ضدعفونی کردن مدارک آرشیوی با استفاده از اسانس آویشن، پوشش نانو ذرات نقره و پلاسما با دمای پایین

نویسندگان: کاتارینا پیتزاک و همکاران
ترجمه: اعظم خوشبین، زهرا شمسین و سکینه بهرامی‌نسب

چکیده:
هدف از این پژوهش، تعیین اثربخشی روش‌های ضدعفونی با روغن اسانس آویشن (TEO)، پوشش نانو ذرات نقره (AgNPS) و پلاسمای دما پایین (LTP) توسط روش وابسته به کشت میکروب آزمایشگاهی و تحلیل RNA است. علاوه‌براین، تأثیر ضدعفونی را روی خواص مکانیکی و نوری یک برگ کاغذ از کتاب‌های تاریخی با سطوح مختلف از آلودگی میکروبی موردبِررسی قرار دادیم. همهٔ روش‌های ضدعفونی به‌طورکلی با مهار باکتری و قارچ همراه بودند. روش پوشش نانو ذرات نقره (۶۰٪—۱۰۰٪=R)، برای مهار باکتری بسیار مؤثرتر از LTP با (۲۵٪—۱۰۰٪=R) و TEO با (۱۲٪—۱۰۰٪=R) بود. همهٔ روش‌های آزمایش‌شده تأثیر کمتری بر روی قارچ داشتند (۰٪—۹۹.۸٪= R). روش TEO طیف گسترده‌ای از قارچ‌کشی را در مقایسه با AgNPs و LTP از خود نشان داد. اثر ضدمیکروبی، به سطح جایی که ریزاندامگان‌ها[1] جدا شده بودند و حساسیت آن‌ها به عوامل فعال بستگی دارد. اثر ضدعفونی بیشتری برای کتاب‌هایی که میزان آلودگی میکروبی بیشتر داشتند، مشاهده شد. غلظت RNA نشانگر خوبی از فعالیت ضدمیکروبی این ضدعفونی بود. از مقدار RNA به میزان ۹۵ تا ۱۰۰ درصد بعد از ضدعفونی با LTP و TEO، و ۲۹ تا ۸۹ درصد بعد از ضدعفونی با AgNPs، کاسته شد. ضدعفونی کاغذ کتاب‌های تاریخی با LTP، AgNPs و TEO تأثیر قابل‌ملاحظه یا اثر مثبتی بر خواص مکانیکی یا نوری کاغذ کتاب‌های تاریخی موردآزمایش نداشت. ما نشان دادیم که LTP، TEO و AgNPs می‌توانند به‌عنوان یک روش مهار میکروبی به‌صورت متناوب استفاده شوند تا نسبت به روش‌هایی که در حال حاضر مورداستفاده هستند. مدارک آرشیوی و مجموعه‌های کتابخانه‌ای دارای ارزش‌های بزرگ فرهنگی هستند. با توجه به ترکیبات شیمیایی، آن‌ها به‌سرعت دستخوش تخریب به‌وسیله فعالیت‌های میکروبی می‌شوند. برای جلوگیری از این فرایند، کاهش انتشار آلودگی میکروبی به اشیاء دیگر و محافظت‌کردن از کارکنان، مدارک آرشیوی باید قبل از هر عمل محافظتی دیگر، ضدعفونی شوند. دانشمندان در حال تحقیق روی روش‌های جایگزین با کارایی بالا برای ضدعفونی کردن مدارک آرشیوی هستند. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی اثر سه روش ضدعفونی شامل روغن اسانس آویشن، پوشش نانو ذرات نقره و پلاسمای با دمای پایین برای جلوگیری از رشد میکروب‌ها توسط روش کشت آزمایشگاهی و تحلیل RNA است. علاوه‌براین، خواص مکانیکی و نوری کاغذهایی از دو کتاب تاریخی با سطوح مختلف از آلودگی میکروبی موردبِررسی قرار گرفت.

1. Microorganisms

کلیدواژه‌ها
ضدعفونی، مدارک آرشیوی، حفاظت و نگه‌داری، اسانس آویشن، پوشش نانو ذرات نقره، پلاسما.

ضدعفونی کردن مدارک آرشیوی با استفاده از اسانس آویشن، پوشش نانو ذرات نقره و پلاسما با دمای پایین[1]

نویسندگان: کاتارینا پیتزاک و همکاران[2]
ترجمه: اعظم خوشبین[3]، زهرا شمسین[4] و سکینه بهرامی‌نسب[5]

مقدمه:

تجزیه شیمیایی مدارک آرشیوی و مجموعه‌های کتابخانه‌ای شامل کاغذ، چرم، کاغذ پوستی، چسب، پارچه و عکس‌ها توسط ریزاندامگان‌ها در شرایطی که رطوبت زیاد باشد، اتفاق می‌افتد. در سراسر جهان، تخریب کتاب‌ها ناشی از فعالیت ریزاندامگان‌ها، یک مشکل شناخته‌شده است که شامل تجزیه پودری، سفت‌شدن و پدیده Foxing (ایجاد نقطه‌های پراکنده که معمولاً قرمز و قهوه‌ای هستند و به‌دلیل فعالیت قارچ‌ها به‌وجود می‌آیند) می‌شود. سوخت‌وساز میکروبی می‌تواند سبب تغییر رنگ، تجزیه، تقلیل‌رفتن استحکام کاغذ و ایجاد بوی خاص کپک شود که خود سبب یک زیان غیرقابل‌بازگشت به میراث‌فرهنگی می‌شود. ریزاندامگان‌ها به‌طور عمده باعث رشد کپک‌ها و باکتری‌ها روی اشیاء تاریخی می‌شوند، همچنین ریزاندامگان‌ها تهدیدی جدی برای سلامت کارکنانی هستند که با مواد آلوده در تماسند. مرمت‌گران ممکن است در معرض بسیاری از بیماری‌های شغلی مانند بیماری‌های تنفسی و عفونی، حساسیت‌ها و مشکلات قارچی قرار گیرند.

به‌دلیل سرطان‌زا و آزاردهنده بودن روش‌های مرسوم ضدعفونی مانند بخور دادن با اتیلن‌اکسید یا فرمالدهید، کشورهای اتحادیه اروپا به‌تدریج در حال متوقف‌کردن این روش‌ها هستند. روش‌های دیگر، مانند اشعه گاما و پرتو فرابنفش نمی‌توانند برای

۱. این مقاله ترجمه‌ای است از:
Disinfection of archival documents using thyme essential oil, silvernanoparticles misting and low temperature plasma. Journal of Cultural Heritage, 2016, http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.10.011

2. Katarzyna Pietrzaka, Anna Otlewskaa, Dariusz Danielewiczb, Katarzyna Dybkab, Domenico Pangalloc, Lucia Krakovác, Andrea Puˇskárovác, Mária Buˇckovác, Vladimír Scholtzd, Michalˇ Durovičce, Barbara Surma-´Slusarskab, Kateˇrina Demnerováf, Beata Gutarowska

۳. دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشگاه شهید بهشتی، کارمند کتابخانه دانشگاه سمنان.
a_khoshbin@staff.semnan.ac.ir
۴. دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشگاه شهید بهشتی، کارمند کتابخانه دانشگاه سمنان.
z_shamsin@staff.semnan.ac.ir
۵. دانشجوی کارشناسی‌ارشد شهید بهشتی، کارمند نهاد کتابخانه عمومی شاهرود.
s.bahraminassab@gmail.com

ضدعفونی اشیاء تاریخی موردِاستفاده قرار گیرند، زیرا باعث کاهش قابل‌ِتوجه استحکام و تغییر رنگ کاغذ می‌شوند. برای ضدعفونی کردن کتاب‌ها، استفاده از روش‌های شیمیایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ترکیبات شیمیایی ضدمیکروبی، شامل الکل‌ها، آلدهیدها، فنول‌ها و عوامل فعال سطحی هستند. اما تعداد آن‌ها برای کاغذها به‌ویژه کاغذ و اسناد تاریخی محدود است. در این مطالعه، سه روش ضدعفونی جایگزین برای مواد آرشیوی موردِبررسی قرار گرفت: اسانس آویشن (TEO)، پوشش نانو ذرات نقره (AgNPs) و پلاسمای دمای پایین (LTP).

امروزه، اسانس‌ها به‌طور موفقیت‌آمیزی در زمینه‌های مختلف شامل لوازم آرایشی و بهداشتی، صنایع غذایی و همچنین درمان عفونت و بیماری‌ها استفاده شده‌اند. اسانس‌ها به‌خاطر اثر بازدارندگی‌شان در برابر انواع مختلف ریزاندامگان‌ها از جمله ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، تک‌یاخته‌ها و حشرات به‌خوبی شناخته شده‌اند.

سازوکار ضدمیکروبی اسانس‌ها به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. فعالیت ضدمیکروبی اجزای اسانس‌ها را می‌توان به‌ترتیب نزولی زیر دسته‌بندی کرد:

فنول‌ها > آلدهیدها > کتون‌ها > الکل‌ها > استرها > هیدروکربن‌ها

بااین‌حال، طبق بسیاری از مطالعات گزارش‌شده، فقط شمار کمی از این مطالعات به کاربردشان در زمینه پیشگیری از تخریب کتاب‌ها و اسناد تاریخی اشاره کرده‌اند. استفاده‌کردن از اسانس‌ها در مواد کاغذی به‌طورعمده به علت نبودن شواهد علمی بر امکان اثرگذاری مضر آن‌ها بر کاغذهای تاریخی هنوز بحث‌برانگیز است.

نانو ذرات نقره AgNPs برای خواص ضدمیکروبی خود شناخته شده‌اند. آن‌ها پیش از این برای ضدعفونی مواد تاریخی مانند کاغذ پوستی، چرم، چوب، الیاف، سنگ‌های باستان‌شناسی و کاغذ به‌کار برده شده‌اند. هیچ تأثیر منفی توسط AgNPs روی خواص موادی که مبتنی‌بر کاغذ هستند، مشاهده نشده است.

پلاسمای دمای پایین (LTP) را می‌توان با تخلیهٔ الکتریکی در گازها، تحت فشار کم تولید کرد.

از LTP اخیراً برای ضدعفونی میکروبی سطوح و مایع‌ها مانند: فاضلاب، غذاهای آماده، مواد بسته‌بندی غذایی و همچنین برای تمیزکردن اجسام باستان‌شناسی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

کتاب‌ها

در این تحقیق، دو کتاب با نشانه‌های آشکار تخریب به‌وسیله فعالیت‌های میکروبی، مانند

رشد قارچ، تغییر رنگ، ایجاد لکه‌های پایدار (این نشانه‌ها روی هر دو کتاب دیده شدند) و بوی کپک (فقط روی کتاب دوم مشاهده شد) انتخاب شد. کتاب یک از کتابخانهٔ عمومی منطقه‌ای و شهری یوزف پیلسودسکی در لودز لهستان و کتاب دو از آرشیو ملی در پراگ، جمهوری چک گرفته شد. مشخصات کتاب‌های موردِبررسی در جدول یک ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات اشیاء موردِبررسی

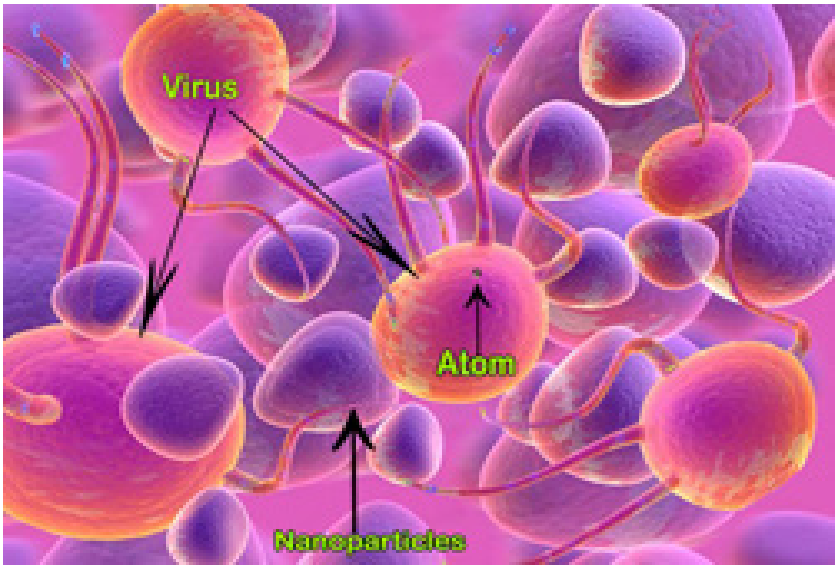
کتاب	شرح – عنوان / سال، اندازه (cm^2) / نوع ماده جلد	ارزیابی میکروسکوپی
۱	زنیک اوستاو، ۱۹۴۲، ۳۰ ×۲۳/۵ × ۳، مقوا و پارچه	رشد کپک، تغییر رنگ
۲	کانسولو، ۱۸۶۵، ۱۸/۸ × ۱۱ × ۲/۷، مقوا و کاغذ	رشد کپک، تغییر رنگ، از بین رفتن ساختار، بوی کپک

تجزیه‌وتحلیل آلودگی میکروبی

نمونه‌ها برای تجزیه‌وتحلیل میکروبی از چهار بخش مختلف از عناصر ساختاری کتاب‌ها، به‌وسیلهٔ اسفنج پنبه‌ایی استریل از درون و بیرون هر کتاب گرفته شد: BA– جلد رویی؛ BB– صفحه سفید اول؛ BC– لبهٔ جلویی؛ BD– ورق داخل کتاب. همهٔ نمونه‌ها سه‌بار تکرار شد. در کل، از هر کتاب موردِبررسی ۱۲ نمونه گرفته شد.

تجزیه‌وتحلیل‌های کمّی

تعداد ریزاندامگان‌ها قبل و بعد از ضدعفونی اندازه‌گیری شد تا کارایی ضدعفونی ارزیابی شود. آلودگی میکروبیولوژیکی با روش آنالیز کشت میکروب آزمایشگاهی توسط روش شمارش ریزاندامگان‌ها تعیین شد.



به‌وسیله اسفنج استریل، نمونه‌ها از سطوحی با ۲۵ سانتی‌مترمربع مساحت برداشته شده و در محلول نمک 0.85% (NaCl) قرار داده شد. بعد از رقیق‌سازی پیاپی، سوسپانسیون روی TSA (Tryptic Soy Agar، مرک، آلمان) پهن شد [TSA محیط کشت باکتری است]، به‌همراه نیستاتین (۶ mg/l) و MEA (آگار عصاره مالت، مرک، آلمان) و کلرامفنیکل (۴۰۰ mg/l) برای تعیین تعداد تمام باکتری‌ها و کپک‌ها. نمونه‌ها در دمای ۲۸±۲ درجه برای ۱۴ روز در شرایط مناسب برای گسترش قرار داده شد. نتایج بر واحد $CFU/25\ cm^2$ روی سطح بیان شد. تمامی آزمایش‌ها سه‌بار تکرار شد.

جدول ۲: روش‌ها و تجهیزات استفاده‌شده برای ارزیابی خواص کاغذ

نوع تجزیه‌وتحلیل	روش تحلیلی	دستگاه
وزن اصلی	ISO 536:2012	Quadrant weight
ضخامت/حجم	ISO 534:2011	Thickness meter
مقاومت در برابر هوا	ISO 5636-5:2003	Densometer 4101
محتوای خاکستر	ISO 1762:2001	Muffle furnace
pH	ISO 6588-1:2005	PH – meter CP-401
شمارهٔ کاپا	ISO 302:1981	Ubbelode viscometer
گرانروی ذاتی	ISO 5351-1:1981	Tensile strength tester
استحکام کششی	ISO 1924-2:2008	Mullen burst tester
استحکام از هم پاشیدگی	ISO 2758:2008	Tear tester ProTear
استحکام پارگی	EN 21974:2002	Tensile strength tester
سختی خمش	ISO 5628:2012	Kohler-Molin tester
تحمل تاشدگی اندازه‌گیری‌شده با نیروی کششی 0.1 kg	ISO 5626:1993	Schopper tester
تحمل تاشدگی اندازه‌گیری‌شده با نیروی کششی 0.5 kg	TAPPI T 423 om-89	TS-100
طول صفر شاخص استحکام الیاف	ISO 15361:2000	
روشنایی، زردی و پارامترهای رنگ کاغذ	ISO 2471-1:2008	Slrepho 2000

غلظت RNA

غلظت RNA قبل و بعد از ضدعفونی اندازه‌گیری شد تا کارایی ضدعفونی ارزیابی شود، زیرا RNA نشان‌دهنده قابلیت زیستن ریزاندامگان‌هاست. RNA مستقیماً با استفاده از کیت گیاهی ساخت شرکت RapidPure از نمونه‌های کاغذ و با پیروی از پروتکل شرکت سازنده استخراج شد. این روند برای هر چهار قسمت هر کتاب انجام شد. پس از استخراج RNA، تغلیظ و کیفیت RNA با استفاده از دستگاه فلوئورومتر برای سه‌بار تکرار شد.

شناسایی میکروب‌های ایزوله‌شده

شناسایی ریزاندامگان‌های ایزوله‌شده از کتاب‌ها قبل و بعد ضدعفونی انجام شد تا میزان

حساسیت نژادهای خاص ریزاندامگان‌ها به ضدعفونی‌کردن بررسی شود. به این منظور باکتری‌ها و قارچ‌های کشت داده شده خالص و ایزوله‌شده به‌ترتیب به TSA و MEA انتقال داده شد. DNA ژنومی باکتری‌ها و قارچ‌ها به‌وسیله مینی‌کیت ژنومی (ساخت A&A Biotechnology گدینیا، لهستان) با پیروی از دستورالعمل شرکت سازنده، استخراج شد. برای شناسایی نژادهای باکتریایی و قارچی، ژن 16S rRNA و مناطق ITS با توجه به دستورالعمل ارائه‌شده توسط Gutarowska تقویت و آنالیز شد.

ارزیابی ویژگی‌های کاغذ

آزمایش خواص ساختاری، بُعدی، مکانیکی و نوری کاغذ با استفاده از نمونه‌های بریده‌شده از همان صفحات کتاب‌ها انجام شد، که به چهار بخش تقسیم شدند (یکی برای کنترل‌کردن و یک بخش هم برای ضدعفونی با هریک از سه روش مختلف). ارزیابی خواص کاغذ که با این روش‌ها انجام شده است در جدول ۲ ارائه شده لست.

ضدعفونی

هر دو کتاب به چهار بخش یکسان تقسیم شدند: یک بخش با هریک از روش‌های سه‌گانه مختلف ضدعفونی شد و دیگری برای کنترل بود. هر دو کتاب هنگام فرایند ضدعفونی باز نگه داشته شدند.

پلاسمای دمای پایین

پلاسمای دمای پایین برای ضدعفونی میکروبی با تخلیه کورونای چند نقطه‌ای فرکانس بالا در دستگاه بسته، ایجاد شد. تخلیه کورونا با ولتاژ ۱۶–۱۴ kV، جریان ۵٪ mA، قدرت کلی ۸–۷ W و فرکانس ۱۳۰ kHz بر روی ۱۳ الکترود نقطه‌ای محترق شد که تقریباً در دو سانتی‌متری نمونه‌ای که آلودگی آن از بین برده شده بود روی یک جعبه مکعبی با اندازه‌های ۲۳ سانتی‌متری قرار داده شده بودند. این فرایند ۳۰ دقیقه طول کشید.

پوشش نانو ذرات نقره

محلول کلوئیدی نانو ذرات نقره (غلظت ۹۰ ppm، pH = ۷; Ø = ۱۰ — ۸۰ nm) در محفظه (۱/۷۳ m^3) تحت شرایط خاص به‌کار برده شد: دما T = ۲۵ C، RH =٪ ۹۰، جریان هوا ۱ m/s. محفظه و روند ضدعفونی توسط ثبت اختراع محفوظ هستند. فرایند ۸ ساعت به طول انجامید.

اسانس آویشن

محلول اسانس آویشن در DMSO (دی‌متیل‌سولفکسید، Sigma-Aldrich، مونیخ، آلمان) به ۱۰٪ غلظت، رقیق شد. بیشترین ترکیبات قابل‌توجه اسانس این بود: فنول‌ها (بیشتر از ۶۰٪) تیمول (۵۵٪<) کارواکرول (۱۰٪<) و مونوترپن (۵۴٪<). فرایند ۲۰ روز طول کشید. شرایط (تغلیظ این اسانس) بر پایه پژوهش‌های مدلی پیش از این انتخاب شد.

محاسبات ریاضی

کاهش تعداد ریزاندامگان‌ها (هم کلی و هم گونه‌های خاص) با معادله $R = \frac{N0 - N}{N0} \times 100$ محاسبه شد که در آن N تعداد ریزاندامگان‌ها (CFU/۲۵ cm^2) بعد از ضدعفونی و N0 تعداد ریزاندامگان‌ها (CFU/۲۵ cm^2) قبل از ضدعفونی است.

تجزیه‌وتحلیل آماری

محاسبات آماری با استفاده از برنامهٔ شرکت آمریکایی Original ab، انجام شد. آنالیزها با استفاده از روش آنالیز یک طرفه واریانس (ANOVA) انجام شد. تفاوت‌های بین پارامترهای کاغذ آنالیزشده در مرحله کنترل و کتاب‌های ضدعفونی‌شده، از لحاظ آماری قابل‌توجه در نظر گرفته شد.

بحث و بررسی

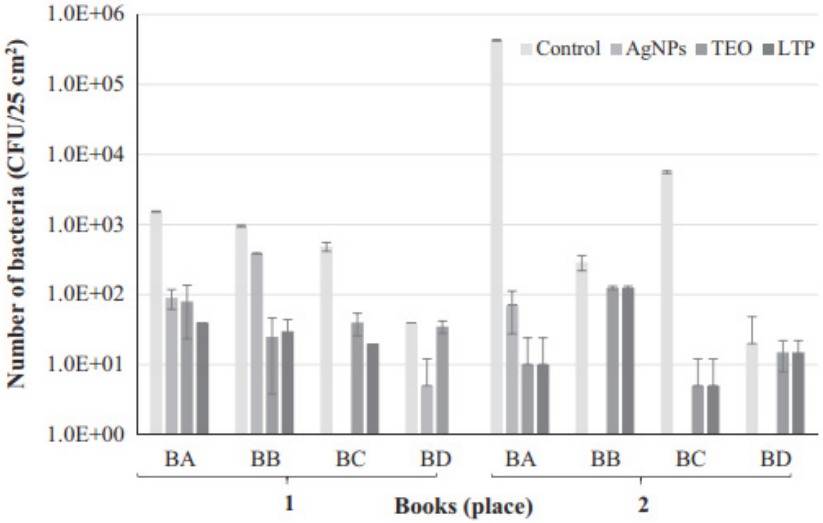
تمام این روش‌ها خاصیت ضدمیکروبی و ضدقارچی از خود نشان دادند. کاهش سطح میکروبی حدود ۱۲–۱۰۰ درصد است. به‌جز لبه جلویی و کاغذ داخل کتاب شماره ۱ خاصیت ضدقارچی کم نشد. AgNPs بهترین روش است. این روش تعداد باکتری‌ها را به میزان ۶۰–۱۰۰ درصد کاهش می‌دهد.

دو روش LTP و TEO میزان باکتری‌ها را به مقدار ۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش می‌دهد. همه روش‌ها نسبت به از بین بردن قارچ‌ها کم‌اثرتر هستند و به از بین بردن باکتری‌ها بهتر جواب می‌دهند. هر سه روش تعداد قارچ‌ها را بین ۰ تا ۹۹/۸ درصد کاهش می‌دهند. بهترین نتایج در کتاب شماره ۲ به‌دست آمده است که رطوبت بیشتری قبل از میکروب‌زدایی داشت (RH=%80). بالاترین کاهش میکروبی توسط روش نانوذرات نقره (۷۸–۱۰۰ درصد) به‌دست آمده است. با روش پلاسمای حرارت پایین نتایج حدود ۲۵ تا ۱۰۰ درصد و روش اسانس آویشن باعث کاهش میکروبی در سطح ۲۳ تا ۱۰۰ درصد شده است. در مقابل نتایج برای کتاب شماره ۱ به‌طور واضح کمتر است. روش‌های LTP و AgNP اثر ۰ تا ۱۰۰ درصد داشته‌اند

(جدول ۳ و نمودار ۱).

جدول ۳: کاهش تعداد ریزاندامگان‌ها روی کتاب بعد از ضدعفونی‌کردن با سه روش

Book	Place	Reduction (%)					
		AgNPs		TEO		LTP	
		Bacteria	Fungi	Bacteria	Fungi	Bacteria	Fungi
1	BA	94.12	69.70	94.77	94.36	97.39	89.14
	BB	59.47	95.13	97.37	96.13	96.84	93.45
	BC	100	0	91.75	0	95.88	0
	BD	87.50	0	12.50	0	100	0
2	BA	99.98	91.10	100	76.74	100	76.69
	BB	100	78.40	56.90	23.33	56.90	57.88
	BC	100	99.29	99.91	87.48	99.91	92.91
	BD	100	99.72	25.00	99.37	25.00	99.80



نمودار ۱: تعداد باکتری‌ها بر روی کتاب‌ها، قبل (کنترل) و بعد از ضدعفونی کردن با سه روش مختلف

اثر آنتی‌میکروبی وابسته است به سطحی از کتاب که دارای ریزاندامگان‌ها هستند. هیچ یک از سه روش روی رشد قارچ‌ها در نمونه‌هایی که از لبه (BC) و صفحه داخل کتاب شماره ۱ (BD) برداشته شده است، بازدارندگی ندارد.

ریزاندامگان‌های موجود در هر سه روش دربرگیرنده قارچ‌ها، باسیل‌ها و کپک‌ها بوده‌اند که برای از بین بردن آن‌ها از پاستوریزه‌کردن و سترون‌سازی بهره گرفته شده است. غلظت محلول‌های ضدمیکروبی در کتاب‌های موردِنظر ما کم بوده است. روش‌های AgNP و LTP در مورد ۶ قارچ و روش TEo در مورد ۹ نوع قارچ مؤثر بوده است.کاهش در غلظت RNA معنی‌دار است. بیشترین مقدار کاهش RNA در کتاب ۲ (۶۷٪–۱۰۰٪) نسبت به کتاب ۱ (۲۹٪–۹۹ ٪) است. بیشترین تأثیر ضدعفونی کردن در روش TEo و LTP حدود (۹۵٪–۱۰۰٪) بوده است، درحالی‌که AgNPs غلظت RNA را بین ۲۹٪–۸۹٪ کاهش می‌دهد.

با توجه به روش گندزدایی، کیفیت مکانیکی اوراق فرق می‌کند. در کتاب ۲ تغییرات بسیار مشخص هستند. روش پلاسما حرارت پایین و عصاره آویشن بهتر بودند. می‌توان فرض کرد که روش‌های گندزدایی اثر منفی بر خصوصیات بصری اوراق ندارند. البته زردبودن اوراق قبل از گندزدایی باید مدنظر باشد. در کتاب ۲ که از ذرات نانو نقره و عصاره آویشن استفاده شده است، زردی اوراق کمتر دیده شده است. تفاوت میان روشنایی در اوراق کتاب با توجه به رنگ آن‌ها بررسی می‌شود. ورق کتاب که گندزدایی شده است پارامتر a که به رنگ قرمز یا قرمزی اوراق مرتبط است، بیشتر و پارامتر b که به زردی اوراق مرتبط است کمتر شده است. پژوهش حاضر که بر روی کتاب‌های تاریخی صورت گرفته است نشان داد که با روش میکروب‌زدایی TEO بیشتر بر روی باکتری‌ها (۱۲٪–۱۰۰%) اثر داشته تا بر روی قارچ‌ها (۰٪–۹۹٫۳%). با این وجود، مشخص شد که عصاره آویشن از میان ۱۶ گونه مختلف، روی ۹ گونه مختلف (شامل ۵ گونه قارچ) اثری کشنده داشته است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که عصاره آویشن به نسبت AgNPs و LTP (۶ گونه از ۱۶ گونه موجود) طیف وسیع‌تری از فعالیت‌های قارچی را موردِهدف قرار می‌دهد.

تا به اینجا، در شرایط الگو نشان داده شد که می‌توان از عصاره‌های میخک، اسطوقدوس، پونه، درخت چای و سایر گیاهان و ترکیب عناصر اصلی آن‌ها یعنی لینالول، لینالیل استات، اوژنول، توژون و سینئول برای توقف رشد قارچ بر مدارکو محیط‌های نگه‌داری آن‌ها در کتابخانه‌ها و آرشیوها استفاده کرد. نتایج، وجود موجودات میکروبی را پیش از استفاده از هرگونه روش میکروب‌زدایی تأیید می‌کند. انتخاب پارامترهای فرایند، (غلظت عامل فعال، زمان) بستگی به نوع موجودات میکروسکوپی داشته و ارتباطی با شرایطی که در پیشینه تحقیق ذکر شد، ندارد. انتخاب روش میکروب‌زدایی بر اساس حساسیت‌های متنوع موجودات میکروسکوپی نیز تأیید شد. موجودات میکروسکوپی که بیشترین تأثیر را از روش‌های میکروب‌زدایی دریافت می‌کردند شامل ای نیگر، سی. گلوبوسوم، بی. سرئوس و ام. آئرولاتوم هستند. در واقع، قارچ‌های ای. نیگر و سی. گلوبوسوم به‌طور عمده از آرشیوها زدوده شد. این دو قارچ دارای ویژگی رشد گسترده روی کاغذ و حساسیت پایین به مواد کشنده بوده که این

امر در این پژوهش تأیید شد. توقف رشد برای این گونه از قارچ‌ها کمتر از log ۰/۵ بوده است و بنابراین، کاراکترهای میکروب‌زدایی باید به‌منظور افزایش اثرگذاری تغییر کند.

مشاهده شد که اثرگذاری میکروب‌زدایی به محیط نمونه‌برداری بستگی دارد. بالاترین اثر روی جلد و صفحه سفید ابتدای کتاب و پایین‌ترین اثر روی حاشیه‌ها و داخل صفحات کتاب بوده است. رایج‌ترین مکان برای رشد موجودات میکروسکوپی در کتاب‌ها، جلد کتاب‌ها و فضاهای میان مواد مختلف استفاده شده در آن مانند چسب، جلدهای پارچه‌ای و چرمی می‌باشد. در این مکان‌ها، اثرگذاری بالایی از تمامی روش‌های میکروب‌زدایی را شاهد بودیم (۵۹٪–۱۰۰٪). بخار عصاره‌های مختلف، میکرو ذرات نقره و گونه‌های حساس به اکسیژن و نیتروژن تولیدشده در طول روش پلاسمای دمای پایین می‌توانند جذب کاغذ شوند. بنابراین، بهتر است که کتاب‌ها در حین فرایند میکروب‌زدایی باز نگه داشته شوند. راکوتونیراینی و لاودرین[1] بیان داشتند که اگر یک کتاب باز را در معرض بخارهای عصاره‌های مختلف قرار دهیم، این بخار می‌تواند جذب تمامی صفحات کتاب شود. در کتاب‌هایی که دارای موجودات میکروسکوپی زیادی بوده و در محیطی با رطوبت بالا نگه‌داری می‌شده است، اثرگذاری بالاتری را شاهد بودیم که می‌تواند نشانگر حساسیت بالاتر نسبت به روش‌های میکروب‌زدایی اعمال‌شده باشد. سلول‌های نباتی نیز در مقایسه با کنیدیوم و یا اندوسپورها ازحساسیت بالاتری نسبت به روش‌های اعمال‌شده برخوردار بودند.

روش ارزیابی غلظت RNA یک روش مناسب برای ارزیابی عملکرد ترکیبات ضدمیکروبی در روش میکروب‌زدایی است. لیکن تفسیر نتایج، خصوصاً در زمان مقایسه اثرگذاری روش‌های مختلف میکروب‌زدایی باید با دقت صورت گیرد. نتایج بیان‌شده نشان دادند که غلظت RNA پس از میکروب‌زدایی به روش LTP و TEO به ۹۵٪–۱۰۰٪ کاهش یافت. روش AgNPs غلظت RNA را فقط به اندازه ۲۹–۸۹% کاهش داد. روش‌های وابسته به نوع کشت نتایج قابل‌مقایسه‌تری را برای تمامی روش‌های استفاده‌شده، نشان دادند. به‌طور کلی، رویکرد RNA میزان فعالیت متابولیک را تعیین می‌کند، زیرا مقدار RNA در هر سلول معادل فعالیت متابولیک است. به عقیده برخی از محققان، غلظت RNA دارای یک رابطه همبستگی با زیست‌پذیری موجودات میکروسکوپی است. میکائیلسن و همکاران[2] برای اولین‌بار از یک روش RNA مدار به‌عنوان شاخص زیست‌پذیری و همین‌طور برای نظارت بر فرایند صورت‌گرفته روی کاغذهایی استفاده کردند که به‌طور مصنوعی آلوده به میکروب شده بودند. تحلیل ما از غلظت RNA قبل و بعد از میکروب‌زدایی نشان داد که روش‌های TEO و LTP می‌توانند جلوی رشد موجودات میکروسکوپی را با اثرگذاری بر سنتز اسیدهای نوکلئیک بگیرند. یکی از این سازوکارهای فعالیت TEOها در سلول‌های میکروبی و موجودات بزرگ‌تر، تعامل میان عامل فعال عصاره‌ها و اسیدهای نوکلئیک در هسته سلول می‌باشد. بااین‌حال، این گفته برای روش LTP ثابت نشد، ROS و RNS

1. Rakotonirainy and Lavedrine
2. Michaelsenet al.

که در طول این فرایند تولید شد دارای ویژگی‌های اکسیدکنندگی برای تمامی اجزای ارگانیک سلول است. سازوکار اثرگذاری روش AgNPs بر روی باکتری دارای جهت‌های متفاوت بوده و به‌طور عمده شامل تخریب دیواره و غشاء سلول می‌شود. علاوه‌براین، این روش بر روی متابولسیم و سنتز DNA سلول نیز تأثیر می‌گذارد. در روش میکروب‌زدایی AgNPs، کاهش غلظت RNA می‌توانست کمتر باشد، زیرا سایر سازوکارهای تخریب سلول بیشتر از اثر مخرب اسید نوکلئیک، اثرگذار بوده‌اند. علاوه‌براین، در این‌گونه از میکروب‌زدایی ممکن است مواد استفاده‌شده در میکروب‌زدایی روی سطح کاغذ ته‌نشین شود که می‌تواند جلوی استخراج RNA از مواد را بگیرد. جنبه مهم استفاده‌کردن AgNPs، اثر آن بر سلامت انسان است. نتایج به‌دست آمده در تحقیق پیترزک و همکاران نشان داد که این روش هم برای محیط و هم برای کارکنانی که در اتاق میکروب‌زدایی فعالیت می‌کنند، بی‌خطر است. میکروب‌زدایی کاغذ از هر دو کتاب‌های تاریخی موردِتحلیل، باعث افزایش حجم آن‌ها به‌علت افزایش ضخامت کاغذ شد.

نتیجه‌گیری:

نشان داده شد که روش‌های استفاده از نانو ذرات نقره، عصاره آویشن و پلاسمای دمای پایین را می‌توان به‌جای روش‌های موجود برای توقف رشد موجودات میکروسکوپی استفاده کرد. این روش‌هایی که موردآزمون قرار گرفته شدند از خود فعالیت ضدباکتری و ضدقارچ مطلوب‌تری را نشان دادند. برای حصول اثرگذاری بیشتر، باید فرایندهای میکروب‌زدایی را با در نظر گرفتن نوع موجودات میکروسکوپی در کتاب‌ها، بهینه‌سازی کرد. این روش‌های میکروب‌زدایی تا حدی بر ویژگی‌های بصری کاغذ کتاب شماره ۱ اثر گذاشتند و علاوه‌براین، این روش‌ها بر روی ویژگی‌های کاغذ کتاب شماره ۲ که به‌شدت آلوده به موجودات میکروسکوپی بود، اثر مثبتی داشتند. برای آزمون این اثرات روی کاغذهای تاریخی متفاوت و برای بسط‌دادن این نتایج به سایر مواد در کتاب‌ها (چرم طبیعی، جوهرها، انواع چاپ، موم‌ها، عکس‌ها) نیاز به تحقیقات بیشتری است.

می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از روش‌های LTP، AgNPs و TEO می‌توان اثرات مشابهی را دریافت کرد. زوال کاغذ، یک فرایند غیرقابلِ‌بازگشت است، لیکن توقف زوال بیشتر به‌وسیله میکروب‌زدایی و اسیدزدایی می‌تواند باعث حفظ کاغذ شود و زوال بیشتر کاغذ در این مرحله به‌منظور حفظ کاغذهای کتب تاریخی ضروری است. روش‌های استفاده شده قاعدتاً روی ویژگی‌های نوری کاغذهای میکروب‌زدایی‌شده مانند سفیدی، زردی و طیف رنگ یا تأثیری نداشته و یا تأثیر بسیار اندکی دارد. بااین‌وجود، پلاسمای دمای پایین باعث افزایش زردی کاغذ جدید شد. ارزیابی اثرات مخرب بالقوه بخار لیانول بر دو گونه کاغذ نشان داد که این ماده اثری بر روشنی و درجه بسپارسازی کاغذها نداشته، و در عوض مقادر pH را کاهش داد.

منابع

- مجنون حسینی، ناصر؛ دوازده‌امامی، سعید (۱۳۸۶). *زراعت و تولید برخی گیاهان دارویی و ادویه‌ای*. تهران: دانشگاه تهران.
- نجفی، فرزاد؛ عبادی، محمدتقی؛ عباسیان، جلال. (۱۳۹۰). *فرایندهای برداشت، خشک‌کردن و فرآوری گیاهان دارویی و معطر*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی تهران.

- Kowalik, R. (1980). Microbiodeterioration of library materials, Restaurator 4. pp.99–114.
- Karbowska-Berent, J. (2014) Dezynfekcja chemiczna zabytków na podło˙ zu papierowym – skuteczno´s´c i zagro˙ zenia, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toru´n.
- Arai, H. (2000). Foxing caused by fungi: twenty-five years of study, Int. Biodete-rior. Biodegrad. 46. pp.181–188, http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00063-9.
- Strzelczyk, A.B. (2004). Observations on aesthetic and structural changes inducedin Polish historic objects by microorganisms, Int. Biodeterior. Biodegrad. 53. pp. 151–156, http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00088-X.
- Florian, M.-L.E. (2002). Fungal Facts: Solving Fungal Problems in Heritage Collections, Archetype Publications, London.
- Wiszniewska, M.; Walusiak-Skorupa, J.; Pannenko, Draniak, I. M.; & Palczynski, C. (2009). Occupational exposure and sensitization to fungi among museum work-ers, Occup. Med. (Chic. Ill) 59. pp.237–242, http://dx.doi.org/10.1093/occmed/kqp043.
- IARC (International Agency on Research on Cancer) (2006). Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol, World Health Organization, Lyon.
- IARC (International Agency on Research on Cancer) (2008). 1,3-Butadiene, EthyleneOxide and Vinyl Halides (Vinyl Fluoride Vinyl Chloride and Vinyl Bromide),World Health Organization, Lyon,.
- Magaudda, G. (2004). The recovery of biodeteriorated books and archive documentsthrough gamma radiation: some considerations on the results achieved, J. Cult.Herit. 5. pp.113–118, http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2003.07.003.
- Sequeira, S.; Cabrita, E.J. ; & Macedo, M.F. (2012). Antifungals on paper conservation:an overview, Int. Biodeterior. Biodegrad. 74. pp.67–86, http://dx.doi.

org/10.1016/j.ibiod.2012.07.011.

- Paulus, W. (2004). Directory of Microbicides for the Protection of Materials – A Hand-book, Kluwer Academic, Dordrecht.

- Velikova, T.; Trepova, E.; & Rozen, T. (2011). The use of biocides for the protection of librarydocuments: before and now, in: A. Mendez-Vilas (Ed.), Sci. against Microb. Pathog. Commun. Curr. Res. Technol. Adv., Formatex Research Center, Badajoz , pp. 152–159.

- Inouye, S. & Abe, S. (2003). H. Yamaguchi, M. Asakura, Comparative study of antimicrobialand cytotoxic effects of selected essential oils by gaseous and solution contacts,Int. J. Aromather. 13. pp.33–41.

- Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D.; & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essen-tial oils – a review, Food Chem. Toxicol. 46. pp.446–475, http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106.

- Kalemba, D. & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal properties of essential oils, Curr. Med. Chem. 10. pp.813–829.

- Rakotonirainy, M.S.; Caillat, L.; Héraud, C.; & Memet, J.B.Q.K. (2007). Tran, Effective bio-cide to prevent microbiological contamination during PEG impregnation ofwet archaeological iron-wood artefacts, J. Cult. Herit. 8, pp.160–169, http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2007.01.005.

- Borrego, S.; Lavin, P.; Perdomo, I.; Gómez de Saravia, S.; & Guiamet, P. (2012). Determination of indoor air quality in archives and biodeterioration of thedocumentary heritage, ISRN Microbiol. pp.1–10, http://dx.doi.org/10.5402/2012/680598.

- Lavin, P.; Gomez de Saravia, S.; Guiamet, P. (2016). Scopulariopsis sp. and Fusariumsp. in the documentary heritage: evaluation of their biodeterioration abilityand antifungal effect of two essential oils, Microb. Ecol. 71, pp.628–633, http://dx.doi.org/10.1007/s00248-015-0688-2.

- Guiamet, P.; Borrego, S.; Lavin, P.; Perdomo, I.; Gomez de Saravia, S. (2011). Biofouling andbiodetrioration in materials stored at the Historical Archive of the museum ofLa Plata, argentine and at the National Archive of the republic of Cuba, ColloidsSurf B. 85, pp.229–234, http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.02.031.

- Lavin, P.; Gomez de Saravia, S.G.; Guiamet, P.S. (2014). An environmental assessmentof biodeterioration in document repositories, Biofouling 30, pp.561–569, http://dx.doi.org/10.1080/08927014.2014.897334.
- Michaelsen, A.; Pinzari, F.; Barbabietola, N. G. Pinar, Monitoring the effects ofdifferent conservation treatments on paper-infecting fungi, Int. Biodeterior.Biodegrad. 84 (2013) 333–341, http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.08.005.
- S. Borrego, O. Valdés, I. Vivar, P. Lavin, P. Guiamet, P. Battistoni, S. Gómezde Saravia, P. Borges, Essential oils of plants as biocides against microorgan-isms isolated from Cuban and Argentine documentary heritage, ISRN Microbiol.2012 (2012) 826786, http://dx.doi.org/10.5402/2012/826786.
- B. Gutarowska, J. Skora, K. Zduniak, D. Rembisz, Analysis of the sensitivityof microorganisms contaminating museums and archives to silver nanoparticles, Int. Biodeterior. Biodegrad. 68 (2012) 7–17, http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.12.002.
- K.-J. Kim, W.S. Sung, B.K. Suh, S.-K. Moon, J.-S. Choi, J.G. Kim, D.G. Lee, Anti-fungal activity and mode of action of silver nano-particles on Candida albicans,Biometals 22 (2009) 235–242, http://dx.doi.org/10.1007/s10534-008-9159-2.
- B. Gutarowska, K. Pietrzak, W. Machnowski, D. Danielewicz, M. Szynkowska, P.Konca, B. Surma-´Slusarska, Application of silver nanoparticles for disinfectionof materials to protect historical objects, Curr. Nanosci. 10 (2014) 277–286.
- B. Gutarowska, D. Rembisz, K. Zduniak, J. Skóra, M. Szynkowska, E. Gli´sci´nska,A. Koziróg, Optimization and application of the misting method with silvernanoparticles for disinfection of the historical objects, Int. Biodeterior. Biodegrad. 75 (2012) 167–175.
- D.B. Graves, The emerging role of reactive oxygen and nitrogen species inredox biology and some implications for plasma applications to medicineand biology, J. Phys. D: Appl. Phys. 45 (2012), http://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/45/26/263001.
- S. Kelly, M.M. Turner, Atomic oxygen and ozone patterning in the plasma needlebiomedical source, J. Appl. Phys. 114 (2013) 123301.

- E.P.M.V. Angelini, S. Grassini, F. Fracassi, R. Dagostino, F. Palumbo, A.Ciringiloglu, Cultural heritage protection with low pressure plasma treatments,Vac. Int. 2 (2007) 26–32.
- M.D.M. López-Miras, I. Martín-Sánchez, Á. Yebra-Rodríguez, J. Romero-Noguera, F. Bolívar-Galiano, J. Ettenauer, K. Sterflinger, G. Pi˜nar, Contribution ofthe microbial communities detected on an oil painting on canvas to its biodete-rioration, PLoS ONE 8 (2013), http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0080.198.
- B. Gutarowska, J. Skóra, Ł. St˛epie´n, B. Szponar, A. Otlewska, K. Pielech-Przybylska, Assessment of microbial contamination within working environ-ments of different types of composting plants, J. Air Waste Manage. Assoc. 65(2015) 466–478, http://dx.doi.org/10.1080/10962247.2014.960954.
- V. Scholtz, J. Pazlarova, H. Souskova, J. Khun, J. Julak, Nonthermal plasma – a toolfor decontamination and disinfection, Biotechnol. Adv. 33 (2015) 1108–1119,http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.01.002.
- R. Wasiak, Z. Laskowski, J. Czy˙zyk, The Microbiological Protection Method ofArchive and Museum Objects and Installation for the Microbiological Protectionof Archive and Museum Objects, PL399507, 2012.
- L. Krakova, K. Chovanova, S.A. Selim, A. Simonovicova, A. Puskarova, A.Makova, D. Pangallo, A multiphasic approach for investigation of the microbialdiversity and its biodegradative abilities in historical paper and parch-ment documents, Int. Biodeterior. Biodegrad. 70 (2012) 117–125, http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.01.011.
- L. Krakova, K. Chovanova, A. Puskarova, M. Buckova, D. Pangallo, A novelPCR-based approach for the detection and classification of potential cel-lulolytic fungal strains isolated from museum items and surroundingindoor environment, Lett. Appl. Microbiol. 54 (2012) 433–440, http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-765X.2012.0322.7.x.
- M.S. Rakotonirainy, B. Lavédrine, Screening for antifungal activity of essen-tial oils and related compounds to control the biocontamination in librariesand archives storage areas, Int. Biodeterior. Biodegrad. 55 (2005) 141–147,http://dx.doi.

org/10.1016/j.ibiod.2004.10.002.

- K. Pietrzak, B. Gutarowska, W. Machnowski, U. Mikołajczyk, Antimicrobialproperties of silver nanoparticles misting on cotton fabrics, Text. Res. J. 86(2016) 812–822, http://dx.doi.org/10.1177/0040517515596933.
- J.T. Keer, L. Birch, Molecular methods for the assessment of bacterial via-bility, J. Microbiol. Methods 53 (2003) 175–183, http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7012(03)00025-3.
- K. Pietrzak, M. Twaru˙zek, A. Czy˙zowska, R. Kosicki, B. Gutarowska, Influence ofsilver nanoparticles on metabolism and toxicity of moulds, Acta Biochim. Pol.62 (2015) 851–857.
- J. Kosk-Bienko, Workplace exposure to nanoparticles: literature review. Officefor Official Publications of the European Communities, EU-OSHA – EuropeanAgency for Safety and Health at Work, 2008.
- M.C. Letnar, V.K. Van˘cina, The effect of accelerated ageing on graphic paper-board degradation, Restaurator 23 (2002) 118–132.
- J.W. Baty, C.L. Maitland, W.M. Minter, A. Hubbe, S.K. Jordan-Mowery, Deacidi-fication for the conservation and preservation of paper-based works: a review,BioResources 5 (2010) 1955–2023.
- S. Zervos, A. Moropoulou, Methodology and criteria for the evaluation of paperconservation interventions. Literature review, Restaurator 27 (2006) 219–274.
- I. Batterham, R. Rai, A comparison of artificial ageing with 27 years of naturalageing, in: Contrib. to 5th AICCM Book, Pap. Photogr. Mater. Symp. Aust. WarMemorial, Canberra 23–35 July, 2008, 2008, pp. 81–89.
- J. D¸abrowski, How long can paper endure? Notes Konserw. 10 (2006) 186–231.
- W.F. Cowan, Explaining handsheet tensile and tear in terms of fiber-qualitynumbers, Tappi J. 78 (1995) 101–106.
- R.S. Seth, Zero-span tensile strength of papermaking fibres, Pap. ja Puu 83(2001) 597–604.[48] M. Garg, S.P. Singh, Reasons of strength loss in recycled pulp, J. Tech. Assoc.Aust. New Zeal. Pulp Pap. Ind. 59 (2006) 274–279.
- E.G. Ioanid, V. Frunz˘a, D. Rusu, A.M. Vlad, C. Tanase, S. Dunca, Radio-

FrequencyPlasma Discharge Equipment for Conservation Treatments of Paper Supports,9, 2015, pp. 748–752.

- V. Daniels, B. Boyd, The yellowing of thymol in the display of prints, Stud.Conserv. 31 (1986) 156–158.
- M.S. Rakotonirainy, F. Juchauld, M. Gillet, M. Othman-Choulak, B. Lavedrine,The effect of linalool vapour on silver-gelatine photographs and bookbindingleathers, Restaurator 28 (2007) 95–111.