قارچ‌ها در آرشیوها، کتابخانه‌ها و موزه‌ها: مروری بر حفاظت کاغذ و سلامت انسان

نویسندگان: آنا کاتارینا پینهیرو، سیلویا اولیویرا سکوئیرا
و ماریا فیلومنا ماسدو | مترجم: دکتر نگار رئیس‌نیا

چکیده:

تأثیر قارچ‌ها بر کتاب‌ها، اسناد، نقشه‌ها و آثار هنری کاغذی، موجب خسارات فرهنگی بسیار زیادی می‌شود. همچنین، برخی از قارچ‌های موجود در اسناد کاغذی، سطوح و هوای آرشیوها، کتابخانه‌ها و موزه‌ها، تهدیدی برای سلامت انسان محسوب می‌شوند. هدف از این پژوهش بررسی مطالعات گذشته در مورد مهم‌ترین و متداول‌ترین جمعیت‌های قارچ‌های میکروسکوپی مجموعه‌های کاغذی در سراسر جهان و ایجاد ارتباط این داده‌ها با خطرات سلامتی انسان می‌باشد. در مجموع ۷۱ مطالعه، بین سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۱۸ بررسی و سازمان‌دهی شده و از ۲۷ کشور مختلف، ۲۰۷ جنس قارچ و ۵۸۰ گونه گزارش شده است. کاتومیوم[1] و فوزاریوم[2] از آلاینده‌های اختصاصی موجود در هوای آرشیوها هستند و باعث تخریب زیستی کاغذ می‌شوند. شایع‌ترین قارچ‌های گزارش‌شده (مانند گونه‌های پنی‌سیلیوم[3]، آسپرژیلوس[4] و آلترناریا[5]) علاوه‌بر تأثیر مخرب بر حفاظت از کاغذ، می‌توانند آثار نامطلوبی بر سلامت انسان داشته باشند. در این مطالعه شایع‌ترین گونه‌های قارچی جدا شده از مواد کاغذی دارای تغییر رنگ، با جزئیات بیشتری مورد بحث قرار می‌گیرند. همچنین ملاحظاتی نیز در خصوص روش‌های شناسایی و کمّی سازی آلودگی قارچی ارائه شده است. در نهایت، نویسندگان بر نیاز فوری به استانداردسازی تحقیقات در این زمینه تأکید کرده و مطالعات بیشتری پیشنهاد شد.

1. *Chaetomium*
2. *Fusarium*
3. *Penicillium*
4. *Aspergillus*
5. *Alternaria*

کلیدواژه‌ها

قارچ‌ها، آرشیوها، کتابخانه‌ها، حفاظت کاغذ، سلامت انسان.

قارچ‌ها در آرشیوها، کتابخانه‌ها و موزه‌ها: مروری بر حفاظت کاغذ و سلامت انسان[1]

نویسندگان : آنا کاتارینا پینهیرو[2] ، سیلویا اولیویرا سکوئیرا[3] و ماریا فیلومنا ماسدو[4] | مترجم: دکتر نگار رئیس‌نیا[5]

مقدمه

آثار هنری و اسناد مهم غالبا از کاغذ ساخته شده‌اند و در نتیجه در معرض آسیب‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی قرار دارند. تخریب زیستی کاغذ توسط قارچ‌ها یکی از مهم‌ترین دلایل این آسیب‌ها می‌باشد که در مجموعه‌های کتابخانه و آرشیو رخ می‌دهد (شکل ۱). گونه‌هایی از قارچ‌هایی که باعث تخریب زیستی کاغذ می‌شوند برای متخصصان کتابخانه–آرشیو و کاربران نیز خطرناک هستند، زیرا متابولیت‌های قارچی ممکن است باعث ایجاد واکنش‌های آلرژیک شوند.

زیسکا[7] در سال ۱۹۹۷، قارچ‌های جدا شده از مواد کتابخانه‌ای را مورد بررسی قرار داد. در آن مطالعه داده‌ها از منابع بسیار زیادی جمع‌آوری شدند، زیرا مطالعه فقط برروی کاغذ متمرکز نبوده و شامل مجموعه‌ای از مواد موجود در موزه‌ها، آرشیوها و کتابخانه‌ها بود. اکنون پس از دو دهه، تحقیقات زیادی در مورد قارچ‌ها در مجموعه‌های کاغذی انجام شده، روش‌های شناسایی جدیدی به‌کار گرفته شده و محدوده‌های آلودگی قارچی برای حفاظت از کاغذ و سلامت انسان پیشنهاد شده است. بنابراین، در حال حاضر باید به چند پرسش پاسخ داده شود: وضعیت فعلی از نظر آلودگی قارچی در آرشیو چیست؟ آیا نتایج مربوط به مطالعات آلودگی هوا و سطوح دارای ارتباط هستند؟ آیا محدوده‌ها در کشورهای مختلف مشابه است؟ رایج‌ترین جنس‌ها و گونه‌ها کدام بوده و آیا می‌توانند مجموعه‌ها و سلامت انسان را به‌خطر بیندازند؟ آیا واقعا می‌توان در مورد محدوده آلودگی قارچی صحبت کرد؟ آیا پروتکل‌های زیست‌شناسی مولکولی کنونی برای یافتن روش‌های جدید در این خصوص مورداستفاده قرار می‌گیرند؟ و خلأهای عمده در این

1. Fungi in archives, libraries, and museums: a review on paper conservation and human health, Critical Reviews in Microbiology, 45: 5-6, 686-700, DOI: 10.1080/1040841X.2019.1690420.

۲. گروه حفاظت و مرمت دانشکده علوم و فناوری دانشگاه NOVA لیسبون، پرتغال؛ دانشکده علوم و فناوری دانشگاه NOVA لیسبون، پرتغال

3. Ana Catarina Pinheiro

4. Sílvia Oliveira Sequeira

5. Maria Filomena Macedo

۶. کارشناس سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران

7. Zyska

زمینه تحقیقاتی چیست؟ این مطالعه مروری در نظر دارد داده‌های به‌دست آمده از مطالعات مجزا، مربوط به سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۸ را با هم هماهنگ کرده و آن‌ها را به‌منظور ارتقاء پاسخگویی به پرسش‌های بالا تجزیه و تحلیل کند.

روش‌شناسی فرایند بررسی

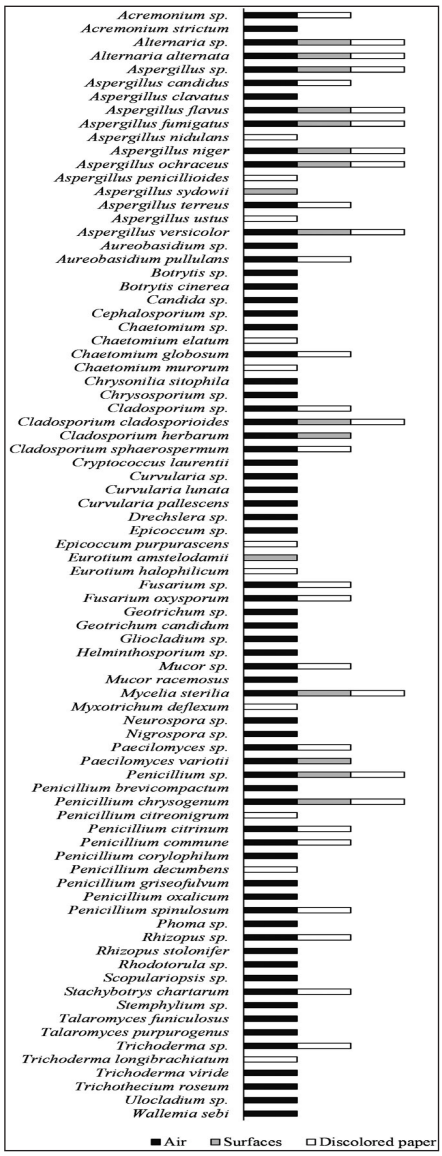
مروری بر تحقیقات پیشین، برای جمع‌آوری مطالعات انجام شده در خصوص تجزیه و تحلیل جمعیت قارچی موجود در هوا و سطوح آرشیوها و کتابخانه‌ها یا کاغذهای تغییر رنگ یافته از اشیاء میراث فرهنگی انجام شد. مقالات یا فصل‌های کتاب از طریق جستجو با استفاده از Science Direct، Scopus، ISI Web of Knowledge، Google Scholar، Google Books و ResearchGate، با ترکیب‌های مختلفی از واژه‌های: قارچ‌ها، ریزاندامگان‌ها، کپک، کاغذ، آرشیو، کتابخانه، هوا، موزه، میراث فرهنگی، کتاب، اسناد، سلامت، و قرار گرفتن در معرض آلودگی، مورد جست‌وجو و بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل هوا، هر دو روش فعال و غیرفعال در نظر گرفته شد. مطالعات آلودگی سطوح، تجزیه و تحلیل بار میکروبی قفسه‌ها، میزهای مطالعه، جلدها و کف مراکز حاوی مجموعه‌های کاغذی را شامل می‌شود .

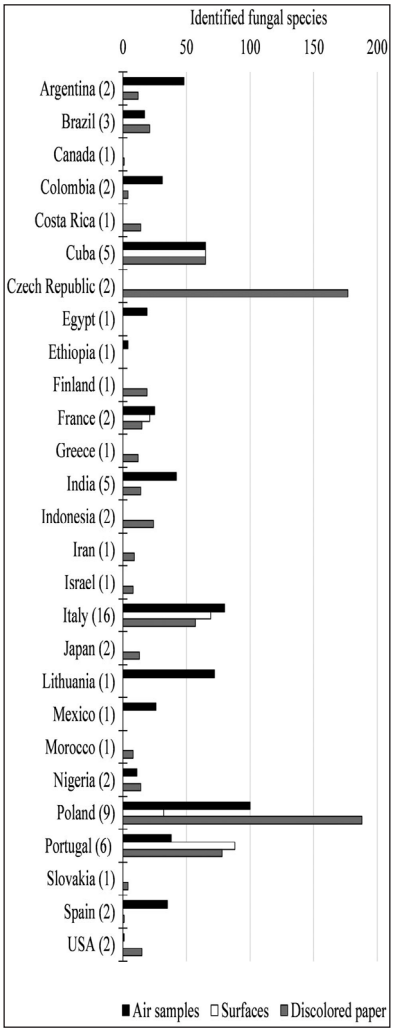
تصویر ۱- شیوع قارچ در نتیجه نشت آب از سقف یک مخزن آرشیو (AHU-DGLAB، پرتغال، ۲۰۰۵).

بررسی قارچها در مواد کاغذی دارای تغییر رنگ، علاوه بر اشیاء کاغذی کتابخانه‌ها و آرشیوها، انواع مختلفی از اشیاء نگهداری شده در کنار مواد کاغذی سایر مؤسسات فرهنگی را نیز در نظر می‌گیرد. فقط نمونه‌های گرفته‌شده از قسمت‌های کاغذی اشیاء که شواهدی از کلونیزاسیون قارچی را نشان می‌دهند مورد مطالعه قرار گرفتند؛ زیرا هدف پیداکردن جمعیت قارچی مسئول تخریب زیستی کاغذ بود. فقط مطالعاتی که بین سال‌های ۱۹۹۷ (زیسکا، ۱۹۹۷) و ۲۰۱۸ انجام شده بود، برای این بررسی در نظر گرفته شدند که منجر به گردآوری و تجزیه وتحلیل ۷۱ مقاله شد.

گونه‌های قارچی گزارش‌شده در آرشیوها و کتابخانه‌ها

از زمان زیسکا (۱۹۹۷)، تعداد و کیفیت مطالعات در مورد تخریب زیستی میراث فرهنگی کاغذی در اثر قارچ، قابل‌ملاحظه بوده است. در تصویر۲. می‌توان کشورهایی را که بیش از همه به مطالعه آلودگی قارچی در آرشیوها و کتابخانه‌ها متعهد هستند را مشاهده کرد. ایتالیا، لهستان، پرتغال و کوبا بیشترین تعداد مطالعات منتشر شده در این زمینه را دارند و همه آن‌ها بر هر سه نوع نمونه (هوا، سطوح، کاغذ دارای تغییر رنگ) در نظر گرفته شده، متمرکز بوده‌اند. بااین‌حال، با توجه به اینکه ارزیابی‌های انجام‌شده از نظر روش‌شناسی و تیمار/ تحلیل نمونه بسیار متنوع هستند، نمی‌توان مستقیما تنوع جمعیت قارچی را استنباط کرد. این مشکل، به لزوم یافتن زمینه‌های مشترک و ایجاد دستورالعمل‌های تجربی برای مطالعه آلودگی قارچی در آرشیوها اشاره دارد. به‌منظور تسهیل تجزیه و تحلیل رایج‌ترین گونه‌ها/ جنس‌های قارچی، تصویر۳. قارچ‌های شناسایی‌شده در بیش از سه مطالعه موردی را نشان می‌دهد.





تصویر ۲ (راست)- در مطالعه مروری حاضر داده‌های مربوط به ۲۷ کشور مختلف بررسی شده است. در پرانتز تعداد مطالعات تجزیه و تحلیل شده و همچنین تنوع مشاهده شده در هر کشور و هر نوع نمونه (هوا، سطوح، و کاغذ تغییر رنگ یافته) نشان داده شده است.

تصویر ۳ (چپ)- گونه‌های قارچی جدا شده از هوا، سطوح یا کاغذهای تغییر رنگ یافته از متون بررسی شده. هر نوار (سیاه، خاکستری یا سفید) نشان‌دهنده سه یا چند مطالعه است که گونه‌های قارچی در آن مطالعات شناسایی شده‌اند.

آلودگی هوا - تجزیه و تحلیل کیفی

اکثر مطالعات محیطی انجام شده، در ۲۰ سال گذشته، بر جمعیت قارچی موجود در هوای مراکز مختلف متمرکز بوده‌اند. گونه‌های کلادوسپوریوم، آسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم تقریبا در همه نمونه‌های هوا وجود داشته و می‌توانند کنیدی‌های[1] متعددی تولید کنند، که به‌راحتی توسط هوا پراکنده می‌شوند(Abrusci et al. 2005). بسیاری از قارچ‌های رایج در فضای آرشیوها و کتابخانه‌ها که قادر به تجزیه سلولز هستند شامل گونه‌هایی از آسپرژیلوس، کاتومیوم، ترایکودرما[2] و پنی‌سیلیوم هستند. برخی از این قارچ‌ها از قبیل کاتومیوم، فوزاریوم[3] و ژئوترایکوم[4] در مقایسه با محیط‌های دیگر از آلاینده‌های اختصاصی هوای آرشیوها بوده و دو مورد اول با تخریب زیستی کاغذ مرتبط هستند(Caneva et al. ,2003; Corte et al. 2003; Lourenc¸o et al. 2005; da Silva et al. 2006). گونه‌های ترایکودرما در مکان‌های دیگر به این شکل رایج نبوده و می‌توانند به صورت ویژه‌ای با تخریب زیستی کاغذ مرتبط باشند، زیرا این جنس به تولید گسترده آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز شناخته شده است(Pandey et al., 2015). همان‌طور که در تصویر۳، نشان داده شده است، هر دو گونه ترایکودرما ویریده[5] و ترایکودرما لانگی‌براکیاتوم[6] غالبا در کاغذ یا هوای مکان‌های نگهداری شناسایی شده‌اند.

قارچ‌هایی که در اغلب موارد علائم آلرژیک را به‌وجود می‌آورند متعلق به جنس‌های آلترناریا، کلادوسپوریوم[7]، آسپرژیلوس، کاندیدا[8]، پنی‌سیلیوم، موکور[9]، فوزاریوم و رایزوپوس[10] هستند(Micalli et al., 2003). حداقل ۶۰۰ گونه قارچ وجود دارد که با انسان در تماس هستند و کمتر از ۵۰ گونه، اغلب در مطالعات اپیدمیولوژیک در محیط‌های داخلی شناسایی و توصیف شده‌اند (Khan and Karuppayil ,2012). آزمایش‌های حساسیت‌زایی بر مجموعه‌ای از قارچ‌های داخلی، که معمولا انسان‌ها با آن‌ها در تماس هستند، انجام‌شده و نشان‌دهنده ایجاد واکنش‌های آلرژیک توسط آسپرژیلوس ورسی‌کالر[11]، آسپرژیلوس نیجر[12] و پنی‌سیلیوم سیترینوم[13] است(Khan et al., 2009). گونه‌های بالقوه بیماری‌زا/ سم‌زا (Valentin, 2007; NT-SCE-02, 2009) شامل آلترناریا آلترناتا[14]، آسپرژیلوس گلاکوس[15]، آسپرژیلوس نیجر، آسپرژیلوس فومیگاتوس[16]، آسپرژیلوس ورسی‌کالر، کاتومیوم گلوبوسوم[17]، کلادوسپوریوم هرباروم[18]، پنی‌سیلیوم بروی‌کامپکتوم[19] و استاکی بوتریس‌آترا[20] ، همگی در نمونه‌های هوا شناسایی شده‌اند. والنتین (۲۰۱۰) و قانون آیین‌نامه پرتغال 353-A/2013 نیز آسپرژیلوس فلاوس[21]، آسپرژیلوس اکراسئوس[22]، آسپرژیلوس ترئوس[23]، ترایکودرما ویریده و رایزوپوس نیگریکانس[24] را به صورت بالقوه سمی تلقی کرده‌اند که در مطالعات بررسی شده نیز وجود دارند.

در مطالعه‌ای که توسط Zielinska-Jankiewicz و همکارانش (۲۰۰۸) انجام شد، ۱۲ گونه برای انسان به عنوان بیماریزای بالقوه در نظر گرفته شد؛ ۸ مورد از آن‌ها ویژگی

1. *Conidia*
2. *Trichoderma*
3. *Fusarium*
4. *Geotrichum*
5. *Trichoderma viride*
6. *Trichoderma longibrachiatum*
7. *Cladosporium*
8. *Candida*
9. *Mucor*
10. *Rhizopus*
11. *Aspergillus versicolour*
12. *Aspergillus niger*
13. *Penicillium citrinum*
14. *Alternaria alternata*
15. *Aspergillus glaucus*
16. *Aspergillus fumigatus*
17. *Chaetomium globosum*
18. *Cladosporium herbarum*
19. *Penicillium brevicompactum*
20. *Stachybotrys atra*
21. *Aspergillus flavus*
22. *Aspergillus ochraceus*
23. *Aspergillus terreus*
24. *Rhizopus nigricans*

آلرژی‌زایی و ۱۱ گونه ویژگی سمی، نشان دادند. لوگاوسکاس و کریستاپونیس (۲۰۰۴) تأکید کردند که ویژگی حساسیت‌زای قارچ‌های شناسایی‌شده در کتابخانه‌ها و پتانسیل آن‌ها برای تولید و انتشار متابولیت‌های ثانویه سمی فرار، ممکن است خطراتی برای سلامتی کارکنان کتابخانه ایجاد کند. هر دو گونه کاتومیوم و استاکی بوتریس (که در تصویر ۳ رایج‌ترین هستند) متابولیت‌های ثانویه مختلفی را در کشت خالص ایجاد کردند. کاتومیوم گلوبوسوم می‌تواند کاتوگلوبوسین[1] و کاتومین[2] تولید کند، در حالی‌که گونه‌های دیگر کاتومیوم می‌توانند در موارد خاصی استریگماتوسیستین[3]، که یک سرطان‌زای قوی است، را تولید کنند. استاکی بوتریس چارتاروم[4] می‌تواند تریکوتسن‌ها[5] و آترانون‌ها[6] را که عامل مسمومیت قارچی در انسان هستند، آزاد کنند (Bennett and Klich, 2003).

گونه‌های آسپرژیلوس که در نمونه‌های موجود در هوا لیست شده‌اند، در آرشیوهای سراسر جهان بسیار متداول بوده (به تصویر ۳ نگاه کنید) و تولیدکننده مایکوتوکسین‌ها هستند. آزمایش‌ها در شرایط Invitro نشان دادند که تولید متابولیت‌ها و مایکوتوکسین‌ها تحت تأثیر محیط‌های کشت مورد استفاده، دمای انکوباسیون و فعالیت آبی قرار می‌گیرند .(Nielsen, 2003) همچنین نشان می‌دهد که چرا گاهی مایکوتوکسین‌ها، حتی با حضور قارچ‌های تولیدکننده توکسین، شناسایی نمی‌شوند. کپک‌ها به هنگام رشد بر روی مصالح ساختمانی، متابولیت‌های مختلفی تولید می‌کنند و تولید سم تحت تأثیر سایر اجزا زیستی در کشت‌های مخلوط قرار می‌گیرد (Nielsen, 2003). متابولیت‌های ثانویه و مایکوتوکسین‌ها برای گونه‌های مختلف اختصاصی بوده و برای شناسایی جدایه‌ها در سطح گونه دارای اهمیت شایانی است. همچنین، مخلوط متابولیت‌ها می‌توانند اثرات آن‌ها را تشدید یا تقویت کند(Nielsen, 2003).

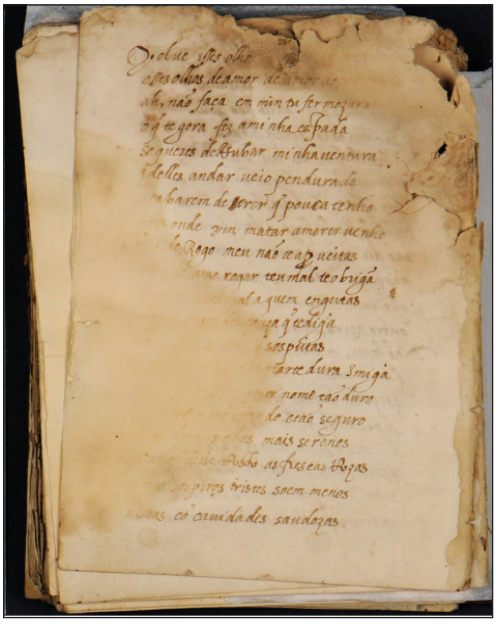
قارچ‌های برگرفته از سطوح در مطالعات آلودگی قارچی

مطالعات اندکی برای بررسی مکان‌های نگهداری از کتاب‌ها، اسناد و جلدهایی که با دستان کارکنان/ مطالعه‌کنندگان در تماس است، انجام شده است. مطالعات انجام شده در این زمینه هم کمی و هم کیفی هستند. همانطور که قبلا اشاره شد، بررسی صورت پذیرفته توسط زیسکا (۱۹۹۷) در خصوص قارچ‌های آرشیوها و کتابخانه‌ها، شامل جمع آوری اطلاعات از منابع متنوع بود. در واقع، علاوه بر کتاب‌ها بر مجموعه‌ای از موادی که می‌توان در موزه‌ها، آرشیوها یا کتابخانه‌ها پیدا کرد، متمرکز است؛ و حاوی اطلاعاتی از نمونه‌های هوا و سطوح است که می‌تواند برای شناخت واقعی جوامع قارچی موجود در آن مکان‌ها، ضروری باشد. برخی از اسپورها، با توجه به ویژگی‌های ساختاری خود، تمایل به تجمع داشته و در هوا منتقل نمی‌شوند؛ از این رو حتی در صورت وجود در محیط، پیدا کردن آن‌ها در نمونه‌های هوا بسیار دشوار است(Duchaine and

1. chaetoglobosins
2. chetomin
3. sterigmatocystin
4. *Stachybotrys chartarum*
5. trichothecenes
6. atranones

(Meriaux, 2001). به عنوان مثال می‌توان به استاکی بوتریس چارتاروم (قارچی که بیشتر با سندروم بیماری ساختمان[1] مرتبط است)، (Bennett and Klich, 2003) اشاره کرد؛ که در مراکز آرشیوی مورد بررسی، این قارچ خاص رایج بوده و در نمونه هوا و کاغذهای دچار تخریب زیستی یافت می‌شود (تصویر ۳ را ببینید).

هنگام جستجوی درماتوفیت‌ها (عوامل قارچی مسبب بیماری‌های پوستی)، نمونه‌گیری از سطوح بهترین انتخاب است. این قارچ‌ها قادر به تخریب کراتین هستند. به عنوان مثال ترایکوفیتون روبروم[2] و سایر قارچ‌های کراتین‌دوست از کتابخانه دانشگاه جدا شده‌اند (Jain, 2000). از این رو، آگاهی کارکنان و کاربران کتابخانه و آرشیو نسبت به این موضوع بسیار مهم بوده و لازم است هنگام تماس پوستی با این سطوح آلوده، مراقبت کافی صورت گیرد.



تصویر ٤- نسخه خطی (قرن شانزدهم، مجموعه خصوصی) که تخریب قارچی را نشان می‌دهد.

والنتین (۲۰۰۷) تجزیه و تحلیل‌های مربوط به هوا و سطوح را به طور کمی مقایسه کرد؛ نتایج به دست آمده بیانگر این است که به منظور کاهش قابل توجه رشد میکروبی، اشیا سلولزی باید در شرایط محیطی عاری از آلودگی قرار گیرند. این امر بر اهمیت نمونه‌برداری از سطح مواد سلولزی می‌افزاید، زیرا در صورت تغییر شرایط محیطی، سطوح ابزار اندازه‌گیری قابل اعتمادتری هستند.

1. Sick building syndrome
2. *Trichophyton rubrum*

از معدود مطالعات انجام شده در مورد تجزیه و تحلیل سطوح می‌توان به مطالعه مگی و همکارانش (۲۰۰۰) اشاره نمود، که جنس‌های شناسایی شده بیشتر شامل آسپرژیلوس (شامل آسپرژیلوس فومیگاتوس)، کلادوسپوریوم، پنی‌سیلیوم، کاتومیوم، و آلترناریا بودند. به صورت میانگین ۱۰ واحد تشکیل دهنده کلنی (CFU) در هر منطقه نمونه‌برداری شده (۲۴ سانتیمتر مربع) شناسایی شد. مطالعه انجام‌شده توسط ZielinskaJankiewicz و همکاران (۲۰۰۸) شامل نمونه‌های هوا و سطوح بود. کلادوسپوریوم و پنی‌سیلیوم شایع‌ترین جنس‌ها و میزان آلودگی 800-1000 CFU/m^2 بود. در کتابخانه صومعه جاسنا گورا، هارکاوی و همکاران (۲۰۱۱) حداکثر میزان بار میکروبی سطوح را 10000 CFU/m^2 اعلام کردند. میزان مشابه آلودگی سطوح 10000 CFU/m^2) (در مطالعات پینهیرو (۲۰۱۴) نیز ذکر شده است. در هر دو مطالعه هارکاوی و همکاران (۲۰۱۱) و Zielinska-Jankiewicz و همکاران (۲۰۰۸)، نمونه‌های هوا دارای تنوع قارچی بالاتری نسبت به نمونه‌های سطحی بوده‌اند، اما در نمونه‌های سطحی پینهیرو، مجموعه‌ای متنوع‌تر از جنس/گونه‌های قارچی نسبت به نمونه‌های هوا به‌دست‌آمد (Pinheiro, 2014; Pinheiro, 2015). این نتیجه منطبق با سایر مراکز (از قبیل: سالن‌های ورزشی، مراکز مراقبت از سالمندان) می‌باشد که در آن تعداد گونه‌ها/جنس‌های مختلف در سطوح، دو برابر نمونه‌های موجود در هوا است(Viegas et al. 2011; Viegas et al., 2014). آلودگی سطوح به طور طبیعی مربوط به گرد و غبار و تجمع مواد آلی بوده و می‌توان استدلال کرد که با اقدامات حفاظتی می‌توان از آن جلوگیری کرد. با این حال، از آنجایی که آرشیوها و کتابخانه‌ها معمولا مکان‌های بزرگی با فضای فشرده ذخیره‌سازی (و تعداد محدود کارکنان) هستند، معمولا انجام مناسب و منظم اقدامات حفاظت و نگهداری کار دشواری است. با در نظر گرفتن این موضوع، احتمالا به کارگیری تدابیر حفاظت شخصی هنگام کار در این مکان‌ها اهمیت دارد.

جداسازی از مواد کاغذی/ کتابی تغییر یافته			ویژگی‌ها				
	شرایط رشد						
گونه‌های قارچی	روش شناسایی	منابع	رنگ ها	آنزیم‌ها	a_w	دما C°	منابع
Aspergillus flavus Link	C	Nol et al (2001); Zotti et al. (2008); Bankole (2010); Borrego et al. (2012); Castillo	زرد، سبز، نارنجی	(+++/-) سلولاز (++/+++) آمیلاز (+) ژلاتیناز (+) پروتئاز	>0.78–0.80	10–48 (33)	Das et al. (1997); Gopinath et al. (2005);Janda et al. (2009); Pitt and Hocking (2009); Samson et al. (2010); Saleem and Ebrahim (2014); Anaya et al. (2016); Oetari et al. (2016); Okpalanozie et al. (2018)
	C+DNA	Oetari et al. (2016); Okpalanozie et al. (2018); Teixeira et al.) 2018)					
Aspergillus fumigatus Fresen.	C	Das et al. (1997); Nol et al (2001); Lourenc ,o et al. (2005); Bankole (2010)	فیروزه ای خاکستری‌سبز تیره	(+/+++) سلولاز (+++) آمیلاز (+) ژلاتیناز (++) لیپاز پروتئاز	>0.82–0.94	12–55 (37–42)	Pasanen et al. (1991); Das et al. (1997); Tepsic et al. (1997); Samson et al. (2000); Chang et al. (2004); Gopinath et al. (2005); Janda et al. (2009); Pitt and Hocking (2009); Oyeleke et al. (2010); Low et al. (2011); Saleem and Ebrahim (2014)
	DNA	Di Bonaventura et al. (2003); Krakov_a et al. (2012)					
	C+DNA	Mesquita et al. (2009); Castillo et al. (2016); Oetari et al. (2016)					

جداسازی از مواد کاغذی/ کتابی تغییر یافته			ویژگی‌ها				
	شرایط رشد						
گونه‌های قارچی	روش شناسایی	منابع	رنگ ها	آنزیم‌ها	a_w	دما C°	منابع
Aspergillus niger Tiegh.	C	Das et al. (1997); Nol et al (2001); Adelantado et al. (2005); Lourenc¸o et al. (2005); da Silva et al. (2006); Michaelsen et al. (2009); Bankole (2010); Borrego et al. (2012)	سیاه/قهوه ای تیره (ملانین و رنگ‌های هگزا هیدروکسیل پنتاسیکلیک (کینوئید	(+++/-) سلولاز (+++/-) آمیلاز (++) ژلاتیناز (+) پروتئاز	>0.77 (0.97)	6–47 (30–37)	Fogarty and Kelly (1979); Das et al. (1997); Samson et al. (2000); Parra and Magan (2004); Gopinath et al. (2005); Janda et al. (2009); Jorgensen et al. (2011); Borrego et al. (2012); Saleem and Ebrahim (2014); Bergadi et al. (2014); Anaya et al. (2016); Oetari et al. (2016); Okpalanozie et al. (2018)
	C+DNA	Bergadi et al. (2014); Oetari et al. (2016); Pietrzak et al. (2017); Coronado-Ruiz et al. (2018); Krakov_a et al. (2018); Okpala-nozie et al. (2018); Teixeira et al. (2018)					
Aspergillus terreus Thom	C	Fabbri et al. (1997); Ricelli et al. (1999); Nol et al (2001); Zerek (2003)	زرد-قهوه ای	(+++) سلولاز (+++/-) آمیلاز (+) ژلاتیناز	>0.78	11–48 (35–40)	Samson et al. (2000); Pitt and Hocking (2009); Shahriarinour et al. (2011); DNA Michaelsen et al. (2010); Pinheiro (2014) Saleem and Ebrahim (2014)
	DNA	Michaelsen et al. (2010); Pinheiro (2014)					
	C+DNA	Pinheiro (2014)					

جداسازی از مواد کاغذی/ کتابی تغییر یافته			ویژگی‌ها				
	شرایط رشد						
گونه‌های قارچی	روش شناسایی	منابع	رنگ ها	آنزیم‌ها	a_w	دما C°	منابع
Aspergillus Versicolour Vuill.)) Tiraboschi	C	Hyvarinen et al. (2002); Zerek (2003); (Lourenc¸oet al. (2005); da Silva et al. (2006	سفید، زرد، نارنجی،سبز، گوشتی،صورتی، سبز مایل به خاکستری	سلولاز (+/++) آمیلاز (+/++) ژلاتیناز (+++) لیپاز (+)	0.78< (0.95–0.90)	39– 5 (27–25)	Reiss (1978); Samson et al. (2000); Pitt and Hocking (2009); Samson et al. (2010); Adan and Samson ;((2011 Borrego et al. (2012); Saleem and Ebrahim (2014); (Oetari et al. (2016
	DNA	Michaelsen et al. (2009); Michaelsen et al. (2010); Pinheiro (2014); Okpalanozie et al. ((2018					
	C+DNA	Mesquita et al. (2009); Sato et al. (2014); Oetari et al. (2016); Coronado-Ruiz et al. (2018); Krakov_a et al. (2018); Teixeira et (al. (2018					
Chaetomium globosum Kunze	C	Das et al. (1997); Szczepanowska and Cavaliere (2000); Corte et al. (2003); Lourenc¸oet al. (2005)	ای تیره،قهوه کروم، کمی مایل به زرد یا رنگ بنفش	سلولاز (+/+++) آمیلاز (++) پروتئاز	>0. 90	4– 38 (25)	Florenzano (1949); Lakshmikant (1990); Das et al. (1997); Skeist (2007);Sharma and Shukla (2008); Pitt and Hocking (2009); Abdel-Azeem et al. (2016); Saleem and Ebrahim (2014); Andersen et al. (2016)
	DNA	Rakotonirainy et al. (2007)					
	C+DNA	Sequeira et al. (2019); Mesquita et al. (2009); Pietrzak et al. (2017); Corona-do-Ruiz et al. (2018)					

جداسازی از مواد کاغذی/ کتابی تغییر یافته			شرایط رشد				ویژگی‌ها
گونه‌های قارچی	روش شناسایی	منابع	رنگ ها	آنزیم‌ها	a_w	دما C°	منابع
Cladosporium cladosporioides (Fresen.) G.A. de Vries	C	da Silva et al. (2006); Zotti et al. (2008)	زیتونی،خاکستری مایل به آبی یا سیاه	(+++/-) سلولاز (++/-) آمیلاز (+/-) لیپاز (+/-) پروتئاز	>0.86 (0.985)	4–32 (25)	Sautour et al. (2002); Gopinath et al. (2005); Pitt and Hocking (2009); Borrego et al. (2012); Saleem and Ebrahim (2014); Anaya et al. (2016); Coronado-Ruiz et al. (2018)
	C+DNA	Mesquita et al. (2009); Michaelsen et al. (2009); Coronado-Ruiz et al. (2018)					
Epicoccum nigrum Link	C	Corte et al. (2003)	ای،نارنجی،قهوه ،قرمز صورتی، زرد، سبز، سیاه	(++/+) سلولاز (+/+++) آمیلاز (-) پروتئاز	>0.86–0.90	4 –45 (20–28)	Samson et al. (2000); Pitt and Hocking DNA Michaelsen et al. (2009); Pinheiro (2014) (2009); F_avaro et al. (2011)
	DNA	Michaelsen et al. (2009); Pinheiro (2014)					
	C+DNA	Karakasidou et al. (2018); Teixeira et al. (2018)					

جداسازی از مواد کاغذی/ کتابی تغییریافته			شرایط رشد			ویژگی‌ها	
گونه‌های قارچی	روش شناسایی	منابع	رنگ ها	آنزیم‌ها	a_w	دما C°	منابع
Penicillium chrysogenum Thom	C	Fabbri et al. (1997); Ricelli et al. (1999); Corte et al. (2003); Michaelsen et al. (2009); Borrego et al. (2012)	آبی مات، خاکستری ای، کدر فیروزه سبز آبی سبز، رنگ زرد	(+/+++) سلولاز (-/+++) آمیلاز (-/+) پروتئاز	>0.78–0.81 (0.985)	_4–37 (23-25)	Samson et al. (2000); Sautour et al. (2002); Pitt and Hocking (2009); Chinedu et al. (2011); Saleem and Ebrahim (2014); Bergadi et al. (2014); Anaya et al. (2016); Andersen et al. (2016)
	DNA	Di Bonaventura et al. (2003); Michaelsen et al. (2010); Karakasidou et al. (2018)					
	C+DNA	Sequeira et al. (2019); Mesquita et al. (2009); Michaelsen et al. (2009); Sato et al. (2014); Sterflinger and Engel (2014); Bergadi et al. (2014); Pietrzak et al. (2017); Coronado-Ruiz et al. (2018); Krakov_a et al. (2018); Teixeira et al. (2018)					

جداسازی از مواد کاغذی/ کتابی تغییریافته			ویژگی‌ها			
		شرایط رشد				
گونه‌های قارچی	روش شناسایی	منابع	رنگ ها	آنزیم‌ها	a_w	دما C°	منابع
Penicillium citrinum Thom	C	Corte et al. (2003); Lourenc¸o et al. (2005); da Silva et al. (2006); Borrego et al. (2012)	نارنجی مایل به خاکستری، ای مایل‌فیروزه به خاکستری؛ زرد روشن	(+++/+-) سلولاز (+++/+) آمیلاز (+) لیپاز (+) پروتئاز	>0.80–0.84	5–37 (26–30)	Samson et al. (2000); Gopinath et al. (2005); Pitt and Hocking (2009); Borrego et al. (2012); Saleem and Ebrahim (2014); Okpalanozie et al. (2018)
	DNA	Rakotonirainy et al. (2007)					
	C+DNA	Sequeira et al. (2019); Oetari et al. (2016); Karakasidou et al. (2018); Okpalanozie et al. (2018)					
Penicillium commune Thom	C	Michaelsen et al. (2009); Borrego et al. (2012)	کنیدی های ای مایل به‌فیروزه خاکستری یا سبز مات	(+++) سلولاز (+) آمیلاز (+) پروتئاز	>0.83	؟-30 (25)	Samson et al. (2000); Pitt and Hocking (2009); Borrego et al. (2012); Bergadi et al. (2014)
	C+DNA	Sequeira et al. (2019); Sato et al. (2014); Bergadi et al. (2014); Krakov_a et al. (2018)					

جداسازی از مواد کاغذی/ کتابی تغییریافته			ویژگی‌ها				
	شرایط رشد						
گونه‌های قارچی	روش شناسایی	منابع	رنگ ها	آنزیم‌ها	a_w	دما C°	منابع
Penicillium spinulosum Thom	C	Zerek (2003); Lourenc¸o et al. (2005); Zotti et al. (2007); Zotti et al. (2008)	میسلیوم‌سفید؛ صورتی یا کم رنگ رنگ قهوه ای؛نارنجی ای یاقهوه ای قرمزقهوه	(+) سلولاز	>0.80	22–25	Ruegger and Tauk-Tornisielo (2004); Pitt and Hocking (2009)
	C+DNA	Pietrzak et al. (2017); Krakov_a et al. (2018)					
2 – 40 (23–27)	C	Das et al. (1997); Fabbri et al. (1997); Ricelli et al. (1999); Castillo et al. (2016)	مشکی، خاکستری، ای‌ای، قهوه‌قهوه زیتونی	(+++/_) سلولاز (+) آمیلاز	>0.91–0.94		Samson et al. (2000); Flannigan et al. (2011); Saleem and Ebrahim (2014); Sato et al. (2014); Andersen et al. (2016)
	C+DNA	Sequeira et al. (2019); Sato et al. (2014)					

aw : فعالیت آبی؛ C: خصوصیات مورفولوژیکی کلاسیک؛: DNA زیست شناسی مولکولی مستقل از کشت؛ C+DNA: زیست شناسی مولکولی وابسته به کشت. پتانسیل آنزیمی: (+++) قوی، (++) متوسط، (+) کم، (-) منفی. مقادیر حداقل و حداکثر فعالیت آبی (aw) و دما (T) برای رشد، به همراه مقادیر بهینه در پرانتزها ارائه شده است.

قارچ‌های بازیابی شده از کاغذهای تغییر رنگ داده- بیشتر از کاغذهای مشکوک به آلودگی؟

قارچ‌ها به عنوان عوامل تخریب‌کننده جدی اسناد کاغذی و آثار هنری در نظر گرفته می‌شوند (Fabbri et al. 1997). چندین مطالعه بر تأثیراتی که قارچ‌ها می‌توانند بر میراث مکتوب ما داشته باشند متمرکز شده‌اند که می‌تواند شامل تغییر رنگ کاغذ و جوهر (Florian and Manning 2000; Pinzari et al. 2006; Mesquita et al. 2009) ، تجزیه شیمیایی (Canhoto et al. 2004; Pinzari et al. 2010)، تشکیل لکه‌های رنگی شامل فاکسینگ (Szczepanowska and Cavaliere 2003)، و همچنین تخریب فیزیکی و مکانیکی باشد(Ponce-Jimenez et al. 2002; Caneva et al. 2003; Sterflinger 2010) (شکل ۴). برخی از قارچ‌ها می‌توانند آنزیم‌های سلولولیتیک تولید کنند که پلیمر سلولز را به واحدهای کوچک‌تر شکسته و ساختار کاغذ را ضعیف می‌کند. (Zyska 2002; Adamo et al. 2003; da Silva et al. 2006) همچنین، متابولیت‌های اسیدی می‌توانند توسط این ریزاندامگان آزاد شده و موجب هیدرولیز اسیدی در الیاف کاغذ شوند (Ponce-Jimenez et al. 2002). آزادشدن همه این آنزیم‌ها و / یا رنگدانه‌های خارج سلولی به صورت شیمیایی بر بستر اثر می‌گذارد.

ارتباط بین یک تغییر معین در یک سند (مثلا یک لکه) و حضور یک‌گونه قارچ موضوع چندین مطالعه بوده است. اکثر این مطالعات توانستند گونه موردنظر را شناسایی کنند، اما در اینکه آیا قارچ شناسایی‌شده، عامل واقعی تغییر (معمولا رنگی) است یا خیر، هنوز تردید وجود دارد. همچنین توجه به این نکته مهم است که فقط جدیدترین مطالعات، از پروتکل‌های زیست‌شناسی مولکولی برای شناسایی قارچ‌ها استفاده می‌کنند، و اغلب سایر مطالعات، مبتنی بر روش‌های وابسته به کشت رایج هستند. به استثنای مواردی که کلنی‌ها قابل‌مشاهده باشند، بیشتر آسیب‌های مرتبط با عوامل قارچی به صورت تغییرات رنگی در کاغذ ظاهر می‌شود. از نمونه‌های دارای تغییر رنگ، بدون آثار قابل‌مشاهده رشد قارچی، جداسازی قارچ معمولا به سختی صورت پذیرفته و در این شرایط پروتکل‌های زیست‌شناسی مولکولی نقش اساسی در تعیین عامل احتمالی دارند.

با توجه به اهمیت کنترل قارچ‌ها در حفاظت و مرمت آثار کاغذی، متداول‌ترین گونه‌های قارچی (شناسایی‌شده در سطح گونه و موجود در بیش از پنج مطالعه) مربوط به منابع مکتوب و کاغذهای دارای تغییر رنگ در جدول ۱. ارائه شده است. همه قارچ‌های شناسایی‌شده دارای درجات مختلفی از فعالیت سلولولیتیک با توجه به گونه و سویه هستند (جدول ۱). علاوه بر سلولازها، بیشتر گونه‌ها، آنزیم‌های خارج سلولی دیگری، مانند آمیلازها (تجزیه‌کننده نشاسته) و پروتئازها (تجزیه‌کننده ژلاتین یا چرم) را تولید کرده و مواد تشکیل‌دهنده یا اتصال‌دهنده کاغذ را تجزیه می‌کنند. همچنین، آن‌ها قادر به ترشح متابولیت‌های رنگی مختلف بوده و در نتیجه دارای پتانسیل تخریب در اسناد و آثاری

هستند که در آن‌ها کلونیزه شده و رشد می‌کنند. اکثر این گونه‌های قارچی، قادر به رشد در سطوح فعالیت آبی نزدیک به ۰٫۸۰ بوده و آن‌ها را به علت مقاومت به خشکی، واجد شرایط می‌کند. در خصوص دما، سطوح بهینه رشد حدودا ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد است که یک محدوده رایج برای دمای مورد نیاز انسان در کتابخانه‌ها، آرشیوها و موزه‌ها است.

قارچ‌ها بر اساس نیازهای رشد خود می‌توانند ترکیبات اسیدی را برای تغییر PH بستر، ترشح کنند. رشد گونه‌هایی از قارچ‌ها از قبیل آسپرژیلوس نیجر، آسپرژیلوس ترئوس، آسپرژیلوس اوستوس، آسپرژیلوس ورسی‌کالر، کلادوسپوریوم کلادوسپوریوئیدز، پنی‌سیلیوم کریزوژنوم، پنی‌سیلیوم سیترینوم، توانایی کاهش شدید PH (تا ۴ واحد PH) محلول‌های نمکی را، که در ابتدا تا PH 7 بافر شده بودند، نشان داده‌اند (Borrego et al., 2012). آسپرژیلوس نیجر همچنین قادر است محیط مرکب آهن مازو با PH 8 را تا PH 1.7 کاهش دهد (Messner et al., 1988). این نشان‌دهنده تولید قابل‌توجه متابولیت‌های اسیدی توسط رایج‌ترین گونه‌های قارچی موجود در مواد کاغذی است. از آنجایی که کاغذ، بسیار حساس به هیدرولیز اسیدی است، تولید مواد اسیدی نشانگر پتانسیل تخریب زیستی قابل‌توجه این سویه‌ها است. Sequeria و همکارانش (۲۰۱۷) نقش متابولیت‌های باقی‌مانده از آسپرژیلوس نیجر را در اسیدی‌شدن و از دست دادن شدید قابلیت تاخوردگی کاغذ نشان دادند. جدول ۱ همچنین روش‌های مورد استفاده برای شناسایی قارچ‌های دخیل در تخریب زیستی را نشان می‌دهد. ما می‌توانیم روند رو به افزایشی را در جهت استفاده از روش‌های شناسایی زیست‌شناسی مولکولی در جدیدترین مطالعات مشاهده کنیم که در آن تجزیه و تحلیل DNA وابسته به کشت بیشترین استفاده را دارد. با این حال، تجزیه و تحلیل‌های DNA نیز مشکلاتی را از نظر مدیریت و پردازش داده‌ها به همراه داشته است. از این رو، یک همکاری مشترک توسط کاتیا استرفلینگر و گروه‌های کاری در جلسات IBBS در منچستر و کویمبرا پیشنهاد گردید (Sterflinger et al., 2018)، زیرا پیشرفت‌های اخیر در روش‌های شناسایی (مانند توالی‌یابی نسل جدید) منجر به افزایش اطلاعات به میزان بسیار زیادی شده و آنچه مهم است جلوگیری از عدم‌تمرکز بر عوامل پراهمیت در حفاظت از منابع می‌باشد؛ از جمله: چه چیزی باعث ایجاد مشکل می‌شود؟ مکانیسم‌های تخریب کدامند و چگونه می‌توان از آن‌ها پیشگیری کرده و در حالت ایده‌آل، آن‌ها را اصلاح نمود؟ اگرچه این همکاری هنوز در مراحل بسیار ابتدایی است، هدف از این همکاری مشترک، تعریف رویه‌های استاندارد طلایی (از جمع‌آوری تا تجزیه و تحلیل داده‌ها) است، تا بتوان درک از تخریب زیستی را ارتقا داد. ایجاد پایگاه داده‌ای از رایج‌ترین میکروارگانیسم‌های شناسایی شده در اشیاء آسیب‌دیدهٔ میراث فرهنگی، اولین گام در این تلاش بوده و این بررسی– در زمینه بسیار خاص آرشیوها و مجموعه‌های کاغذی— می‌تواند کمک مهمی در این مرحله اولیه باشد.

تاثیر بار قارچی بر سلامت انسان و حفظ کاغذ، آیا می‌توان آن را ارزیابی کرد؟

ممکن است برخی از قارچ‌های دخیل در تخریب کاغذ برای متخصصان و کاربران کتابخانه / آرشیو نیز خطرناک باشند (Bennett and Klich 2003; Mesquita et al., 2009). اسپورهای قارچی باعث ایجاد علائم آلرژیک پوستی و تنفسی می‌شوند که ممکن است به طور مداوم یا با ریتم فصلی ظاهر شوند. تماس پوستی با مواد آلوده به کپک و استنشاق سموم مربوط اسپورها نیز از منابع مهم این نوع آلرژی‌ها هستند(Bennett and Klich, 2003). مایکوتوکسین‌ها، حتی در غلظت‌های پایین، باعث اختلالات گوارشی، آسیب به سیستم‌های هموپویتیک (خون‌سازی) و ژنیتال (سلول‌های جنسی)، و علائم غیراختصاصی (ضعف و تهوع) مشابه علائم سندرم بیماری ساختمان می‌شوند (Micalli et al., 2003). به گفته برخی از نویسندگان، شایع‌ترین ناراحتی‌های گزارش شده توسط کارکنان شاغل در کتابخانه‌ها، آرشیوها یا مراکز حاوی کتاب شامل: درماتیت، التهاب بینی، آلرژی و آسم است.(Valentin, 2007) در طول ۲۰ سال گذشته، مطالعات بسیار اندکی برای ارزیابی خطرات سلامت ناشی از قرار گرفتن در معرض این محیط‌های اختصاصی صورت پذیرفته است. Wiszniewska و همکارانش (۲۰۰۹) به این نتیجه رسیدند که ۳۰٪ از کارکنان موزه حداقل به یکی از آلرژن‌های قارچی آزمایش‌شده حساس هستند؛ شیوع علائم آلرژیک در بین افراد نسبتا بالا بوده و اغلب با آلرژن خاصی ارتباط داشت. شایع‌ترین علائم گزارش شده در افراد مورد بررسی شامل: ورم ملتحمه (۶۸٫۵٪)، التهاب بینی (۶۶٪)، علائم پوستی (۵۴٪)، سرفه مزمن (۲۶٪) و تنگی نفس (۲۸٪) بود. این علائم اغلب مربوط به بار قارچی موجود در هوای مراکز دارای مجموعه‌های کاغذی است. با این حال، تجزیه و تحلیل کمّی بار قارچی در هوای آرشیو و کتابخانه‌ها فقط توسط چند نویسنده انجام شده است (جدول ۲).

در مطالعات انجام شده به روش ایمپکت[1] (مکش هوا و دمش با فشار بالا بر روی پلیت حاوی آگار) آلودگی به صورت CFU/m^3 نشان داده شده است. اما سایر روش‌ها و ارائه داده‌ها ممکن است، گاهی اوقات نتایج کاملا متفاوتی داشته باشند(Molina-Veloso and Borre-go-Alonso, 2017). بنابراین، روش‌های نمونه‌برداری غیرحجمی هوا فقط به صورت مقدماتی یا به عنوان اطلاعات کیفی، قابل‌استفاده است (Samson et al., 2000).

در جدول ۳. برخی از پیشنهادات مربوط به محدوده‌های بار قارچی هوای داخل ساختمان (با در نظر گرفتن انواع ساختمان‌ها)، با لحاظ ریسک سلامتی نیروی انسانی، ارائه شده است. مطابق با جدول ۲، داده‌های به دست آمده از مطالعات آلودگی هوا مقادیر بالاتری از سطوح توصیه شده توسط اکثر دستورالعمل‌های موجود در مورد کیفیت هوای داخل ساختمان است (جدول ۳).

1. Impact method

علی‌رغم این واقعیت که محیط‌های حاوی قارچ‌ها به میزان 1 تا 1000 CFU/m^3 محیط‌های دارای آلودگی کم در نظر گرفته می‌شوند،(Nevailanen and Hyvarynen, 2015) باید به این نکته اشاره کرد که سطوح «کل» ذرات میکروبی معلق در هوا معمولا بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بیشتر از روش‌های ارزیابی مبتنی بر کشت است (Lignell et al., 2008; Nevailanen and Hyvarynen, 2015) و احتمالاً این دلیلی است که حتی در محیط‌های داخلی با آلودگی کم، کپک، بیماری‌های شغلی مانند آسم، آلرژی قارچی، ذات‌الریه، حساسیت مفرط و سایر پیامدهای سلامتی وجود دارد (Nevailanen and Hyvarynen, 2015).

جدول ۲- میزان آلودگی قارچی هوای داخلی آرشیوها و کتابخانه‌های کشورهای مختلف (تعیین با Impact method)

غلظت قارچی (CFU/m^3)	آرشیو یا کتابخانه	منابع
از 100 تا 500	کتابخانه آکادمی لیتوانی	Lugauskas and Krikstaponis (2004)
از 300 تا 800	کتابخانه ملی Martynas Ma_zvydas لیتوانی	Lugauskas and Krikstaponis (2004)
مقادیر میانگین بین 180 و 2300	مخزن کتابخانه و آرشیو، هلند	Zieli_nska-Jankiewicz et al. (2008)
از 200 تا حدود 1500	آرشیو تاریخی Ca' Granda، ایتالیا	Cappitelli et al. (2009)
از 2 تا 200	آرشیو ناحیه اوورا، آرشیو تاریخی اولت رامارینو، مؤسسه مسکن و بهسازی شهری، پرتغال	Pinheiro (2014); Pinheiro (2015)
از 10 تا 180	آرشیو ملی کوبا	Molina-Veloso and Borrego-Alonso(2017)

جدول ۳- محدوده‌های بار قارچی هوای داخلی با هدف حفاظت و کنترل خطر سلامتی، پیشنهاد شده توسط نویسندگان مجزا در کشورها و سازمان‌های مختلف.

محدوده های آلودگی قارچی و راهنمای سلامت انسان (CFU/m^3)	منابع
> 100 بیانگر یک آلودگی داخلی است.	Ohgke et al. (1987); Hurts et al. (1997)
150>	World Health Organization; (Goyer et al. 2001)
200>	Yang et al. (1993); Etkin (1994)
500>	Reynolds et al. (1990)
2000 آلودگی بسیار بالا و یک تهدید سلامتی	.Klanova (2000); Zieli_nska-Jankiewicz et al (2008)
<25 آلودگی بسیار پایین	Hayleeyesus and Manaye (2014)
25-100 آلودگی پایین	
100-500 آلودگی متوسط	
500-2000 آلودگی بالا	
>2000 آلودگی بسیار بالا	

محدوده بار قارچی و راهنمای حفاظت از منابع (CFU/m^3)	کشور	منابع
100	فرانسه	Capderou and Flieder (1999)
120	فرانسه	Parchas (2009)
150	ایتالیا	MIBAC (2001)
200	هلند	Karbowska-Berent et al. (2011)
50 برای گونه‌های خاص 150 برای مخلوطی از چندگونه 500 برای آلودگی‌های رایج قارچی هوابرد	هلند	Cieplik, 1997 (in Harkawy et al. (2011)

محدوده بار قارچی و راهنمای حفاظت از منابع (CFU/m^3)	کشور	منابع
0-25 بدون مشکل قابل پیش‌بینی 25-100 احتمال حضور منبع آلودگی، نیاز به آزمایش‌های بیشتر 100-1000 حضور منبع آلاینده 1000< وجود رشد فعال کپک	آرشیو ملی هلند	(Brokerhof et al.2007)

در کارکنان موزه که با کتاب‌های کپک‌زده در تماس بوده‌اند، قرارگیری در معرض سطوح بسیار بالایی از قارچ‌های زنده هوابرد[1] (10^6 $CFUs/m^3$) به عنوان عامل سندرم سمی گرد و غبار آلی[2]، معرفی شده است (Kolstad et al., 2002). طبق مطالعه Zielinska-Jankiewicz و همکارانش (۲۰۰۸)، برخی از کارکنان آرشیو که در نظرسنجی انجام شده توسط Schata در سال ۱۹۹۵ شرکت کردند، علائم مختلفی از عارضه‌های پوستی، چشمی و تنفسی را نشان می‌دادند که می‌توانست با قرارگیری در معرض کپک‌های فضای کار مرتبط باشد. حدس زده می‌شود حدود یک سوم از کارکنان آرشیو ممکن است به کپک‌ها حساسیت داشته باشند که تقریبا دو برابر بیشتر از جمعیت عمومی است. کارکنانی که در بررسی انجام شده توسط کریک و همکاران در سال ۱۹۹۹ شرکت کردند، علائم تنفسی و سینوسی نشان دادند که ممکن است، با قرارگیری در معرض کپک‌ها، در محل کار مرتبط باشد(Zielinska-Jankiewicz et al., 2008). در آن مطالعه، جمعیت قارچی متعلق به جنس‌های پنی‌سیلیوم، کلادوسپوریوم، آسپرژیلوس، آلترناریا و تریتیراچیوم[3] در مقادیری از 200 تا 450 CFU/m^3، شناسایی شد، اما برای گونه تریتیراچیوم مقدار اندازه‌گیری شده حدود 800 CFU/m^3 بود. آزمایش‌های زیادی برای تعیین حداقل مقادیر CFU لازم برای ایجاد واکنش منفی انجام شده است. انجام این نوع از آزمایش‌ها کار ساده‌ای نبود، زیرا تنوع افراد به تنهایی برای ایجاد تفاوت در نتایج قرارگیری در معرض یک قارچ خاص یا مقدار معینی از قارچ، کافی است. سطوح ریسک سلامتی پیشنهاد شده در مطالعات گذشته، از نویسنده‌ای به نویسنده دیگر و در طول سال‌ها بسیار متفاوت است. به عنوان یک رشته نوپا، هنوز هیچ استاندارد بین‌المللی جهانی برای محافظت از کاغذ، در مورد گونه‌ها یا تعداد قارچ‌هایی که در صورت وجود در یک محیط آرشیو می‌توانند خطرناک تلقی شوند، ایجاد نشده است(Cappitelli et al., 2010). با این حال، برخی از کشورها دستورالعمل‌های ملی خود را طراحی کرده‌اند و برخی از کشورها آن‌ها را به صورت غیررسمی تنظیم کرده‌اند (Brokerhof et al., 2007; Harkawy et al., 2011).

1. Airborn
2. Organic dust toxic syndrome
3. Tritirachium
4. Outside air

جدول ۳ همچنین سطوح پیشنهادی آلودگی قارچی برای حفاظت از کاغذ را در کشورهای مختلف ارائه می‌دهد. اختلاف در میزان CFU/m^3 اندازه‌گیری‌شده در میان کشورها (جدول ۲)، در یک کشور و در یک مرکز در فصول مختلف، بسیار زیاد است. با توجه به این تنوع و اختصاصی‌بودن گونه‌های مختلف قارچی با توجه به پتانسیل سمی و مخرب آن‌ها، احتمالا تعیین سطح بین‌المللی حداکثر بار قارچی با هدف حفاظت از منابع بسیار دشوار (و گمراه‌کننده) است؛ از این رو، این مقادیر باید تا حد امکان پایین نگه داشته شوند. بررسی خصوصیات هوای بیرون[۴] و مکان‌هایی با حداقل آلودگی، و مقایسه آن‌ها با مکان‌هایی که آلودگی بالاتری را نشان می‌دهند، می‌تواند در اتخاذ تصمیمات و اقدامات لازم برای کاهش آلودگی قارچی، کمک‌کننده باشد. ارزیابی‌های دوره‌ای و همچنین توصیف کیفی جوامع قارچی موجود، بسیار مهم است، زیرا امکان تشخیص زودهنگام تغییر در جمعیت قارچی هم از نظر گونه و هم از نظر تعداد را فراهم می‌کند. تجزیه و تحلیل دوره‌ای سطوح –و تعیین میزان آلودگی مطلوب (به عنوان مثال پس از تمیز کردن منظم)– می‌تواند به تشخیص نیاز به تلاش‌های حفاظتی بیشتر کمک کند.

حداکثر بار قارچی پیشنهادی که در جدول ۳ آورده شده است، می‌تواند کاملا متغیر باشد و به گونه‌های قارچی بستگی ندارد. تفاوت‌های جغرافیایی نیز باید در نظر گرفته شود زیرا ویژگی‌های آب و هوایی یک کشور ارتباط نزدیکی با جمعیت قارچی دارد. از طرفی هیچ محدوده معینی برای آلودگی سطحی (CFU/m^2) نیز وجود ندارد. شناسایی این محدوده می‌تواند بسیار مفید باشد، زیرا ما قصد داریم از سطوح منابع کاغذی حفاظت کنیم. همانطور که در مورد محدوده‌های پیشنهادی برای سلامت انسان اتفاق می‌افتد، تشخیص مبانی نظری و تجربی برای اعداد پیشنهادی گاهی اوقات دشوار است. تنوع شدید در مقادیر ذکر شده ممکن است به عنوان اشاره‌ای به نیاز به شناسایی گونه‌های موجود در یک محیط معین تعبیر شود.

نتیجه‌گیری:

این بررسی، مطالعاتی را از سراسر جهان جمع‌آوری می‌کند و جوامع قارچی مربوط به نمونه‌های برگرفته از کاغذهای دارای تغییر رنگ و سطوح آرشیوها و کتابخانه‌ها را نشان می‌دهد. در این مطالعه گونه‌های مختلفی از جنس‌های: پنی‌سیلیوم (۶۱ گونه)، آسپرژیلوس (۴۴ گونه)، کلادوسپوریوم (۱۹ گونه)، کاتومیوم (۱۶ گونه) و ترایکودرما (۱۱ گونه) شناسایی شدند. متداول‌ترین جنس‌هایی که در فضاهای آرشیو وجود دارند، مشابه با جمعیت قارچی فضای باز و همچنین آلاینده‌های رایج سایر محیط‌های غیرمرتبط هستند. با این حال، قارچ‌هایی مانند فوزاریوم، کاتومیوم و ژئوترایکوم به میزان بسیار بیشتری از یک جمعیت معمولی، در آرشیوها و کتابخانه‌ها مشاهده می‌شوند و بسیاری از این قارچ‌ها قادر به تجزیه سلولز هستند. با توجه به دستورالعمل‌ها و پیشنهادات موجود،

برخی از مکان‌های نمونه‌برداری شده دارای جمعیتی بالاتر از سطح تعیین شده در دستورالعمل هلندی 1000 CFU/m^3 هستند. مقادیر بالای CFU/m^3 نیاز به مطالعات بیشتر، یعنی شناسایی گونه‌های آلاینده را تقویت می‌کند، معیاری که نه تنها برای اهداف حفاظتی، بلکه در خصوص نگرانی‌های مربوط به سلامت انسان نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. هوا تنها منبع آلودگی نیست، سطوح محل تجمع ذرات قارچی بوده و اغلب تنوع بالاتری را نشان می‌دهند. مطالعه این سطوح نشان دهنده جوامعی است که در نهایت تبدیل به عوامل تخریب زیستی می‌شوند. نوع دیگری از سطوح که در این مطالعه در نظر گرفته شده، نواحی خاصی از ماده کاغذی است که دارای تغییر رنگ بوده و تخریب زیستی قارچی به عنوان یک علت احتمالی آن در نظر گرفته می‌شود؛ که برای تعیین مرتبط‌ترین عوامل قارچی در این نواحی خاص، روش‌های شناسایی مختلفی ارائه شده است.

با توجه به شناسایی قارچ‌ها، تعیین اینکه کدام عامل قارچی مسئول تخریب زیستی کاغذ است کار آسانی نبوده و منجر به سردرگمی و ایجاد لیستی بی‌پایان از احتمالات فراوان شده است. شناسایی یک جنس یا گونه قارچ در یک سند لزوما به این معنی نیست که این قارچ عامل اصلی تخریب است. برای غلبه بر این مشکل، شواهد نشان‌دهنده نیاز به استفاده از روش‌های مختلف و همزمان می‌باشد، زیرا تاکنون هیچ روش واحدی برای ارائه تصویر کاملی از جمعیت میکروبی توسعه نیافته است. همچنین، برای کسب بالاترین بهره‌وری از هر پروژه تحقیقاتی و برای دستیابی به نتایج قابل مقایسه و پیشرفت واقعی در این زمینه، تلاش مشترکی برای تعریف روش‌های استاندارد و ایجاد محیطی برای گردهمایی سوابق و تخصص‌های مختلف به منظور گره‌گشایی از این موضوع مهم و پیچیده مورد نیاز است. چند اقدام اولیه باید انجام شود: اولین گام، ایجاد و مدیریت یک بانک اطلاعاتی از داده‌های مربوط به سوالاتی از قبیل: کدام ریزاندامگان، مکان و چگونگی جداسازی از آثار میراث فرهنگی می‌باشد. بررسی همه داده‌های موجود از اهمیت اساسی برخوردار است و امیدواریم به عنوان شرکت‌کنندگان در این عمل مبتکرانه، مسیر را برای ورود به دنیای تخریب زیستی کاغذ توسط عوامل قارچی هموار نماییم.

منابع

Abdel-Azeem AM, Gherbawy YA, Sabry AM. 2016. Enzyme profiles and genotyping of Chaetomium globosum isolates from various substrates. Plant Biosyst. 150(3): 420–428.

Abrusci C, Martın-Gonzalez A, Del Amo A, Catalina F, Collado J, Platas G. 2005. Isolation and identification of bacteria and fungi from

cinematographic films. Int Biodeterior Biodegr. 56(1): 58–68.

Adamo M, Magaudda G, Nisini PT, Tronelli G. 2003. Susceptibility of cellulose to attack by cellulolytic microfungi after gamma irradiation and ageing. Restaurator. 24: 145–151.

Adan OCG, Samson RA, editors. 2011. Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic.

Adelantado C, Bello C, Borrell A, Calvo MA. 2005. Evaluation of the antifungal activity of products used for disinfecting documents on paper in archives. Restaurator. 26: 235–238.

Anaya M, Borrego SF, Gamez E, Castro M, Molina A, Valdes O. 2016. Viable fungi in the air of indoor environments of the National Archive of the Republic of Cuba. Aerobiologia. 32(3): 513–527.

Andersen B, Poulsen R, Hansen GH. 2016. Cellulolytic and xylanolytic activities of common indoor fungi. Int Biodeterior Biodegra. 107: 111–116.

Bankole OM. 2010. A review of biological deterioration of library materials and possible control strategies in the tropics. Libr Rev. 59(6): 414–429.

Bennett JW, Klich M. 2003. Mycotoxins. Clin Microbiol Rev. 16(3): 497–516.

Bergadi F, Laachari F, Elabed S, Mohammed IH, Ibnsouda SK. 2014. Cellulolytic potential and filter paper activity of fungi isolated from ancients' manuscripts from the Medina of Fez. Ann Microbiol. 64: 815–822.

Di Bonaventura MP, DeSalle R, Eveleigh DE, Baldwin A, Koestler RJ. 2003. Studies of fungal infestations of Tiffany's Drawings: limits and advantages of classical and molecular techniques. In: Koestler RJ, Koestler VH, Charola AE, NietoFernandez FE, editors. Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art. New York (NY): The Metropolitan Museum of Art; p. 94–109.

Borrego S, Lavin P, Perdomo I, Gomez de Saravia S, Guiamet P. 2012. Determination of indoor air quality in archives and biodeterioration of the documentary heritage. ISRN Microbiol. 2012: 1–10.

Brokerhof AW, van Zanen B, den Teuling A. 2007. Fluffy stuff - integrated control of mould in archives. Amsterdam, The Netherlands: Netherlands Institute for Cultural Heritage (ICN).

Caneva G, Maggi O, Nugari MP, Pietrini AM, Piervittori R, Ricci S, Roc-Cardi A. 2003. The biological aerosol as a factor of biodeterioration. In: Mandrioli P, Caneva G, Sabbioni C, editors. Cult herit aerobiol – methods meas tech biodeterior monit. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; p. 3–29.

Canhoto O, Pinzari F, Fanelli C, Magan N. 2004. Application of electronic nose technology for the detection of fungal contamination in library paper. Int Biodeterior Biodegr. 54(4): 303–309.

Capderou C, Flieder F. 1999. Sauvegarde des collections du patrimoine: la lute contre les d et eriorations biologiques. Paris: CNRS editions.

Cappitelli F, Fermo P, Vecchi R, Piazzalunga A, Valli G, Zanardini E, Sorlini C. 2009. Chemical-physical and microbiological measurements for indoor air quality assessment at the Ca' granda historical archive, Milan (Italy). Water Air Soil Pollut. 201(1–4): 109–120.

Cappitelli F, Pasquariello G, Tarsitani G, Sorlini C. 2010. Scripta manent? Assessing microbial risk to paper heritage. Trends Microbiol. 18(12): 538–542.

Castillo NI, Ibanez M, Beltran E, Rivera-Monroy J, Ochoa JC, Paez-Castillo M, Posada-Buitrago ML, Sulyok M, Hernndez F. 2016. Identification of mycotoxins by UHPLC-QTOF MS in airborne fungi and fungi isolated from industrial paper and antique documents from the Archive of Bogota. Environ Res. 144: 130–138.

Chang YC, Tsai HF, Karos M, Kwon-Chung KJ. 2004. THTA, a ther-

motolerance gene of Aspergillus fumigatus. Fungal Genet Biol. 41(9): 888–896.

Chinedu SN, Okochi VI, Omidiji O. 2011. Cellulase production by wild strains of Aspergillus niger, Penicillium chrysogenum and Trichoderma harzianum grown on waste cellulosic materials. IFE J Sci. 13: 57–62.

Coronado-Ruiz C, Avendano R, Escudero-Leyva EConejo-Barboza G, Chaverri P, Chavarrıa M. 2018. Two new cellulolytic fungal species isolated from a 19th-century art collection. Sci Rep. 8(1): 1–9.

Corte AM, Ferroni A, Salvo VS. 2003. Isolation of fungal species from test samples and maps damaged by foxing, and correlation between these species and the environment. Int Biodeterior Biodegradation. 51(3): 167–173.

Das MKL, Prasad JS, Ahmad SK. 1997. Endoglucanase production by paper-degrading mycoflora. Lett Appl Microbiol. 25(5): 313–315.

Duchaine C, Meriaux A. 2001. The importance of combining air sampling and surface analysis when studying problematic houses for mold biodiversity determination. Aerobiologia. 17(2): 121–125.

Etkin DS. 1994. Particulates in the indoor environment: characterisation and health effects. Arlington (MA): Cutter Information Corp.

Fabbri AA, Ricelli A, Brasini S, Fanelli C. 1997. Effect of different antifungals on the control of paper biodeterioration caused by fungi. Int Biodeterior Biodegr. 39(1): 61–65.

Favaro Lc de L, de Melo FL, Aguilar-Vildoso CI, Araujo WL. 2011. Polyphasic analysis of intraspecific diversity in Epicoccum nigrum warrants reclassification into separate species. PLoS One. 6: e14828.

Flannigan B, Samson RA, Miller JD, editors. 2011. Microorganisms in home and indoor work environments - diversity. Health impacts, investigation and control. 2nd ed. Boca Raton (FL): CRC Press, Taylor & Francis Group.

Florenzano G. 1949. Studi sul genere chaetomium: 2. Inquadramento fisiologico e proprieta cellulosolitiche delle diverse specie di chaetomium. Boll 1st Patol. 8: 61–74.

Florian MLE, Manning L. 2000. SEM analysis of irregular fungal fox spots in an 1854 book: population dynamics and species identification. Int Biodeterior Biodegr. 46(3): 205–220.

Fogarty WM, Kelly CT. 1979. Amylases, amyloglucosidases and related glucanases. In: Rose AH, editor. Economic microbiology. Vol. 5. London: Academic Press Inc. Ltd.; p. 115–170.

Gopinath SCB, Anbu P, Hilda A. 2005. Extracellular enzymatic activity profiles in fungi isolated from oil-rich environments. Mycoscience. 46(2): 119–126.

Goyer N, Lavoie J, Lazure L. 2001. Bioaerosols in the workplace: evaluation, control and prevention guide. Quebec: IRSST.

Harkawy A, Gorny RL, Ogierman L, Wlazło A, ŁawniczekWałczyk A, Niesler A. 2011. Bioaerosol assessment in naturally ventilated historical library building with restricted personnel access. Ann Agric Environ Med. 18(2): 323–329.

Hayleeyesus SF, Manaye AM. 2014. Microbiological quality of indoor air in university libraries. Asian Pac J Trop Biomed. 4: S312–S317.

Hurts C, Walter M, Stetzenbach L. 1997. Manual of environmental microbiology. Washington (DC): ASM Press.

Hyvarinen A, Meklin T, Vepsalainen A, Nevalainen A. 2002. Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials concentrations and diversity. Int Biodeterior Biodegr. 49: 27–37.

Jain AK. 2000. Survey of bioaerosol in different indoor working environments in central India. Aerobiologia (Bologna). 16(2): 221–225.

Janda K, Ulfig K, Markowska-Szczupak A. 2009. Further studies of extracellular enzyme profiles of xerophilic fungi isolates from dried medicinal plants. Polish J Environ Stud. 18: 627–633.

Jorgensen TR, Park J, Arentshorst M, van Welzen AM, Lamers G, VanKuyk PA, Damveld RA, van den Hondel CAM, Nielsen KF, Frisvad JC. 2011. The molecular and genetic basis of conidial pigmentation in Aspergillus niger. Fungal Genet Biol. 48: 544–553.

Karakasidou K, Nikolouli K, Amoutzias GD, Pournou A, Manassis C, Tsiamis G, Mossialos D. 2018. Microbial diversity in biodeteriorated Greek historical documents dating back to the 19th and 20th century: a case study. Microbiologyopen. 7: e00596.

Karbowska-Berent J, Gorny RL, Strzelczyk AB, Wlazło A. 2011. Microbial quality in selected Polish libraries and archives. Build Environ. 46 (10): 1872–1879.

Khan AAH, Karuppayil SM, Manoharachary C, Kunwar IK, Waghray S. 2009. Isolation, identification and testing for allergenicity of fungi from air-conditioned indoor environments. Aerobiologia (Bologna). 25(2): 119–123.

Khan H, Karuppayil M. 2012. Fungal pollution of indoor environments and its management. Saudi J Biol Sci. 19: 405–426.

Klanova K. 2000. The concentrations of mixed populations of fungi in indoor air: rooms with and without mould problems, rooms with and without health complaints. Cent Eur J Public Health. 8(1): 59–61.

Kolstad HA, Brauer C, Iversen M, Sigsgaard T, Mikkelsen S. 2002. Do indoor moulds in nonindustrial environments threaten workers' health? A review of the epidemiologic evidence. Epidemiol Rev. 24(2): 203–217.

Krakova L, Chovanova K, Selim S. A, Simonovicova A, Puskarova A, Makova A, Pangallo D. 2012. A multiphasic approach for investigation of the microbial diversity and its biodegradative abilities in historical paper and parchment documents. Int Biodeterior Biodegr. 70: 117–125.

Krakova L, Soltys K, Otlewska A, Pietrzak K, Purkrtova S, Savicka D, Puskarova A, Buckova M, Szemes T, Budis J, et al. 2018. Comparison of methods for identification of microbial communities in book collections:

culturedependent (sequencing and MALDI-TOF MS) and cultureindependent (Illumina MiSeq). Int Biodeterior Biodegr. 131: 51–59.

Lakshmikant. 1990. Cellulose degradation and cellulase activity of five cellulolytic fungi. World J Microbiol Biotechnol. 6: 64–66.

Lignell U, Meklin T, Rintala H, Hyvarinen A, Vepsalainen A, Pekkanen J, Nevalainen A. 2008. Evaluation of quantitative PCR and culture methods for detection of house dust fungi and streptomycetes in relation to moisture damage of the house. Lett Appl Microbiol. 47(4): 303–308.

Lourenc¸o MJL, Pol LV, Sampaio JP, Philips A, Fonseca A, Vieira J. 2005. Isolamento, identificacao e caracterizacao de microrganismos contaminantes dos arquivos da Direccao Geral dos Edificios e Monumentos Nacionais. A historia, a formacao e as boas praticas em conserv e restauro. Lisbon: Atas do Encontro do Instituto Portugues de Conservac¸ao e Restauro.

Low SY, Dannemiller K, Yao M, Yamamoto N, Peccia J. 2011. The allergenicity of Aspergillus fumigatus conidia is influenced by growth temperature. Fungal Biol. 115(7): 625–632.

Lugauskas A, Krikstaponis A. 2004. Microscopic fungi found in the libraries of vilnius and factors affecting their development. Indoor Built Environ. 13(3): 169–182.

Maggi O, Persiani AM, Gallo F, Valenti P, Pasquariello G, Sclocchi MC, Scorrano M. 2000. Airborne fungal spores in dust present in archives: proposal for a detection method, new for archival materials. Aerobiologia (Bologna). 16(3–4): 429–434.

Mesquita N, Portugal A, Videira S, Rodriguez-Echeverria S, Bandeira AML, Santos MJA, Freitas H. 2009. Fungal diversity in ancient documents. A case study on the Archive of the University of Coimbra. Int Biodeterior Biodegr. 63(5): 626–629.

Messner K, Alberighi L, Banik G, Srebotnik E, Sobotka W, Mairinger A. 1988. Comparison of possible chemical and microbial factors influenc-

ing paper decay by iron-gall inks. In: Houghton DR, Smith RN, Eggins HOW, editors. Biodeterior 7 sel pap present seventh international biodeterioration symposium. Cambridge, UK, 6-11 Sept 1987. Cambridge: Elsevier Science Publishers, Ltd.; p. 449–454.

MIBAC (Italian Ministry of Cultural Heritage). 2001. Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifi ci e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei, Ambito VI. D.Lgs. 112/1998 (art. 150, comma 6). p. 81–94.

Micalli O, Montacutelli R, Tarsitani G. 2003. Pathogenic microorganisms and situations of risk to man. In: Mandrioli P, Caneva G, Sabbioni C, editors. Cult herit aerobiol methods meas technic biodeterior monitor. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; p. 31–43.

Michaelsen A, Pinar G, Montanari M, Pinzari F. 2009. Biodeterioration and restoration of a 16th-century book using a combination of conventional and molecular techniques: a case study. Int Biodeterior Biodegr. 63(2): 161–168.

Michaelsen A, Pinar G, Pinzari F. 2010. Molecular and microscopical investigation of the microflora inhabiting a deteriorated Italian manuscript dated from the thirteenth century. Microb Ecol. 60(1): 69–80.

Molina-Veloso A, Borrego-Alonso SF. 2017. Viable allergenic fungi in a documentary deposit of the National Archive of Cuba. Rev Alerg Mex. 64(1): 40–51.

Nevailanen A, Hyvarynen A. 2015. Fungi in low-contamination occupational environments. In: Viegas P, Viegas S, Verıssimo B, editors. Public heal fungi mycotoxins risk assess manage. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Publishing Company Incorporated; p. 107–124.

Nielsen KF. 2003. Mycotoxin production by indoor molds. Fungal Genet Biol. 39: 103–117.

Nol L, Henis Y, Kenneth RG. 2001. Biological factors of foxing in postage stamp paper. Int Biodeterior Biodegr. 48(1–4): 98–104.

NT-SCE-02. 2009. Nota Tecnica — NT -SCE — 02 Metodologia para auditorias periodicas de QAI emedificios existentes no Ambito do RSECE [Technical note - ^ NT-SCE-02- Methodology for periodic IAQ audits of existing buildings within the RSECE (Regulation of Energy Conditioning Systems in Buildings)]. Lisbon.

Oetari A, Susetyo-Salim T, Sjamsuridzal W, Suherman EA, Monica M, Wongso R, Fitri R, Nurlaili DG, Ayu DC, Teja TP. 2016. Occurrence of fungi on deteriorated old dluwang manuscripts from Indonesia. Int Biodeterior Biodegr. 114: 94–103.

Ohgke H, Geers A, Beckert J. 1987. Fungal load of indoor air in historical and newly constructed buildings used by public services. In: Seifkrt B, Worn H, Fischer M, Ruden H, Wegner J, editors. Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Berlin (West): Institute of Water, Soil and Air Hygiene; p. 681–684.

Okpalanozie OE, Adebusoye SA, Troiano F, Catto C, Ilori MO, Cappitelli F. 2018. Assessment of indoor air environment of a Nigerian museum library and its biodeteriorated books using culture-dependent and – independent techniques. Int Biodeterior Biodegr. 132: 139–149.

Oyeleke SB, Egwim EC, Auta SH. 2010. Screening of Aspergillus flavus and Aspergillus fumigatus strains for extracellular protease enzyme production. J Microbiol Antimicrob. 2: 83–87.

Pandey S, Srivastava M, Shahid M, Kumar V, Singh A, Trivedi S, Srivastava YK. 2015. Trichoderma species cellulases produced by solid state fermentation. J Data Mining Genomics Proteomics. 06: 2–5.

Parchas M. 2009. Comment faire face aux risques biologiques? Paris: Direction des Archives de France.

Parra R, Magan N. 2004. Modelling the effect of temperature and water activity on growth of Aspergillus niger strains and applications for food spoilage moulds. J Appl Microbiol. 97(2): 429–438.

Pasanen AL, Kalliokoski P, Pasanen P, Jantunen MJ, Nevalainen A.

1991. Laboratory studies on the relationship between fungal growth and atmospheric temperature and humidity. Environ Int. 17(4): 225–228.

Pietrzak K, Otlewska A, Danielewicz D, Dybka K, Pangallo D, Krakova L, Puskarova A, Buckova M, Scholtz V, Durovic M, et al. 2017. Disinfection of archival documents using thyme essential oil, silver nanoparticles misting and low temperature plasma. J Cult Herit. 24: 69–77.

Pinheiro AC. 2015. Fungi in archives: a double concern. In: Viegas P, Sabino V, Brandao V, editors. Environ mycol public heal fungi mycotoxins risk assess manage. Oxford: Academic Press; p. 157–166.

Pinheiro AC. 2014. Fungal communities in archives: assessment strategies and impact on paper conservation and human health. [dissertation]. Lisbon, Portugal: Universidade Nova de Lisboa.

Pinzari F, Pasquariello G, De Mico A. 2006. Biodeterioration of paper: a SEM study of fungal spoilage reproduced under controlled conditions. Macromol Symp. 238(1): 57–66.

Pinzari F, Zotti M, De Mico A, Calvini P. 2010. Biodegradation of inorganic components in paper documents: formation of calcium oxalate crystals as a consequence of Aspergillus terreus Thom growth. Int Biodeterior Biodegr. 64(6): 499–505.

Pitt JI, Hocking AD. 2009. Fungi and food spoilage. 3rd ed. In: Hocking AD, Pitt JI, Samson RA, Thrane U, editors. New York (NY): Springer.

Ponce-Jimenez MD, Toral F, Fornue ED. 2002. Antifungal protection and sizing of paper with chitosan salts and cellulose ethers. Part 1, physical effects. J Am Inst Conserv. 41: 243–254.

Rakotonirainy MS, Heude E, Lavedrine B. 2007. Isolation and attempts of biomolecular characterization of fungal strains associated to foxing on a 19th century book. J Cult Herit. 8(2): 126–133.

Reiss J. 1978. Mycotoxins in foodstuffs - XII. The influence of the water activity (alpha-omega) of cakes on the growth of molds and the formation of mycotoxins. Zeitschrift Fur Leb Und-Forsch. 167: 419–422.

Reynolds SJ, Streifel AJ, Mcjilton CE. 1990. Elevated airborne concentrations of fungi in residential and office environment. Am Ind Hyg Assoc J. 51(11): 601–604.

Ricelli A, Fabbri AA, Fanelli C, Menicagli R, Samaritani S, Pini D, Rapaccini SM, Salvadori P. 1999. Fungal growth on samples of paper: inhibition by new antifungals. Restaurator. 20: 97–107.

Ruegger MJS, Tauk-Tornisielo SM. 2004. Atividade da celulase de fungos isolados do solo da estacao ecologica de Jureia-Itatins, Sao Paulo, Brasil. Rev Bras Bot. 27(2): 205–211.

Saleem A, Ebrahim M. 2014. Production of amylase by fungi isolated from legume seeds collected in Almadinah Almunawwarah, Saudi Arabia. J Taibah Univ Sci. 8(2): 90–97.

Samson RA, Hoekstra ES, Frisvad JC, Filtenborg O, editors. 2000. Introduction to food and airborne fungi. 6th ed. Utrecht, The Netherlands: Centraalbureau Voor Schimmelculture.

Samson RA, Hoekstra ES, Frisvad JC, Filtenborg O. 2010. Introduction to food-and airborne fungi. 7th ed. Utrecht: Centraalbureau Voor Schimmelculture.

Sato Y, Aoki M, Kigawa R. 2014. Microbial deterioration of tsunami-affected paper-based objects: a case study. Int Biodeterior Biodegr. 88: 142–149.

Sautour M, Soares Mansur C, Divies C, Bensoussan M, Dantigny P. 2002. Comparison of the effects of temperature and water activity on growth rate of food spoilage moulds. J Ind Microbiol Biotech. 28(6): 311–315.

Sequeira SO, Carvalho H. D, Mesquita N, Portugal A, Macedo MF. 2019. Fungal stains on paper: is what you see what you get? Conserv patrimonio. 32: 18 –27.

Sequeira SO, Phillips AJL, Cabrita EJ, Macedo MF. 2017. Antifungal treatment of paper with calcium propionate and parabens: Short-term

and long-term effects. Int Biodeterior Biodegradation. 120: 203–215.

Shahriarinour M, Noor M, Wahab A, Mohamad R, Mustafa S, Ariff AB. 2011. Effect of medium composition and cultural condition on cellulase production by Aspergillus terreus. Afr J Biotechnol. 10: 7459–7467.

Sharma D, Shukla AK. 2008. Starch hydrolysis and alphaamylase activity of Aspergillus and Chaetomium. Asian J Biochem. 3: 284–289.

da Silva M, Moraes AML, Nishikawa MM, Gatti MJA, Vallim de Alencar MA, Brandao LE, Nobrega A. 2006. Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation. Int Biodeterior Biodegr. 57 (3): 163–167.

Skeist I 2007. Handbook of adhesives. Vol. 104. Chapman & Hall. http: //doi.org/10.1073/pnas.0703993104. Sterflinger K. 2010. Fungi: their role in deterioration of cultural heritage. Fungal Biol Rev. 24(1–2): 47–55.

Sterflinger K, Engel P. 2014. Microorganisms in books – the archives of the protestant Parish of the holy trinity in Swidnica. St. Polten, Austria: Men Books from Microorg to Megaorganisms. Poster resentation.

Sterflinger K, Little B, Pinar G, Pinzari F, de los Rios A, Gu JD. 2018. Future directions and challenges in biodeterioration research on historic materials and cultural properties. Int Biodeterior Biodegr. 129: 10–12.

Szczepanowska H, Cavaliere A. 2000. Fungal deterioration of 18th and 19th century documents: a case study of the Tilghman Family Collection, Wye House, Easton, Maryland. Int Biodeterior Biodegr. 46(3): 245–249.

Szczepanowska HM, Cavaliere AR. 2003. Artworks, drawings, prints, and documents fungi eat them all! In: Koestler RJ, Koestler VH, Charola AE, Nieto-Fernandez F, editors. Art, biology, and conservation: biodeterioration of works of art. New York (NY): The Metropolitan Museum of Art; p. 128–151.

Teixeira FS, dos Reis TA, Sgubin L, Thome LE, Bei IW, Clemencio RE, Correa B, Salvadori MC. 2018. Disinfectionof ancient paper con-

taminated with fungi using supercritical carbon dioxide. J Cult Herit. 30: 110–116.

Tepsic K, Gunde-Cimerman N, Frisvad JC. 1997. Growth and mycotoxin production by Aspergillus fumigatus strains isolated from a saltern. Fems Microbiol Lett. 157: 9–12.

Valentin N. 2007. Microbial contamination in archives and museums: health hazards and preventive strategies using air ventilation systems. In: Boersma F, editor. Experts' roundtable on sustainable climate management strategies. Tenerife, Spain: The Getty Conservation Institute; p. 1–26.

Valentin N. 2010. Microorganisms in museum collections. Coalition. 19: 2–5.

Viegas C, Almeida-Silva M, Gomes A. Q, Wolterbeek HT, Almeida SM. 2014. Fungal contamination assessment in Portuguese elderly care centers. J Toxicol Environ Heal Part A. 77(1–3): 14–23.

Viegas C, Alves C, Carolino E, Pinheiro C, Rosado L, Silva Santos C. 2011. Assessment of fungal contamination in a group of Lisbons gymnasiums with a swimming pool. Ital J Occup Environ Hyg. 2: 15–20.

Wiszniewska M, Walusiak-Skorupa J, Pannenko I, Draniak M, Palczynski C. 2009. Occupational exposure and sensitization to fungi among museum workers. Occup Med (Lond). 59(4): 237–242.

Yang CS, Hung LL, Lewis FA, Zampiello FA. 1993. Airborne fungal populations in non-residential buildings in the United States. In: Seppanen O, editor. Indoor Air Part Microbes, Radon Proceedings Sixth International Conference Indoor Air Quality Climate. Helsinki, Finland: Helsinki University of Technology; p. 219–224.

Zerek BF. 2003. Fungi isolated from paper works of art - identification, susceptibility to the chosen methods used in the conservation of paper, susceptibility of the chosen kinds of paper to infections. Warszawa, Poland: University of Warsaw.

Zielinska-Jankiewicz K, Kozajda A, Piotrowska M, Szadkowska Stanczyk I. 2008. Microbiological contamination with moulds in work environment. Ann Agric Environ Med. 15(1): 71–78.

Zotti M, Ferroni A, Calvini P. 2007. Inhibition properties of simple fungistatic compounds on fungi isolated from foxing spots. Restaurator. 28: 201–217.

Zotti M, Ferroni A, Calvini P. 2008. Microfungal biodeterioration of historic paper: preliminary FTIR and microbiological analyses. Int Biodeterior Biodegr. 62(2): 186–194.

Zyska B. 1997. Fungi isolated from library materials: a review of the literature. Int Biodeterior Biodegr. 40(1): 43–51.

Zyska BJ. 2002. Problems of microbial deterioration of materials in Eastern Europe. Int Biodeterior Biodegr. 49(1): 73–83.