



نانو تکنولوژی

خواص ضد میکروبی جوراب‌های محافظت‌شده با نانوذرات نقره

مترجم: امین رضایی

چکیده

در اینجا خواص ضد میکروبی جوراب‌های حاوی نانوذرات نقره مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور دو نوع جوراب استفاده شد. نمونه اول، جوراب ۱۰۰٪ کتان‌ی آغشته‌شده با یک نمونه حاوی نانوذرات نقره و نمونه دیگر جوراب ۵۵٪ پنبه‌ای حاوی نانونقره بود. خواص ضد میکروبی نمونه‌ها در برابر باکتری گرم مثبت و گرم منفی و همچنین مخمر سنجیده شد. مشخص شد نمونه‌ای که برای آغشته کردن جوراب کتان‌ی استفاده شده بود، فعالیت ضد میکروبی گسترده‌ای را در برابر انواع باکتری گرم مثبت و گرم منفی و همچنین مخمر کاندیدا آلیکانس از خود نشان می‌دهد. اثربخشی عمل ضد میکروب کردن به عواملی مانند نوع میکرو ارگانیسم، تعداد سلول و غلظت نانوذرات نقره بستگی دارد. جوراب‌های پنبه‌ای نیز خواص ضد میکروبی مناسبی در برابر استافیلوکوک اپیدرمیدیس از خود نشان دادند.

مقدمه

در چند دهه گذشته، محققان به تولید منسوجاتی که حاوی عوامل ضد میکروب باشد علاقه‌مند شده‌اند. مواد مختلفی مانند عوامل اکسیدکننده، منعقدکننده‌ها و ترکیبات آمونیم نوع چهارم و یا فلزی مورد استفاده قرار گرفته است. بسیاری از این مواد مضر و یا سمی هستند در حالی که نانونقره جزء مواد بی‌خطر به حساب می‌آید. ذرات نانونقره خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی دارد که آن را به عنوان یک عامل ضد میکروب موثر مطرح می‌کند. از جمله این خواص می‌توان به سطح جانبی زیاد، ابعاد کوچک (کوچک‌تر از ۲۰ نانومتر) و دیسپرسیون بالا اشاره کرد. علاوه بر این، ثابت شده است که نقره فعالیت بالایی را در برابر باکتری، قارچ و ویروس‌ها نشان می‌دهد. ذرات نانونقره می‌توانند به روش‌های مختلفی به کار گرفته شوند. استفاده به شکل محلول‌های کلوتیدی و یا جا دادن آن‌ها داخل بعضی مواد، دو مورد از این روش‌ها است. به همین دلیل است که در محصولات متنوعی از دستگاه‌های پزشکی گرفته تا لباس‌ها و منسوجات استفاده می‌شوند. مکانیزم اصلی فعالیت ضد میکروبی به طور کامل توضیح داده نشده است و این زمینه تحقیقاتی کماکان در حال گسترش است. مکانیزم پیشنهادی برای اثر ضد میکروبی شامل جذب و انباشته شدن ذرات نانونقره به وسیله سلول‌ها است که منجر به تغییرات ساختاری در دیواره سلولی و اتلاف نیروی محرکه پروتون می‌شود. آن‌ها همچنین با پیوندهای S-H واکنش داده و باعث تجمع و تغییر ماهیت پروتئین‌ها می‌شوند. منسوجاتی که از الیاف طبیعی مانند کتان و پنبه تولید شده‌اند، محیطی

مناسب برای رشد میکرو ارگانیسم‌ها مانند باکتری‌های بیماری‌زا و قارچ‌ها به وجود می‌آورند، به‌خصوص در تماس با پوست انسان که برای آن‌ها رطوبت، گرما و مواد مغذی نیز فراهم می‌کند. در نتیجه، ترکیب ذرات نانونقره با منسوجات توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

در بعضی تحقیقات گزارش شده است که پارچه‌های پنبه‌ای حاوی نانوذرات نقره فعالیت ضد میکروبی را در مقابل استافیلوکوک اورئوس، اشیشیا کولای، باسیلوس سوبتیلیس و سودوموناس پوتیدا و یا قارچ اسپرژیلوس نایجر از خود نشان می‌دهند. لی و همکارانش اثر ضد میکروبی نانوذرات نقره روی پارچه‌های سلولزی و مصنوعی را در برابر استافیلوکوک اورئوس و کلبسیلا نمونیا بررسی کردند. خواص ضد میکروبی در این تحقیقات با استفاده از روش پد و یا روش سل-ژل به دست آمد. با این حال، در برخی تحقیقات مشخص شد که با افزایش تعداد سیکل شستشو، مقادیر بازاریابی رشد باکتری کاهش می‌یابد. این مشکل با استفاده از بیندر فرمولاسیون تکمیل برطرف شد. تحقیقات متعددی در مورد خواص الیاف و پارچه‌های حاوی نانوذرات نقره انجام شده که نشان‌دهنده امکان کاربرد آن‌ها است. کاربرد نانوذرات نقره روی محصولات تجاری در حال افزایش است. در عین حال، افزایش نگرانی در مورد اثر آن روی انسان‌ها و محیط زیست نیز وجود دارد. یکی از مهمترین مشکلات موجود در این زمینه، خارج شدن نانوذرات نقره از پارچه‌ها است. بن و وسترهاف خارج شدن نقره از جوراب در آب و وضعیت آن را در پساب مورد بررسی قرار دادند. در تحقیقی دیگر، فعالیت ضد میکروبی نمونه عمل‌شده با AgPURETM



برای جلوگیری از بوی نامطبوع بررسی شد. نانونقره AgPURE ماده کمکی تأیید شده‌ای برای تکمیل زیستی فعال روی منسوجات بر اساس استاندارد Oeko-Tex® 100 است. هدف از کار انجام شده در اینجا، بررسی خواص ضد میکروبی جوراب‌های کتان‌ی آغشته‌شده با نمونه نانوذرات نقره و مقایسه آن با جوراب‌های پنبه‌ای حاوی نانونقره است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های تست‌شده

دو نوع جوراب در این آزمایش‌ها استفاده شد:

– جوراب‌های کتان‌ی (۱۰۰٪ کتان، ساخت شرکت Harter Natur Textilien آلمان، بدون نانونقره)
– جوراب‌های Silver SeaCell (ساخت شرکت J.J.W s.z. لهستان). مشخصات این محصول: ۵۵٪ پنبه، ۲۳٪ لایوسل، ۱۹٪ پلی‌آمید، ۲٪ پلی‌یورتان و ۴ ppm نقره

یک نمونه NANOfresh (ساخت شرکت NANOBIZ.PL) برای آغشته کردن جوراب‌های کتان‌ی استفاده شد. تولیدکننده این محصول آن را به عنوان نمونه‌ای حاوی نانوذرات نقره برای مقابله با بوی بد معرفی کرده که روی لباس و پارچه قابل استفاده است. سایز این نانوذرات زیر ۱۰۰ نانومتر است.

میکرو ارگانیزم‌ها و محیط

آزمایش روی ۵ میکرو ارگانیزم مختص پوست انسان و یا موجود در محیط انجام شد که عبارتند از: باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوک اورئوس، استافیلوکوک اپیدرمیدیس و باسیلوس مگاتریوم و باکتری گرم منفی سودوموناس اروجینوسا و مخمر کاندیدا آلیکانس. محیط کشت نوترینت آگار یا نوترینت برات برای کشت باکتری‌ها و مخمر آبجو برای کشت مخمر استفاده شد. قبل از آزمایش‌ها، همه میکرو ارگانیزم‌ها در محیط مناسب خودشان نیمه کشت شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور در دمای ۳۷°C برای باکتری‌ها و ۳۰°C برای مخمر قرار داده شدند. سپس سوسپانسیون‌ی از میکرو ارگانیزم‌ها در محلول نمک تهیه شده و دانسیته آن‌ها بر اساس آزمایش‌ها تنظیم شد.

تست فعالیت ضد میکروبی نمونه NANOfresh

فعالیت ضد میکروبی نمونه NANOfresh با تست انتشار حفره ارزیابی می‌شود. سوسپانسیون میکرو ارگانیزم‌ها با آگار پوشش داده شده و حفره‌هایی با قطر ۱ سانتی‌متر به وسیله چوب پنبه سوراخ‌کن در آگار ایجاد می‌شود. ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه در هر یک از حفره‌ها ریخته شده و سپس تمام نمونه‌ها در انکوباتور تحت شرایط مناسب قرار می‌گیرند. بعد از ۲۴ ساعت برای باکتری‌ها و ۴۸ ساعت برای مخمر، محدوده بازدارندگی محاسبه شد. آزمایش ۳ بار تکرار شد و میانگین مقادیر به دست آمده ارائه شد.

ارزیابی رابطه بین غلظت نمونه NANOfresh و تعداد سلول‌های باکتری و مخمر

اثر شرایط آماده‌سازی تست روی رشد میکرو ارگانیزم‌های آزمایش‌شده

که به مقدار نانونقره و تعداد سلول‌ها بستگی دارد، با روش رقیق کردن‌های متوالی در ظروف میکروتیتر ارزیابی شد. ابتدا رقیق کردن متوالی دو برابر برای نمونه NANOfresh در آب استریل انجام شد که محلول‌هایی با غلظت نانونقره از ۵-۰/۰۰۳ ppm حاصل شد. محلول‌های میکرو ارگانیزم‌ها در مولر-هینتن برات با تعداد سلول بالا و پایین تهیه شد. در هر حفره ۱۸۰ میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی و ۲۰ میکرولیتر از نمونه رقیق‌شده ریخته شد. به عنوان کنترل منفی، یک محیط مولر-هینتن و به عنوان کنترل مثبت، سوسپانسیون میکرو ارگانیزم به همراه آب استفاده شد. ظروف در دمای ۳۰°C یا ۳۷°C بر اساس نوع میکرو ارگانیزم در انکوباتور قرار گرفتند و دانسیته نوری در طول موج ۶۰۰ نانومتر هر یک ساعت برای مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده به صورت غلظت کمینه مورد نیاز برای دستیابی به حداقل ۸۰٪ بازدارندگی و به شکل منحنی رشد نشان داده شد.

ارزیابی خواص ضد میکروبی جوراب‌های کتان‌ی عمل‌شده با نمونه NANOfresh و جوراب‌های پنبه‌ای حاوی نقره

از هر دو نوع جوراب تکه‌هایی با سطح 2 cm² بریده شدند. تمام نمونه‌های کتان‌ی در اتوکلاو استریل شده و سپس در ۱ میلی‌لیتر از نمونه NANOfresh قرار داده شدند تا مایع را جذب کنند. پس از جذب ۰/۵ میلی‌لیتر از مایع، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت رها شدند تا خشک شوند. در مورد نمونه‌های پنبه‌ای، نیمی از آن‌ها استریل شدند تا مشاهده بهتری روی رشد میکرو ارگانیزم‌ها به دست آید. در مرحله بعد، نمونه‌ها با سوسپانسیون‌های آماده‌شده با مقادیر ۱۰۰ I_u و ۲۰۰ I_u آغشته شدند. نمونه‌های کنترل، تکه‌های جورابی بودند که در محلول نمک استریل حاوی مقدار سوسپانسیون برابر با دیگر نمونه‌ها خیس خورده‌اند. نمونه‌ها سپس در دمای ۳۰°C یا ۳۷°C بر اساس نوع میکرو ارگانیزم در انکوباتور قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت، تکه‌های جوراب در محلول نمک قرار گرفته و تکان داده شدند. تعداد سلول‌ها با کمک روش روکش‌کاری و با استفاده از محیط مناسب انجام شد. فعالیت ضد میکروبی به صورت درصد کاهش تعداد سلول‌ها در مقایسه با نمونه کنترل بیان شد.

نتایج و بحث

ارزیابی خواص ضد میکروبی نمونه NANOfresh

برای ارزیابی راندمان نمونه NANOfresh، گستره فعالیت و غلظت کمینه بازدارندگی روی میکرو ارگانیزم‌های تست‌شده به دست آمد. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که نمونه‌های تست‌شده فعالیت بالایی دارند و از رشد گونه‌های مختلف میکرو ارگانیزم‌ها جلوگیری می‌کنند، با وجود اینکه باکتری و مخمرهای آزمایش‌شده قابلیت‌های متنوعی دارند. معمولاً باکتری‌ها حساسیت بیشتری از مخمر کاندیدا آلیکانس دارند که حساس‌ترین آن‌ها استافیلوکوک اپیدرمیدیس است.

بازدارندگی در برابر این باکتری در غلظت ۰/۱۲۵ ppm نانونقره مشاهده شد. غلظت کمینه به دانسیته سلولی بستگی نداشت، اگر چه منحنی‌های رشد کمی تفاوت دارند (شکل ۱). این آزمایش نشان داد که به دست



جدول ۱. اثر ضد میکروبی نمونه NANOfresh روی رشد میکرو ارگانیزمها

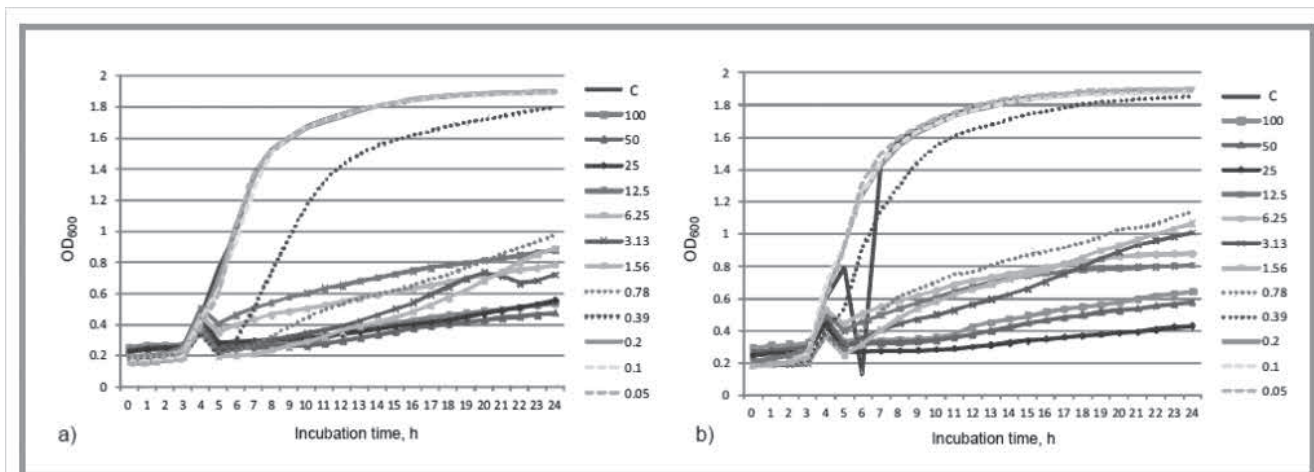
گونه‌های مورد آزمایش	قطر محدوده بازدارندگی، میلی‌متر	غلظت کمینه NANOfresh, ppm	
		دانسیته سلولی 10^5 CFU ml ⁻¹	دانسیته سلولی 10^8 CFU ml ⁻¹
استافیلوکوک اورئوس	3/9 ± 0/6	0/5	
استافیلوکوک اپیدرمیدیس	6/7 ± 0/6	0/125	
باسیلوس مگاتریوم	3/8 ± 0/5	> 0/5	
سودوموناس اروجینوسا	3/6 ± 0/6	0/25	
کاندیدا آلبیکانس	2/5 ± 0/4	> 0/5	

منفی نشان می‌دهد. فیلیفسکا و همکارانش روش جدیدی برای جادادن نقره داخل منسوجات ارائه کردند و خواص ضد میکروبی و ضد قارچ ماده به-دست آمده را نیز اثبات کردند. اثربخشی عمل ضد میکروب کردن به غلظت، شکل و اندازه نانوذرات نقره و همچنین به شرایطی مانند pH محیط وابستگی شدیدی دارد. ساتیشکومار و همکارانش از اشیریشیا کولای به عنوان باکتری مدل برای تعیین اثر ضد باکتری ذرات نقره نانو کریستالی استفاده کردند. آن‌ها به ترتیب، ۷۹/۶٪ و ۹۹/۱٪ بازدارندگی رشد را برای 25 mg l^{-1} و 50 mg l^{-1} نانونقره مشاهده کردند. شاهرخ و امتیازی خواص ضد میکروبی نانونقره را در غلظت پایین مشاهده کردند. بازدارندگی رشد استافیلوکوک اورئوس، باسیلوس سوبتیلیس و اشیریشیا کولای به ترتیب با ۰/۵ ppm، ۱ ppm و ۲ ppm نانونقره مشاهده شد. علاوه بر این، روپاریا و همکارانش اثر بازدارندگی متفاوت نانوذرات نقره را بسته به نژادهای گونه‌های یکسان مشاهده کردند. غلظت کمینه برای نژادهای مختلف اشیریشیا کولای بین $200 - 60 \text{ mg l}^{-1}$ به دست آمد. این تفاوت در نتیجه حساسیت‌های مختلف ارگانیزم‌های تست شده فرض شده است. در تحقیق انجام‌شده توسط کیم و همکارانش، فعالیت ضد میکروبی نانوذرات نقره در برابر مخمر، اشیریشیا کولای و استافیلوکوک اورئوس مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها تاثیر بیشتری در برابر اشیریشیا کولای و مخمر، نسبت به استافیلوکوک اورئوس مشاهده کردند.

آوردن یک نسبت مشخص بین مقدار میکرو ارگانیزمها و غلظت نانوذرات نقره برای کاهش دادن میزان میکرو ارگانیزمها حیاتی است. شکل ۱ نشان می‌دهد که معمولا تفاوت بین نمونه کنترل و نمونه‌های حاوی نانونقره پس از گذشت ۳ ساعت از قرار دادن آن‌ها در انکوباتور نمایان می‌شود. نتایج مشابهی برای نمونه‌های دیگر نیز به دست آمده است. کنترل موثر همه میکرو ارگانیزم‌های تست‌شده به حداقل $0/5 \text{ ppm}$ نانوذرات نقره نیاز دارد. با این حال در مورد نمونه‌های باسیلوس مگاتریوم و کاندیدا آلبیکانس، این مقدار برای بازدارندگی ۸۰٪ کافی نیست.

دلیل این امر احتمالا به خاطر قابلیت باسیلوس مگاتریوم در تشکیل هاگ است که ساختاری متفاوت در مقایسه با سلول‌های گیاهی دارد. هاگ‌ها دارای پوششی ضخیم بوده و در برابر بسیاری از مواد پایدار هستند. در نتیجه نفوذ نانو ذرات نقره به دلیل وجود پوشش محدود می‌شود. همچنین، ساختار دیواره سلولی مخمر در مقایسه با پوشش سلولی باکتری‌ها کاملا متفاوت است که می‌تواند دلیل مقاومت بیشتر در برابر عوامل ضد میکروبی باشد.

اطلاعات موجود در مقالات مختلف، فعالیت غیر یکسان نانوذرات نقره در برابر میکرو ارگانیزمها را تأیید می‌کند. برای مثال وسیف و لاگا مشاهده کردند که پنبه عمل‌شده با نمونه تجاری حاوی نانونقره در برابر باکتری‌های گرم مثبت فعالیت شدیدتری نسبت به باکتری گرم



شکل ۱. اثر رقیق کردن‌های متوالی نمونه NANOfresh روی رشد استافیلوکوک اپیدرمیدیس. (a) دانسیته آغازین 10^5 CFU ml⁻¹، (b) دانسیته آغازین 10^8 CFU ml⁻¹



ارزیابی خواص ضد میکروبی جوراب‌های کتانی حاوی نمونه NANOfresh

بر اساس تست‌های انجام‌شده، مشخص شد که نمونه NANOfresh به کار رفته روی جوراب‌های کتانی باعث بازدارندگی در رشد میکرو ارگانیسم‌های تست‌شده می‌شود. با این حال، درجه این بازدارندگی بسته به نوع میکرو ارگانیسم‌ها متفاوت بود. در بخش بعدی تحقیق، NANOfresh روی تکه‌های جوراب کتانی به کار گرفته شد و به همراه میکرو ارگانیسم‌ها در انکوباتور قرار گرفت.

بر اساس نتایج به دست آمده که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کاربرد نمونه حاوی نانوقره باعث کاهش تعداد سلول‌های همه میکرو ارگانیسم‌های تست شده می‌شود.

بیشترین اثر نمونه NANOfresh برای بازدارندگی در مقابل باکتری استافیلوکوک اپیدرمیدیس مشاهده شد. باکتری‌های استافیلوکوک اورئوس، سودوموناس اروجینوسا و قارچ کاندیدا آلیکانس حساسیت کمتری را نسبت به نمونه NANOfresh از خود نشان دادند. این اثر برای هر دو سوسپانسیون ۱۰۰ μl و ۲۰۰ μl مشاهده شد.

به غیر از باسیلوس مگاتریوم، درجه کاهش رشد برای هر دو محلول میکروبی آزمایش شده مشابه بود. در مورد باکتری باسیلوس مگاتریوم،

معمولا محصولات حاوی نقره در برابر باکتری‌ها موثر هستند اما اثر آنها در برابر قارچ‌ها توجه زیادی به خود جلب نکرده است. پانچاک و همکارانش فعالیت ضد قارچ نانوذرات نقره تهیه شده با پروسه تونل‌س اصلاح‌شده را در برابر گونه‌های مختلف کاندیدا بررسی کردند.

نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که نانوقره در غلظتی به کمی 1^{-1} mg با استفاده از نانوذرات پایدار نشده و در غلظت $1^{-1} \text{ mg} / 0.5$ با استفاده از نانوذرات نقره پایدار شده با SDS، اثر بازدارندگی از خود نشان می‌دهد. با این حال فعالیت ضد قارچ در حالت دوم بسیار بالاتر است. غلظت کمینه محاسبه شده برای نانوذرات پایدار نشده 1^{-1} mg ۲۷ و برای ذرات پایدار شده با SDS، 1^{-1} mg ۳/۳۸ به دست آمد. همچنین حساسیت‌های متفاوتی برای نژادهای کاندیدا مشاهده شد. کمترین غلظت کمینه‌ای از نانوذرات که به دست آمد در برابر نژادهای کاندیدا آلیکانس مشاهده شد.

کمترین حساسیت در بین مخمرهای تست شده نیز مربوط به کاندیدا پاراپسیلوسیس بود. اطلاعات موجود در این مقالات و در کار ارائه شده در اینجا نشان می‌دهد که تفاوت در فعالیت نانوذرات نقره به عوامل متعددی بستگی دارد. همانطور که در اینجا نیز مشاهده شد، نتایج ممکن است به روش ارزیابی خواص ضد میکروبی نیز بستگی داشته باشد.

جدول ۲. رشد میکرو ارگانیسم‌ها روی جوراب‌های کتانی حاوی نمونه NANOfresh

نمونه	مقدار سوسپانسیون باکتری، μl	تعداد سلول، CFU/ml	درصد کاهش رشد، %
استافیلوکوک اورئوس	۱۰۰	$7/1 \times 10^4$	۴۲
	۲۰۰	$6/7 \times 10^2$	
استافیلوکوک اپیدرمیدیس	۱۰۰	$7/1 \times 10^4$	۹۸
	۲۰۰	$1/3$	
باسیلوس مگاتریوم	۱۰۰	$2/4 \times 10^4$	۱۲
	۲۰۰	$6/4 \times 10^2$	
سودوموناس اروجینوسا	۱۰۰	$6/8 \times 10^5$	۳۵
	۲۰۰	$5/8 \times 10^3$	
کاندیدا آلیکانس	۱۰۰	$7/9 \times 10^4$	۲۵
	۲۰۰	$5/1 \times 10^3$	
استافیلوکوک اپیدرمیدیس	۱۰۰	$2/1 \times 10^5$	۲۳
	۲۰۰	$1/2 \times 10^4$	
باسیلوس مگاتریوم	۱۰۰	12×10^4	۵۰
	۲۰۰	$1/1 \times 10^2$	
سودوموناس اروجینوسا	۱۰۰	$4/4 \times 10^5$	۵۸
	۲۰۰	3×10^2	



کلرید نقره را در تکمیل منسوجات در برابر باسیلوس سوبتیلیس و اشیریشیا کولای بررسی کردند. نتایج به دست آمده، فعالیت ضد میکروبی بالای ترکیبات نقره مورد استفاده را نشان داد.

با این حال اثرگذاری ضد میکروبی، وابستگی بالایی به غلظت نقره در حمام و نوع ذرات نشان داد. مالتیگ و هاس اثر ضد باکتری ۶ محصول نساجی حاوی نقره را در برابر اشیریشیا کولای و استافیلوکوک اورئوس با یکدیگر مقایسه کردند. چهار نمونه از آن‌ها جزء منسوجات توزیع شده در اروپا بود، یک محصول به عنوان عامل مایع برای کاربرد در ماشین‌های لباسشویی تامین شد و نمونه دیگر پارچه ویسکوز پوشش داده شده با محلول حاوی ذرات نقره پایدار شده با پلی پیرولیدون بود. خواص ضد میکروبی، بسته به نوع پارچه متفاوت اما برای هر دو باکتری تست شده قابل مقایسه بود.

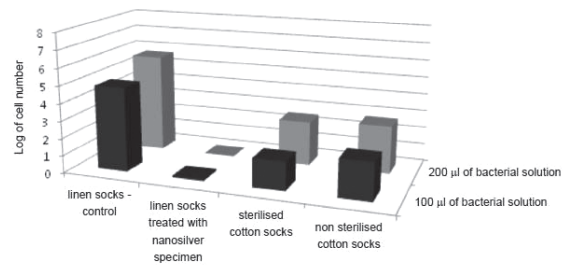
بهترین نتایج برای پارچه چندمنظوره حاوی نانونقره و جوراب‌های ضد عفونی شده به دست آمد، در حالی که محصول طراحی شده برای کاربرد حین شستشو تقریباً بی اثر بود. همچنین گزارش شده است که بعضی از پارچه‌های حاوی نقره فعالیت ضد میکروبی مورد انتظار را از خود نشان ندادند.

نتیجه‌گیری

نانوذرات نقره به دلیل فعالیت ضد میکروبی که دارند مورد توجه قرار گرفته‌اند و روی مواد مختلف از جمله منسوجات به کار می‌روند. کار انجام شده در اینجا مقایسه‌ای بین خواص ضد میکروبی جوراب‌های کتان‌ی آغشته شده با نمونه حاوی نانوذرات نقره و جوراب‌های پنبه‌ای تجاری حاوی نانونقره انجام داد. جوراب‌های کتان‌ی عمل شده با نمونه NANOfresh، بالاترین فعالیت ضد میکروبی را به ترتیب در برابر باکتری استافیلوکوک اپیدرمیدیس، استافیلوکوک اورئوس و سودوموناس اروجینوسا از خود نشان داد.

حساسیت کمتر در برابر باکتری باسیلوس مگاتریوم و مخمر کاندیدا آلیکانس مشاهده شد. همچنین مشخص شد که بازدارندگی رشد باکتری استافیلوکوک اپیدرمیدیس برای جوراب‌های کتان‌ی عمل شده با NANOfresh بیشتر از جوراب‌های پنبه‌ای بود. نتایج به دست آمده ممکن است به این دلیل باشد که طبق گفته تولیدکننده، غلظت نانونقره در جوراب‌های پنبه‌ای ۴ ppm است در حالی که این مقدار در جوراب‌های کتان‌ی ۵ ppm است. دلیل دیگر ممکن است این باشد که بعد از کاربرد نمونه NANOfresh روی جوراب‌ها، احتمالاً اکثر نانوذرات نقره روی سطح بودند و در نتیجه تماس آن‌ها با سلول‌های میکروبی آسان‌تر بوده است. جوراب‌های تست شده همچنین در ترکیب با یکدیگر فرق دارند. طبق گفته تولیدکننده جوراب‌های پنبه‌ای، به دلیل حضور خزه در نخ، جوراب‌های تولید شده از آن حاوی مواد معدنی، ویتامین‌ها، کربوهیدرات و آمینو اسید هستند. این ترکیبات محیط مناسبی برای رشد میکروبی فراهم می‌کنند که رشد باکتری استافیلوکوک اپیدرمیدیس را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. در نتیجه مقادیر آن در نمونه پنبه‌ای بیشتر از نمونه کتان‌ی است.

منابع در دفتر مجله موجود است.



شکل ۲. بازدارندگی رشد باکتری استافیلوکوک اپیدرمیدیس توسط جوراب‌های پنبه‌ای حاوی نانونقره در مقایسه با جوراب‌های کتان‌ی عمل شده با NANOfresh

درجه کاهش رشد برای محلول $1\mu\text{m}$ ۲۰۰ بیشتر بود. با این حال، تعداد نهایی سلول‌ها برای هر دو محلول مشابه و بین $5/8 \times 10^3 \text{ CFU ml}^{-1}$ و $6/4 \times 10^3 \text{ CFU ml}^{-1}$ بود.

ارزیابی خواص ضد میکروبی جوراب‌های پنبه‌ای حاوی نانونقره

برای تست خواص ضد میکروبی جوراب‌های پنبه‌ای حاوی نانونقره از باکتری استافیلوکوک اپیدرمیدیس که حساس‌ترین نمونه در برابر نقره بود استفاده شد. تکه‌های جوراب به دو قسمت تقسیم شده و یک قسمت آن استریلیزه شد تا ماده‌ای عاری از میکرو ارگانیزم، برای اجتناب از نتایج مثبت کاذب به دست آید. تمام تکه‌ها با محلول استافیلوکوک اپیدرمیدیس آغشته شده و به مدت ۲۴ ساعت در شرایط بهینه در انکوباتور قرار گرفتند. سپس تعداد باکتری‌ها محاسبه شد.

به دلیل نبود جوراب‌های مشابه بدون نانونقره به عنوان نمونه کنترل، جوراب‌های کتان‌ی آغشته شده با محلول‌های باکتری مشابه استفاده شد. نتایج به دست آمده با جوراب‌های کتان‌ی عمل شده با NANOfresh نیز مقایسه شد (شکل ۲). پس از بکارگیری باکتری روی سطح جوراب‌های پنبه‌ای با مقدار برابر با جوراب‌های کتان‌ی، کاهش در تعداد باکتری برای هر دو نمونه استریل شده و استریل نشده مشاهده شد. برای تکه‌های استریل شده، تعداد سلول‌ها $4/5 \times 10^1 \text{ CFU ml}^{-1}$ برای $1\mu\text{m}$ از سوسپانسیون $100\mu\text{m}$ سوسپانسیون و $3/7 \times 10^2 \text{ CFU ml}^{-1}$ برای $1\mu\text{m}$ از سوسپانسیون بود.

برای تکه‌های استریل نشده، این مقادیر به ترتیب برابر 10^1 CFU ml^{-1} و $5/7 \times 10^2 \text{ CFU ml}^{-1}$ برای $1\mu\text{m}$ بود. مقادیر بیشتر باکتری در تکه‌های استریل نشده احتمالاً به دلیل وجود بعضی باکتری‌های دوستدار مواد گندیده در نمونه است که به دلیل استفاده از محیط غیر انتخابی قابل تمیز دادن از استافیلوکوک اپیدرمیدیس نیست.

اطلاعات موجود در منابع، امکان استفاده از نانونقره به عنوان یک عامل ضد میکروبی روی منسوجات در دو حالت عمل شده روی سطح و جا داده شده داخل پارچه را نشان می‌دهد.

وسیف و لاگا پارچه‌های پنبه‌ای را با محصولات تجاری حاوی نانونقره مورد عمل قرار دادند و خواص ضد میکروبی را در برابر استافیلوکوک اورئوس و اشیریشیا کولای مشاهده کردند. آن‌ها اشاره کردند که هر چه غلظت عامل ضد میکروب بالاتر باشد، مناطق بازدارندگی بزرگتری به دست می‌آید. در استفاده دیگری از نانوذرات نقره روی پارچه پنبه‌ای فعالیت ضد باکتری مناسبی در برابر باکتری‌های مختلف مشاهده شد. ماتیاز ژوندک و همکارانش فعالیت ضد باکتریایی نانو نقره، میکرو نقره و