

ضد عفونی 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 شمسیین و سکینه بهرامی نسب

چکیده:

هدف از این پژوهش، تعیین اثربخشی روش‌های ضد عفونی 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. علاوه بر این، تأثیر ضد عفونی را روی خواص مکانیکی و نوری یک برگ کاغذ از کتاب‌های تاریخی با سطوح مختلف از آلودگی میکروبی مورد بررسی قرار دادیم. همه روش‌های ضد عفونی به طور کلی با مهار باکتری و قارچ همراه بودند. روش پوشش نانو ذرات نقره ($R=60\%-100\%$)، برای مهار باکتری بسیار مؤثرتر از LTP با ($R=25\%-100\%$) و TEO با ($R=12\%-100\%$) بود. همه روش‌های آزمایش شده تأثیر کمتری بر روی قارچ داشتند ($R=0\%-99.8\%$). روش TEO طیف گسترده‌ای از قارچ‌کشی را در مقایسه با AgNPs و LTP از خود نشان داد. اثر ضد میکروبی، به سطح جایی که ریزاندامگان‌ها^۱ جدا شده بودند و حساسیت آن‌ها به عوامل فعال بستگی دارد. اثر ضد عفونی بیشتری برای کتاب‌هایی که میزان آلودگی میکروبی بیشتر داشتند، مشاهده شد. غلظت RNA نشانگر خوبی از فعالیت ضد میکروبی این ضد عفونی بود. از مقدار RNA به میزان ۹۵ تا ۱۰۰ درصد بعد از ضد عفونی با LTP و TEO، و ۲۹ تا ۸۹ درصد بعد از ضد عفونی با AgNPs، کاسته شد. ضد عفونی کاغذ کتاب‌های تاریخی با LTP، AgNPs و TEO تأثیر قابل ملاحظه یا اثر مثبتی بر خواص مکانیکی یا نوری کاغذ کتاب‌های تاریخی مورد آزمایش نداشت. ما نشان دادیم که LTP، TEO و AgNPs می‌توانند به عنوان یک روش مهار میکروبی به صورت متناوب استفاده شوند تا نسبت به روش‌هایی که در حال حاضر مورد استفاده هستند. مدارک آرشیوی و مجموعه‌های کتابخانه‌ای دارای ارزش‌های بزرگ فرهنگی هستند. با توجه به ترکیبات شیمیایی، آن‌ها به سرعت دستخوش تخریب به وسیله فعالیت‌های میکروبی می‌شوند. برای جلوگیری از این فرایند، کاهش انتشار آلودگی میکروبی به اشیاء دیگر و محافظت کردن از کارکنان، مدارک آرشیوی باید قبل از هر عمل محافظتی دیگر، ضد عفونی شوند. دانشمندان در حال تحقیق روی روش‌های جایگزین با کارایی بالا برای ضد عفونی کردن مدارک آرشیوی هستند. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی اثر سه روش ضد عفونی 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. علاوه بر این، خواص مکانیکی و نوری کاغذهایی از دو کتاب تاریخی با سطوح مختلف از آلودگی میکروبی مورد بررسی قرار گرفت.

1. Microorganisms

کلیدواژه‌ها

ضد عفونی، مدارک آرشیوی، حفاظت و نگهداری، اسانس آویشن، پوشش نانو ذرات نقره، پلاسما.

ضد عفونی کردن مدارک آرشیوی با استفاده از اسانس آویشن، پوشش نانو ذرات نقره و پلاسما با دمای پایین^۱

نویسندگان: کاتارینا پیترزاک و همکاران^۲
ترجمه: اعظم خوشبین^۳، زهرا شمسین^۴ و سکینه بهرامی نسب^۵

۱. این مقاله ترجمه‌ای است از:

Disinfection of archival documents using thyme essential oil, silver nanoparticles 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 Pangallo, Lucia Kraková, Andrea Puškárová, Mária Bučková, Vladimír Scholtzd, Michal Durovičce, Barbara Surma-Slusarskab, Kateřina Demnerováf, Beata Gutarowska

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید

بهشتی، کارمند کتابخانه دانشگاه سمنان.

a_khoshbin@staff.semnan.ac.ir

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید

بهشتی، کارمند کتابخانه دانشگاه سمنان.

z_shamsin@staff.semnan.ac.ir

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد شهید بهشتی،

کارمند نهاد کتابخانه عمومی شاهرود.

s.bahraminassab@gmail.com

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 شناخته شده است که شامل تجزیه پودری، سفت شدن و پدیده Foxing (ایجاد نقطه‌های پراکنده که معمولاً قرمز و قهوه‌ای هستند و به دلیل فعالیت قارچ‌ها به وجود می‌آیند) می‌شود. سوخت‌وساز میکروبی می‌تواند سبب تغییر رنگ، تجزیه، تقلیل رفتن استحکام کاغذ و ایجاد بوی خاص کپک شود که خود سبب یک زیان غیرقابل بازگشت به میراث فرهنگی می‌شود. ریزاندامگان‌ها به طور 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.

به دلیل سرطان‌زا و آزاردهنده بودن روش‌های مرسوم ضد عفونی مانند بخور دادن با اتیلن اکسید یا فرمالدهید، کشورهای اتحادیه اروپا به تدریج در حال متوقف کردن این روش‌ها هستند. روش‌های دیگر، مانند اشعه گاما و پرتو فرابنفش نمی‌توانند برای



ضد عفونی اشیاء تاریخی مورد استفاده قرار گیرند، زیرا باعث کاهش قابل توجه استحکام و تغییر رنگ کاغذ می شوند. برای ضد عفونی کردن کتاب ها، استفاده از روش های شیمیایی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ترکیبات شیمیایی ضد میکروبی، شامل الکل ها، آلدئیدها، فنول ها و عوامل فعال سطحی هستند. اما تعداد آن ها برای کاغذها به ویژه کاغذ و اسناد تاریخی محدود است. در این مطالعه، سه روش ضد عفونی جایگزین برای مواد آرشیوی مورد بررسی قرار گرفت: اسانس آویشن (TEO)، پوشش نانو ذرات نقره (AgNPs) و پلاسمای دمای پایین (LTP).

امروزه، اسانس ها به طور موفقیت آمیزی در زمینه های مختلف شامل لوازم آرایشی و بهداشتی، صنایع غذایی و همچنین درمان عفونت و بیماری ها استفاده شده اند. اسانس ها به خاطر اثر بازدارندگی شان در برابر انواع مختلف ریزاندامگان ها از جمله ویروس ها، باکتری ها، قارچ ها، تک یاخته ها و حشرات به خوبی شناخته شده اند.

سازوکار ضد میکروبی اسانس ها به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. فعالیت ضد میکروبی اجزای اسانس ها را می توان به ترتیب نزولی زیر دسته بندی کرد:

فنول ها < آلدئیدها < کتون ها < الکل ها < استرها < هیدروکربن ها

باین حال، طبق بسیاری از مطالعات گزارش شده، فقط شمار کمی از این مطالعات به کاربردشان در زمینه پیشگیری از تخریب کتاب ها و اسناد تاریخی اشاره کرده اند. استفاده کردن از اسانس ها در مواد کاغذی به طور عمده به علت نبودن شواهد علمی بر امکان اثرگذاری مضر آن ها بر کاغذهای تاریخی هنوز بحث برانگیز است.

نانو ذرات نقره AgNPs برای خواص ضد میکروبی خود شناخته شده اند. آن ها پیش از این برای ضد عفونی مواد تاریخی مانند کاغذ پوستی، چرم، چوب، الیاف، سنگ های باستان شناسی و کاغذ به کار برده شده اند. هیچ تأثیر منفی توسط AgNPs روی خواص موادی که مبتنی بر کاغذ هستند، مشاهده نشده است.

پلاسمای دمای پایین (LTP) را می توان با تخلیه الکتریکی در گازها، تحت فشار کم تولید کرد.

از LTP اخیراً برای ضد عفونی میکروبی سطوح و مایع ها مانند: فاضلاب، غذاهای آماده، مواد بسته بندی غذایی و همچنین برای تمیز کردن اجسام باستان شناسی استفاده شده است.

مواد و روش ها

کتاب ها

در این تحقیق، دو کتاب با نشانه های آشکار تخریب به وسیله فعالیت های 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 کتابخانه عمومی منطقه‌ای و شهری یوزف پیلسودسکی در لودز لهستان و کتاب دو از آرشیو ملی در پراگ، جمهوری چک گرفته شد. مشخصات کتاب‌های مورد بررسی در جدول یک ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات اشیاء مورد بررسی

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

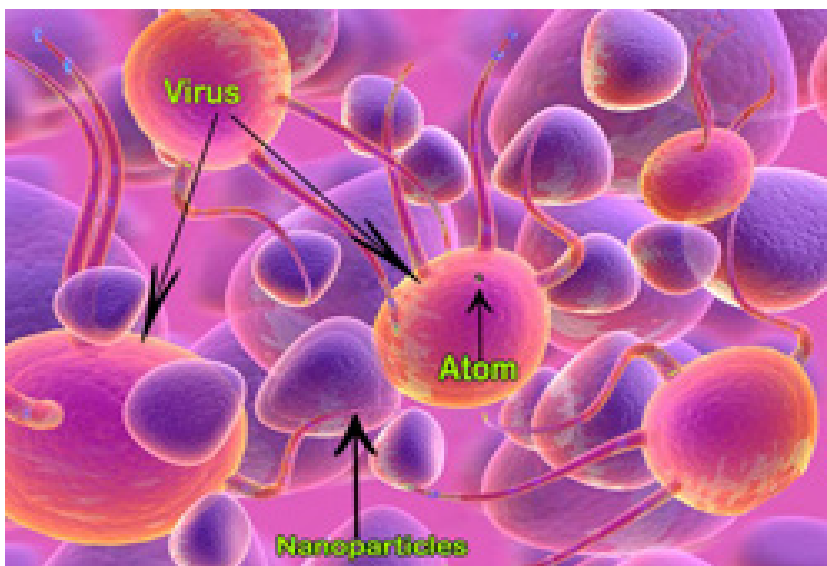
تجزیه و تحلیل آلودگی میکروبی

نمونه‌ها برای تجزیه و تحلیل میکروبی از چهار بخش مختلف از عناصر ساختاری کتاب‌ها، به وسیله اسفنج پنبه‌ای استریل از درون و بیرون هر کتاب گرفته شد: BA- جلد رویی؛ BB- صفحه سفید اول؛ BC- لبه جلویی؛ BD- ورق داخل کتاب. همه نمونه‌ها سه بار تکرار شد. در کل، از هر کتاب مورد بررسی ۱۲ نمونه گرفته شد.

تجزیه و تحلیل‌های کمی

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





به وسیله 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]، به همراه 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 28 ± 2 درجه برای ۱۴ روز در شرایط مناسب برای گسترش قرار داده شد. نتایج بر واحد $CFU/25 \text{ cm}^2$ روی سطح بیان شد. تمامی آزمایش‌ها سه بار تکرار شد.



جدول ۲: روش‌ها و تجهیزات استفاده شده برای ارزیابی خواص کاغذ

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

غلظت RNA

غلظت RNA قبل و بعد از ضد عفونی اندازه گیری شد تا کارایی ضد عفونی ارزیابی شود، زیرا RNA نشان دهنده قابلیت زیستن ریزاندامگان هاست. RNA مستقیماً با استفاده از کیت گیاهی ساخت شرکت RapidPure از نمونه های 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 سه بار تکرار شد.

شناسایی میکروب های ایزوله شده

شناسایی ریزاندامگان های ایزوله شده از کتاب ها قبل و بعد ضد عفونی انجام شد تا میزان



حساسیت نژادهای خاص ریزاندامگان‌ها به ضدعفونی‌کردن بررسی شود. به این منظور باکتری‌ها و قارچ‌های کشت داده شده خالص و ایزوله‌شده به ترتیب به TSA و MEA انتقال داده شد. DNA ژنومی باکتری‌ها و قارچ‌ها به وسیله مینی کیت 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 کنترل کردن 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 است.

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 ۷-۸ W و فرکانس ۱۳۰ kHz بر روی ۱۳ الکتروود 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 شدند. این فرایند ۳۰ دقیقه طول کشید.

پوشش نانو ذرات نقره

محلول کلئیدی نانو ذرات نقره (غلظت ۹۰ ppm، pH = ۷، $\varnothing = 10 - 80$ nm) در محفظه ($1/73$ m³) تحت شرایط خاص به کار برده شد: دما 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 (دی‌متیل‌سولفوکسید، 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
$$R = \frac{NO - N}{NO} \times 100$$
 محاسبه شد که در آن N تعداد ریزاندامگان‌ها (CFU/۲۵ cm²) بعد از ضدعفونی و NO تعداد ریزاندامگان‌ها (CFU/۲۵ cm²) قبل از ضدعفونی است.

تجزیه و تحلیل آماری

محاسبات آماری با استفاده از برنامه 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 ضد میکروبی و ضد قارچی از خود نشان دادند. کاهش سطح میکروبی حدود ۱۲-۱۰۰ درصد است. به جز لبه جلویی و کاغذ داخل کتاب شماره ۱ خاصیت ضد قارچی کم نشد. AgNPs بهترین روش است. این روش تعداد باکتری‌ها را به میزان ۶۰-۱۰۰ درصد کاهش می‌دهد.

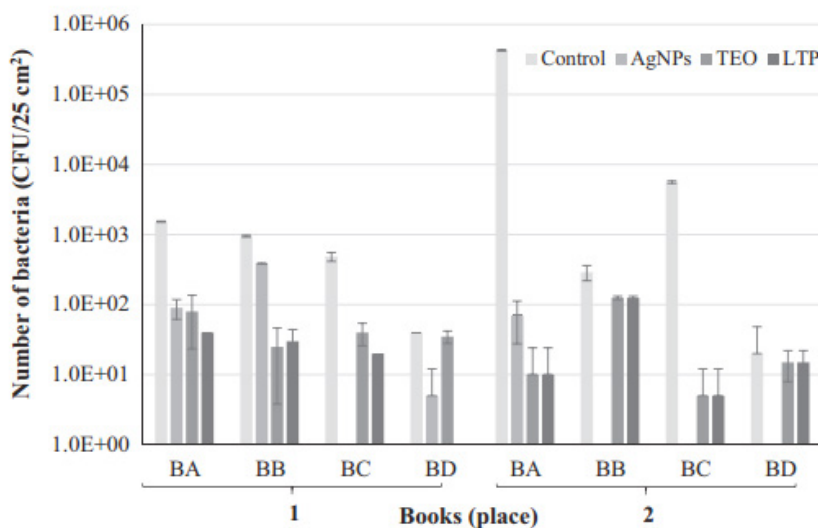
دو روش LTP و TEO میزان باکتری‌ها را به مقدار ۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش می‌دهد. همه روش‌ها نسبت به از بین بردن قارچ‌ها کم‌اثرتر هستند و به از بین بردن باکتری‌ها بهتر جواب می‌دهند. هر سه روش تعداد قارچ‌ها را بین ۰ تا ۹۹/۸ درصد کاهش می‌دهند. بهترین نتایج در کتاب شماره ۲ به دست آمده است که رطوبت بیشتری قبل از میکروب‌زدایی داشت (RH=80٪). بالاترین کاهش میکروبی توسط روش نانوذرات نقره (۷۸-۱۰۰ درصد) به دست 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 ضدعفونی کردن 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 پاستوریزه کردن و سترون سازی بهره گرفته شده است. غلظت محلول‌های ضد میکروبی در کتاب‌های مورد نظر 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 معنی دار است. بیشترین مقدار کاهش RNA در کتاب ۲ (۶۷٪-۱۰۰٪) نسبت به کتاب ۱ (۲۹٪-۹۹٪) است. بیشترین تأثیر ضد عفونی کردن در روش TEO و LTP حدود (۹۵٪-۱۰۰٪) بوده است، در حالی که 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 زرد بودن 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 روشی 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 میکروبی زدایی 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 مورد هدف قرار می‌دهد.

تا به اینجا، در شرایط الگو نشان داده شد که می‌توان از عصاره‌های میخک، اسطوخودوس، 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 میکروبی زدایی 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 میکروبی زدایی بر اساس حساسیت‌های متنوع موجودات میکروسکوپی نیز تأیید شد. موجودات میکروسکوپی که بیشترین تأثیر را از روش‌های میکروبی زدایی 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 $\log 5/0$ 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 لودرین^۱ 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 اعمال شده باشد. سلول‌های نباتی نیز در مقایسه با کنیدیوم و یا اندوسپورها از حساسیت بالاتری نسبت به روش‌های اعمال شده برخوردار بودند.

روش ارزیابی غلظت RNA یک روش مناسب برای ارزیابی عملکرد ترکیبات ضد میکروبی 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^۲ برای اولین بار 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. با این حال، این گفته برای روش LTP ثابت نشد، ROS و RNS

1. Rakotonirainy and Lavedrine
2. Michaelsen et 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 متابولیسم 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 استفاده کردن AgNPs، اثر آن بر سلامت انسان است. نتایج به‌دست آمده در تحقیق پیتزرزک 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 موردتحلیل، 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 غیرقابل‌بازگشت 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 قاعده‌تاً 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 مقادیر 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, *Reštaurator* 4. pp.99–114.
- Karbowska-Berent, J. (2014). Dezynfekcja chemiczna zabytków napodłożu papierowym – skuteczność i zagrożenia, *Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń*.
- Arai, H. (2000). Foxing caused by fungi: twenty-five years of study, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 46. pp.181–188, [http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00063-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00063-9).
- Strzelczyk, A.B. (2004). Observations on aesthetic and structural changes induced in Polish historic objects by microorganisms, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 53. pp. 151–156, [http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00088-X](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 workers, *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.
- Magaouda, G. (2004). The recovery of biodeteriorated books and archive documents through 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.idr.2012.05.003>.



- 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). Deter-mination 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 andbiodetroration 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 assessment of 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 of different 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. Gómez de Saravia, P. Borges, Essential oils of plants as biocides against microorganisms 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 sensitivity of 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*, *Biomaterials* 22 (2009) 235–242, <http://dx.doi.org/10.1007/s10534-008-9159-2>.
- B. Gutarowska, K. Pietrzak, W. Machnowski, D. Danielewicz, M. Szykowska, P. Konca, B. Surma-Slusarska, Application of silver nanoparticles for disinfection of materials to protect historical objects, *Curr. Nanosci.* 10 (2014) 277–286.
- B. Gutarowska, D. Rembisz, K. Zduniak, J. Skóra, M. Szykowska, E. Glińska, A. Koziróg, Optimization and application of the misting method with silver nanoparticles 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 in redox biology and some implications for plasma applications to medicine and 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 needle biomedical source, *J. Appl. Phys.* 114 (2013) 123301.



- E.P.M.V. Angelini, S. Grassini, F. Fracassi, R. Dagořtino, 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. Piñar, Contribution of the microbial communities detected on an oil painting on canvas to its biodegradation, *PLoS ONE* 8 (2013), <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0080198>.
- B. Gutarowska, J. Skóra, Ł. Stępień, B. Szponar, A. Otlewska, K. Pielech-Przybylska, Assessment of microbial contamination within working environments 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 tool for 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. Czyżyk, The Microbiological Protection Method of Archive and Museum Objects and Installation for the Microbiological Protection of 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 microbial diversity and its biodegradative abilities in historical paper and parchment 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 novel PCR-based approach for the detection and classification of potential cellulolytic fungal strains isolated from museum items and surrounding indoor environment, *Lett. Appl. Microbiol.* 54 (2012) 433–440, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-765X.2012.03227.x>.
- M.S. Rakotonirainy, B. Lavédrine, Screening for antifungal activity of essential oils and related compounds to control the biocontamination in libraries and archives storage areas, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 55 (2005) 141–147, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.01.002>.



- org/10.1016/j.ibiod.2004.10.002.
- K. Pietrzak, B. Gutarowska, W. Machnowski, U. Mikołajczyk, Antimicrobial properties 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 viability, *J. Microbiol. Methods* 53 (2003) 175–183, [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7012\(03\)00025-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7012(03)00025-3).
 - K. Pietrzak, M. Twarużek, A. Czyżowska, R. Kosicki, B. Gutarowska, Influence of silver nanoparticles on metabolism and toxicity of moulds, *Acta Biochim. Pol.* 62 (2015) 851–857.
 - J. Kosk-Bienko, Workplace exposure to nanoparticles: literature review. Office for Official Publications of the European Communities, EU-OSHA – European Agency for Safety and Health at Work, 2008.
 - M.C. Letnar, V.K. Vančina, 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, Deacidification 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 paper conservation interventions. Literature review, *Restaurator* 27 (2006) 219–274.
 - I. Batterham, R. Rai, A comparison of artificial ageing with 27 years of natural ageing, in: *Contrib. to 5th AICCM Book, Pap. Photogr. Mater. Symp. Aust. War Memorial, Canberra 23–35 July, 2008*, 2008, pp. 81–89.
 - J. Dąbrowski, How long can paper endure? *Notes Konserw.* 10 (2006) 186–231.
 - W.F. Cowan, Explaining handsheet tensile and tear in terms of fiber-quality numbers, *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. Frunzã, D. Rusu, A.M. Vlad, C. Tanase, S. Dunca, Radio-



Frequency Plasma 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 bookbinding leathers, *Restaurator* 28 (2007) 95–111.

