod patří rody *Bacillus* a *Staphylococcus*. Pomocí metod využívajících kultivační i nekultivační přístup byly identifikovány různé druhy stafylokoků, které jsou také součástí lidského mikrobiota⁷.

6. Závěr

Cílem této práce bylo shrnout dosavadní poznatky na poli biodeteriorace audiovizuálních materiálů. I přesto, že v literárních pramenech není mnoho dostupných informací, lze formulovat několik závěrů. Mikroorganismy, izolované z audiovizuálních materiálů ze zemí zmíněných výše, mají hlavně ubikvitní charakter a bývají běžnými kolonizátory lidské kůže a sliznic. Z toho vyplývá, že velká část archiválií byla zřejmě kontaminována během manipulace. Nejčastěji byly izolovány mikromycety z rodů *Penicillium* a *Aspergillus*. Některé izolované druhy jsou schopny produkovat celulólytické, amylolytické a proteolytické enzymy, které mohou způsobovat biodeterioraci audiovizuálních materiálů⁵⁷.

V současné době máme již několik možností identifikace mikroorganismů. V posledních letech je na vzestupu především metagenomika, která má potenciál zařadit se mezi rutinní přístupy k mikrobiální analýze. I přesto, že nám metagenomické metody dávají dostačující pohled na celkové složení mikrobiálních populací ve vzorku, stále je vhodné zařadit do analýzy i kultivační metody. Právě ty nám totiž pomáhají pochopit fyziologický a biochemický potenciál přítomných mikroorganismů³².

Tento článek byl podpořen projektem č. DG18P02OVV062 financovaným Ministerstvem kultury České republiky.

Seznam zkratk

DG18	agar obsahující dichloran a glycerol
ITS	Internal Transcribed Spacer
LB10	Luria-Bertani agar
MEA	agar se sladovým extraktem (Malt Extract Agar)
NGS	sekvenování nové generace (Next-Generation Sequencing)
R2A	Reasonerův agar
ROS	reaktivní formy kyslíku
SOLiD	sekvenování pomocí ligace (Sequencing by Oligonucleotide Ligation and Detection)
VBNC	životaschopné, ale nekultivatelné druhy (Viable But Nonculturable)

LITERATURA

1. Scheufler P.: *Historické fotografické techniky*. IPOS-ARTAMA, Praha 1993.
2. Geschwill R., Nieswandt M.: *Lateral Management*:

A New Approach to Strategic Transformation in the Digital Era, 2. vyd. Springer International Publishing, Cham 2020.

3. Dike V. W.: *Library Resources in Education*. Abia-Enugu Publishing, Enugu 1993.
4. Bučková M., Puškárová A., Sclocchi M. C., Bicchieri M., Colaizzi P., Pinzari F., Pangallo D.: *Polym. Degrad. Stab.* 108, 1 (2014).
5. Abrusci C., Martin-Gonzalez A., Del Amo A., Catalina F., Collado J., Platas G.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 56, 58 (2005).
6. Opěla V.: *Joint Technical Symposium*, str. 139. FIAF, Ottawa 1992.
7. Teplá B., Demnerová K., Stiborová H.: *J. Cult. Herit.* 44, 218 (2020).
8. Painter P. C., Coleman M. M.: *Essentials of Polymer Science and Engineering*. DEStech Publications, Inc., Lancaster 2009.
9. Gernsheim H. E. R., Grundberg A., Newhall B., Rosenblum N.: <https://www.britannica.com/technology/photography>, staženo 1. 5. 2020.
10. Handzo S. G., Manvell R., Mertz P., Weis E.: <https://www.britannica.com/technology/motion-picture-technology>, staženo 1. 5. 2020.
11. Foundation N. F. P.: *The Film Preservation Guide: The Basics for Archives, Libraries, and Museums*. National Film Preservation Foundation, San Francisco 2004.
12. Lourenco M. J. L., Sampaio J. P.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 63, 496 (2009).
13. Ali M. A., Ali M. F., Saker M. O., Abdel Aleem A. A. E. B., El Nagar K. I.: *Int. J. Conserv. Sci.* 3, 93 (2012).
14. Abrusci C., Marquina D., Santos A., Del Amo A., Corrales T., Catalina F.: *J. Photochem. Photobiol., A* 185, 188 (2007).
15. Mine Y., Zhang H., v knize: *Biochemistry of Foods: Egg Components in Food Systems* (Eskin M., Shahidi F., ed.), kap. 5, str. 220, 3. vyd. Academic Press, Winnipeg 2013.
16. Graycar T. P., Bott R. R., Power S. D., Estell D. A., v knize: *Handbook of Proteolytic Enzymes: Subtilisins* (Rawlins N. D., Salvesen G., ed.), kap. 693, str. 3148, 3. vyd. Academic Press, London 2013.
17. Herrera L. K., Videla H. A.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 54, 125 (2004).
18. Pasquarella C., Balocco C., Pasquariello G., Petrone G., Sacconi E., Manotti P., Ugolotti M., Palla F., Maggi O., Albertini R.: *Sci. Total Environ.* 536, 557 (2015).
19. Lourenco M. J. L., Sampaio J. P.: *Topics in Photographic Preservation* 12, 19 (2007).
20. Borrego S., Guiamet P., de Saravia S. G., Batistini P., Garcia M., Lavin P., Perdomo I.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 64, 139 (2010).
21. Vivar I., Borrego S., Ellis G., Moreno D. A., Garcia A. M.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 84, 372 (2013).
22. Valentín N.: *Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies: Alternative Climate*

- Controls for Historic Buildings*. Expert Roundtable Proceedings, Tenerife 2007.
23. Gutarowska B.: *J. Cult. Herit.* 45, 351 (2020).
 24. Puškárová A., Bučková M., Habalová B., Kraková L., Maková A., Pangallo D.: *Sci. Rep.* 6, 20810 (2016).
 25. Rosado T., Silva M., Dias L., Candeias A., Gil M., Mirao J., Pestana J., Caldeira A. T.: *J. King Saud Univ., Sci.* 29, 478 (2017).
 26. Liu Z. J., Zhang Y. H., Zhang F. Y., Hu C. T., Liu G. L., Pan J.: *Front. Microbiol.* 9, 802 (2018).
 27. Gram C.: *MMW Fortschr. Med.* 2, 185 (1884).
 28. Cao Y., Fanning S., Proos S., Jordan K., Srikumar S.: *Front. Microbiol.* 8, 1829 (2017).
 29. Bodor A., Bounedjoum N., Vincze G. E., Kis A. E., Laczi K., Bende G., Szilagyi A., Kovacs T., Perei K., Rakhely G.: *Rev. Environ. Sci. Bio/Technol.* 19, 1 (2020).
 30. Heylen K., Vanparys B., Wittebolle L., Verstraete W., Boon N., De Vos P.: *Appl. Environ. Microbiol.* 72, 2637 (2006).
 31. Tyson G. W., Banfield J. F.: *Trends Microbiol.* 13, 411 (2005).
 32. Otlewska A., Adamiak J., Gutarowska B.: *Acta Biochim. Pol.* 61, 217 (2014).
 33. Marvasi M., Cavalieri D., Mastromei G., Casaccia A., Perito B.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 144, 104736 (2019).
 34. Shigematsu T., Hayashi M., Kikuchi I., Ueno S., Masaki H., Fujii T.: *FEMS Microbiol. Lett.* 293, 240 (2009).
 35. Gonzalez J. M., v knize: *Molecular Biology and Cultural Heritage* (Saiz-Jimenez C., ed.), CRC Press, London 2003.
 36. Rakotonirainy M. S., Vilmont L. B., Lavedrine B.: *J. Cult. Herit.* 19, 454 (2016).
 37. Sclocchi M. C., Kraková L., Pinzari F., Colaizzi P., Bicchieri M., Sakova N., Pangallo D.: *Microb. Ecol.* 73, 815 (2017).
 38. Kraková L. a 12 spoluautorů: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 131, 51 (2018).
 39. Perito B., Cavalieri D.: *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 364, 012074 (2018). doi: 10.1088/1757-899X/364/1/012074.
 40. Zhang X. W., Ge Q. Y., Zhu Z. B., Deng Y. M., Gu J. D.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 134, 127 (2018).
 41. Dias L., Rosado T., Candeias A., Mirao J., Caldeira A. T.: *J. Cult. Herit.* 42, 255 (2020).
 42. Duan Y. L., Wu F. S., Wang W. F., He D. P., Gu J. D., Feng H. Y., Chen T., Liu G. X., An L. Z.: *PLoS One* 12, 7 (2017).
 43. Kračmarová M., Karpíšková J., Uhlík O., Strejček M., Szaková J., Balík J., Demnerová K., Stiborová H.: *Microorganisms* 8, 1377 (2020).
 44. Michaelsen A., Pinzari F., Ripka K., Lubitz W., Pinar G.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 58, 133 (2006).
 45. Gabaldon T. a 26 spoluautorů: *FEMS Microbiol. Rev.* 43, 517 (2019).
 46. Mardis E. R.: *Annu. Rev. Anal. Chem.* 6, 287 (2013).
 47. Martin K. J., Rygiewicz P. T.: *BMC Microbiol.* 5, 28 (2005).
 48. Alekseyev Y. O., Fazeli R., Yang S., Basran R., Maher T., Miller N. S., Remick D.: *Acad. Pathol.* 5, 237428951876652 (2018).
 49. Szulc J., Ruman T., Karbowska-Berent J., Koziellec T., Gutarowska B.: *J. Cult. Herit.* 45, 101 (2020).
 50. Arai H.: *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 46, 181 (2000).
 51. Lopes L., Borges-Costa J., Soares-Almeida L., Filipe P., Neves F., Santana A., Guerra J., Kutzner H.: *Healthcare* 1, 100 (2013).
 52. Thayikkannu A. B., Kindo A. J., Veeraraghavan M.: *Indian J. Dermatol.* 60, 332 (2015).
 53. Aas J. A., Paster B. J., Stokes L. N., Olsen I., Dewhirst F. E.: *J. Clin. Microbiol.* 43, 5721 (2005).
 54. Klich M.: *Mol. Plant Pathol.* 8, 713 (2007).
 55. Soubani A. O., Chandrasekar P. H.: *Chest* 121, 1988 (2002).
 56. Fairs A., Wardlaw A. J., Thompson J. R., Pashley C.: *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.* 20, 490 (2010).
 57. Borrego S., Molina A., Santana A.: *EC Microbiol.* 11, 205 (2017).
- T. Branyšová^a, B. Teplá^a, K. Demnerová^a, H. Stiborová^a, and M. Ďurovič^b** (^a *Department of Biochemistry and Microbiology, Faculty of Food and Biochemical Technology*, ^b *Department of Chemical Technology of Monument Conservation, Faculty of Chemical Technology, University of Chemistry and Technology, Prague*): **Biodeterioration of Audio-Visual Materials**
- Photographic and film materials carry a unique testimony of our ancestors' lives. For this reason, we must pay attention to the careful archiving and inspection to preserve its legacy for future generations. Although the influence of physical conditions on audio-visual materials is a well-known phenomenon, microorganisms' impact has long been neglected. This article presents: (i) examples of the most common manifestations of biodeterioration, such as changes in colour or texture; (ii) a summary of methods to identify the originators of these processes; (iii) reasons for the importance of correct sampling; and (iv) description of the most contaminating microorganisms on photographs and film reels.
- Keywords: biodeterioration, photos, films, microbial identification, metagenomics
- Acknowledgements*
This review was supported by grants from the Ministry of Culture of the Czech Republic (grant no. DG18P02OVV062).