فناوری پلیمر ایران

فصلنامه علمی - ترویجی
سال چهارم، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۴، تابستان ۱۳۹۸
Vol. 4, No. 2, Issue No. 14
Summer 2019, Quarterly
صفحه ۱۲-۵

Iran Polymer Technology: Research and Development

کاربرد نانوکامپوزیت‌های ضدمیکروب بر پایه نانوذرات نقره در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی

سیاوش مرادی، الناز اسمی‌زاده*، علی وحیدی‌فر
بناب، دانشگاه بناب، دانشکده فنی، گروه مهندسی علوم و مهندسی پلیمر

چکیده ...

بدون شک سلامت مواد غذایی یکی از موضوعات مهم و حیاتی در زندگی بشر است. به همین دلیل بسته‌بندی و نگه‌داری مواد غذایی که عدم توجه به آن، علاوه بر تأثیر روی سلامت مواد غذایی، موجب زیان‌های اقتصادی فراوان نیز می شود، به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا مواد نانوکامپوزیتی پلیمری، به‌دلیل کاهش هزینه‌ها، افزایش ماندگاری مواد غذایی و همچنین مقاومت این نانومواد در مقابل عوامل محیطی، می‌توانند به‌عنوان ابزاری قدرتمندی در بهبود اقتصاد، نقش مهمی ایفا کنند. در این مقاله به بررسی نانوذرات نقره که یکی از پرکاربردترین نانوذرات در صنایع غذایی است، پرداخته شده که در بسته‌بندی مواد غذایی، به‌عنوان عامل ضدمیکروبی قوی ظاهر می‌شود. همچنین ویژگی‌های ابعادی، سازوکار مقابله نانوذرات نقره با باکتری‌های موجود در مواد غذایی و جابه‌جایی این نانوذرات از بسته‌بندی به داخل مواد غذایی، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در پایان می‌توان گفت که امروزه بهترین گزینه برای افزایش امنیت و سلامت مواد غذایی و همچنین بهداشتی مصرفی، استفاده از نانوکامپوزیت‌های بر پایه نانوذرات نقره است.

واژه‌های کلیدی:

نانوکامپوزیت
خواص ضدمیکروب
نانوذرات نقره
بسته‌بندی مواد غذایی

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:
E.Esmizadeh@bonabu.ac.ir

۱ مقدمه

در گذشته نقره به‌عنوان عامل ضدمیکروبی یا حتی در نقش یک شناساگر برای شناسایی سموم و باکتری‌های مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته می‌شد. حتی این احتمال وجود دارد که ما به‌طور منظم نانوذرات نقره رها شده از قاشق‌ها، چنگال‌ها، چاقوها و سایر ظروف غذا را مصرف کنیم [۱]. هدف اصلی توسعه مواد نانوکامپوزیتی دارای ساختارهای نانوذرات فلزی، مانند نانوذرات نقره به حداقل رساندن رشد آلایندگی توسط ریزاندام‌واره‌ها است. بنابراین رغبت به توسعه پلیمرهای زیستی با فعالیت‌های ضدمیکروبی در حال افزایش است. نانوذرات نقره برای داشتن خواص مهارکنندگی و ضدمیکروب بودن و مقدار پایین سمیت شناخته شده، از طرف صنعت مورد توجه قرار گرفته است. نانوذرات نقره را همچنین می‌توان به‌عنوان بالشتک (پد)های جاذب در بسته‌بندی مواد غذایی برای جذب رطوبت و مایعات ترشح‌شده از گوشت و ماهی، ایجاد بسته‌بندی جذاب و زیبا و تازه نگه‌داشتن مواد غذایی استفاده کرد [۲].

دلیل اصلی رفتار مناسب نانوذرات نقره در مقابل باکتری‌ها را می‌توان ناشی از اندازه مناسب و سطح ویژه بسیار بزرگ دانست. رفتار ضدمیکروبی یون‌ها و نمک‌های نقره در طول سالیان گذشته کاملاً شناخته شده است اما رفتار نانوذرات نقره در مقابل ریزاندام‌واره‌ها و عملکرد ضدمیکروبی آن‌ها به‌طور واضح درک نشده است [۳]. نانوذرات نقره به‌دلیل نسبت سطح به حجم بالاتر، در مقایسه با فلز نقره فعالیت ضدمیکروبی بهتری را نشان داده است [٤]. به‌تازگی تحقیقات بر روی فعالیت ضدمیکروبی نانوذرات نقره با توجه به افزایش مقاومت باکتریایی به آنتی بیوتیک‌ها افزایش یافته است [٥].

البته بحث مضرات استفاده از نانوذرات در بسته‌بندی مواد غذایی همواره موضوعی جالب میان محققان، رسانه، اجتماع و دولت بوده است. در مجامع علمی، مطالعات فراوانی روی امکان انتقال نانوذرات از بسته‌بندی به داخل خود مواد غذایی متمرکز شده است. مطالعه‌ای توسط گروه آولا و همکاران انجام گرفته که در آن سبزیجاتی که با بسته‌بندی نانوپلیمری، حاوی نانوذرات نقره در تماس بودند را بررسی کرده و افزایش قابل توجه مواد پلیمری در سبزیجات مشاهده نشده است [٦]. در تحقیق دیگری گزارش شده است که تنها نانوذرات به طول ۱ نانومتر توانایی پخش شدن از سطح مواد سازنده بسته‌بندی و انتقال به درون مواد غذایی را دارند؛ درحالی‌که ذرات بزرگ‌تر انتقال نمی‌یابند [۷].

برخی از پژوهش‌های انجام شده در مورد نانوذرات نقره، افزایش فعالیت ضدمیکروبی را زمانی که نانوذره با آنتی‌بیوتیک‌ها ترکیب می‌شود گزارش می‌کنند [۸]. نکته قابل توجه در مورد نانوذرات نقره، کشنده بودن آن‌ها در برابر بسیاری از ریزاندام‌واره‌هاست که شامل باکتری‌ها، خزه (جلبک دریایی)، قارچ‌ها و احتمالاً مجموعه‌ای از ویروس‌ها می‌شوند [۹].

در مطالعه گروه فرناندز و همکاران نشان داده شد که نانوذرات ضدمیکروب نقره یا اکسیدروی استفاده شده در بسته‌بندی ضدمیکروبی می‌توانند وارد آب پرتقال شوند. همچنین احتمال مهاجرت نانوذرات موجود در مواد استفاده شده در بسته‌بندی به درون ترشحات گوشت موجود در بسته‌بندی به شکل یون‌های نقره نیز مورد مطالعه قرار گرفته است، که تنها نانوذرات به طول ۱ نانومتر توانایی انتقال از بسته‌بندی را به درون ترشحات گوشت موجود در بسته‌بندی را داشتند. مقدار نانوذراتی که انتقال یافته بودند، برای سلامتی انسان هیچ‌گونه خطری ایجاد نکرده و صرفاً باعث کاهش قابل توجه باکتری «ای کولای» شده است [۱۰].

با این حال، ویژگی ضد باکتری نانوذرات بستگی به ثبات آن‌ها در محیط رشد دارد. این باعث می‌شود تا مدت زمان بیشتری برای سوخت‌وساز باکتری- نانوذرات به‌وجود آید. این امر، چالشی جدی در تهیه نانوذرات نقره‌ای است که به اندازه کافی پایدار بوده تا به‌طور قابل ملاحظه‌ای رشد باکتری‌ها را محدود کند[۱۱].

۲ نقش پلیمرها در پوشش‌های ضدمیکروبی

مواد پلیمری گزینه‌های مناسبی برای پوشش‌های کامپوزیتی با نانوذرات نقره، به‌دلیل دارا بودن ساختار مناسب، انعطاف‌پذیری و روش‌های گوناگون در دسترس برای اتصال آن‌ها به این نانوذرات هستند. ترکیبات پلیمری در پوشش‌های ضد میکروبی، عملکردهای گوناگون فیزیکی و شیمیایی را ارائه می‌دهند:

- می‌توانند به‌عنوان پایدارکننده برای سنتزهای نانونقره و پیش‌گیری‌کننده از تجمع نانوذرات نقره در محلول یا روی سطوح مورد استفاده قرار بگیرند.
- عملکرد پلیمرها به‌عنوان اتصال دهنده نانوذرات نقره که مستقیماً روی سطح پلیمر بارگذاری می‌شوند یا در

نانونقره و پیش‌گیری‌کننده از تجمع نانوذرات نقره در محلول یا روی سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرند.

– عملکرد پلیمرها به‌عنوان اتصال دهنده نانوذرات نقره که مستقیماً روی سطح پلیمر بارگذاری می‌شوند یا در محل سنتزشده، در پوشش‌های ضدمیکروبی کامپوزیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

– پلیمرها می‌توانند به‌عنوان بستر مناسبی برای کنترل آزادسازی نانوذرات توسط تغییر برهم‌کنش، بین پلیمرها و نانوذرات نقره و نیز همچنین غلظت نانوذرات نقره مورد استفاده قرار بگیرند.

عملکردهای نامبرده، شباهت بسیاری به روش‌های ساخت پوشش‌های کامپوزیتی دارند [۱۲].

۳ پلیمرهایی با خاصیت ضدمیکروبی

به‌طور گسترده، پلیمرهای حاوی گروه‌های عاملی ضدمیکروبی از نظر افزایش اثربخشی برخی از عوامل ضدمیکروبی موجود، به حداقل رساندن مشکلات محیطی با عوامل ضدمیکروبی متداول و افزایش طول عمر این عوامل، مورد بررسی قرار گرفته شده است. از انواع پلیمرهای با خاصیت ضدمیکروبی می‌توان به پلیمرهای بر پایه ترکیبات آمونیوم چهارتایی، پلیمر طبیعی کیتوسان، ترکیب زیستی پلی‌هگزانید، ترکیبات پلیمری فورانون، پلیمرهای متصل‌شده به آنتی‌بیوتیک‌ها و پپتیدهای ضدمیکروبی اشاره کرد. برای این پلیمرها، سازوکارهای ضدمیکروبی متفاوتی بیان می‌شود. به‌عنوان مثال برای پلیمر طبیعی کیتوسان، دو سازوکار کلی وجود دارد:

– گروه‌های آمین، با بار مثبت می‌توانند با غشای باکتری، با بار منفی واکنش داده، باعث نشت اجزای داخل سلول باکتری شوند.

– کیتوسان می‌تواند پس از نفوذ به هسته باکتری، به «دی‌ان‌ای» متصل شده و از سنتز «ام‌آر ان ای» و سایر نوکلئوتیدها جلوگیری کند.

اگر چه این پلیمرها دارای پتانسیل بالایی برای ترکیب با نانونقره برای تولید پوشش‌های کامپوزیتی پلیمر / نانونقره هستند، اما هنوز برای این کاربرد در مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار گرفته نشده‌اند. ترکیبی از پلیمرهای ضدمیکروبی و نانونقره، با همدیگر، اثر ضدمیکروبی را افزایش می‌دهند؛ هرچند به طور کلی فعالیت ضدمیکروبی در پلیمر نسبت به فعالیت ضدمیکروبی در نانونقره بسیار ضعیف‌تر است. از یک طرف، پلیمرها می‌توانند نانوذرات نقره را برای افزایش خواص ضدمیکروبی خود تثبیت و پراکنده کنند. از سوی دیگر، نانونقره با خواص ضدمیکروبی قوی‌تر نسبت به پلیمرها، می‌تواند نقش مهمی در عملکرد ضدمیکروبی کوتاه‌مدت، پوشش کامپوزیتی پلیمر/ نانونقره، ایفا کند. در حالی‌که بعد از فرسایش آن به‌صورت یون‌های نقره، پلیمرهای ضدمیکروبی می‌توانند نقش مهمی در پوشش‌های ضدمیکروبی طولانی‌مدت یا دائمی داشته باشند [۱۲]. از انواع دیگر نانوذرات نقره-پلیمر می‌توان به ترکیبات زیر اشاره کرد [۱۳].

• نقره–سیلیکون

سرامیک‌های ضدمیکروبی، در مواردی از جمله پروتزهای استخوانی، لعاب‌ها، کاشی‌های بهداشتی و صنعت آب و فاضلاب، کاربرد دارد که مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. در این سرامیک‌ها برای اضافه کردن خاصیت ضدمیکروبی از نانوذرات نقره استفاده می‌شود. همچنین این ترکیبات خواص ضد باکتریایی بیشتری را نسبت به مشتقات معمول نقره مانند زئولیت‌های نقره در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی از خود نشان داده است. نانوسیم‌های سیلیکونی که روی آن‌ها نانوذرات نقره سوار شده‌اند می‌توانند به‌طور چشمگیری، رشد باکتری در محیط را سرکوب کنند.

• نقره–پنبه

پنبه از دسته الیاف طبیعی است که ماده غالب سازنده آن سلولز است. با توجه به خواص فوق‌العاده پنبه در جذب و حفظ رطوبت، استفاده از آن برای پوشاک در صنایع نساجی از دیرباز مورد توجه بوده است. نکته حائز اهمیت در رابطه با این خاصیت پنبه، جنبه منفی رشد آسان و سریع ریزاندام‌واره‌ها داخل بافت پنبه به‌دلیل وجود رطوبت است. عملیات متعددی ازجمله شیمیایی و فیزیکی، با هدف کاهش رشد میکروبی وجود دارد. در میان این فرایندها استفاده از نانوکامپوزیت‌های نقره-پنبه، خواص مطلوب نابودسازی میکروب‌ها را نشان می‌دهد.

• نقره–پلی یورتان

یکی از پرکاربردترین پلیمرهای طبیعی که در صنایع مختلفی از جمله ساختمان‌سازی و ساخت‌وساز، حمل‌ونقل، صافش، بسته‌بندی، نساجی و تجهیزات زیستی، مورد استفاده قرار می‌گیرد، پلی‌یورتان است. آزمایش‌هایی برای مقایسه اسفنج پلی‌یورتان خالص و

ترکیب شده با نانوذرات نقره انجام شد که نتیجه آن اثر بسیار مطلوب ضدمیکروبی اسفنجی بود که توسط غوطه‌ور شدن در محلول نانوذرات نقره، خاصیت ضدمیکروب بودن را کسب کرده بود. در واقع می‌توان از این اسفنج‌ها حتی در اتاق عمل بیمارستان‌ها برای پوشش کف زمین یا دیوار، برای جلوگیری از رشد میکروب‌ها استفاده کرد. یکی دیگر از خواص جالب توجه چنین اسفنجی، این است که اگر غلظت ذرات نقره روی آن ppm ۳۰ باشد دوام ذرات روی اسفنج به حداکثر پایداری خود می‌رسد.

• نقره–پلی‌استر

مواد مصنوعی مانند پلی‌استر، معمولاً در منسوجات استفاده می‌شود. این مواد در برابر ریزاندام‌واره‌های بیماری‌زا، مقاوم نیست که همین امر، توجه دانشمندان را به افزودن خاصیت ضدمیکروبی به این مواد جلب کرده است. پس از ترکیب نقره با پلی‌استر و انجام آزمایش کشت باکتری‌ها، کاهش ۸۴ درصدی باکتری‌ها مشاهده شد. همچنین پس از گذشت ۱ ساعت، باکتری‌ها توسط نانوکامپوزیت نقره–پلی‌استر از بین رفتند.

۴ روش‌های تشکیل پوشش‌های کامپوزیتی پلیمر / نانونقره

دو روش عمده برای ترکیب بسترهای پلیمری با نانوذرات نقره برای تشکیل نانوکامپوزیت استفاده می‌شود که عبارتند از:

– ابتدا نانوذرات نقره روی پلیمر سوار شده، سپس به سطح بسته‌بندی متصل می‌شوند.

– پلیمرها ابتدا روی سطح بسته‌بندی ثابت می‌شوند و سپس با نانوذرات نقره ترکیب می‌شوند.

در هر دو مورد، اتصال موفق پلیمرها روی سطح، بسیار مهم و بحرانی است [۱۲].

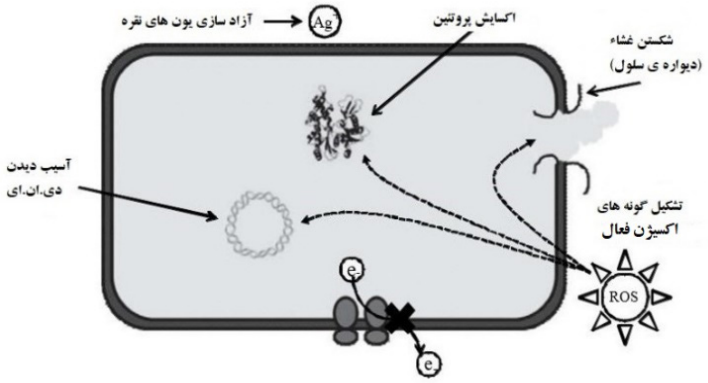
۵ عملکرد ضدمیکروبی نانوذرات نقره

از انواع بسته‌بندی‌های فعال می‌توان به بسته‌بندی ضدمیکروبی اشاره کرد که به‌عنوان کاهنده، بازدارنده یا کاهش‌دهنده سرعت رشد ریزاندام‌واره‌هایی که احتمال وجودشان در ماده غذایی بسته‌بندی شده یا حتی در خود ماده سازنده بسته‌بندی زیاد است، به کار می‌روند [۱۴].

نانوذرات کوچک‌تر از ۱۰ نانومتر با باکتری‌ها واکنش داده، باعث ایجاد تأثیرات الکترونی می‌شوند که موجب افزایش واکنش‌دهندگی نانوذرات می‌شود. بنابراین بستگی خاصیت ضدمیکروبی نانوذرات نقره به اندازه این ذرات اثبات شده است. نانوذرات نقره نسبت سطح به جرم بزرگتری نسبت به ذرات نقره در مقیاس میکرو یا حتی توده نقره دارند، بنابراین توان آزاد کردن یون‌های نقره توسط نانوذرات خیلی بیشتر از توده آن است. چندین عملکرد برای فعالیت ضدمیکروبی نقره پیشنهاد شده است. برای مثال، یکی از عملکردهای ارائه شده برای خاصیت ضدمیکروبی نانوذرات نقره، حمله یون‌های آن به کیلگوپروتئین لفاف ویروس است که پس از اتصال به آن موجب مهار نفوذ ویروس در سلول های بدن میزبان می‌شود[۱۳]. شکل ۱، طرح‌واره عملکرد ضدمیکروبی پیشنهادی نانوذرات نقره را نشان می‌دهد که طی آن نانوذرات نقره به سطح دیواره سلولی با بار منفی جذب شده، سپس آنزیم‌های سلولی را غیرفعال کرده و باعث اختلال در نفوذپذیری غشا می‌شود [۱۵]. سطح نانوذرات نقره به‌عنوان حاملی برای تحویل یون‌های نقره (یون کاتیون نقره به داخل ریزاندام‌واره که باعث تخریب دی‌ان‌ای می‌شود) به کار می‌روند [۲, ۱۶, ۱۷].

شناخته‌شده‌ترین سازوکار ضدمیکروبی نانوذرات نقره، واکنش با گروه‌های تیول آنزیم سایتین باقی‌مانده (آزادشده) از پروتئین‌هاست. غیرفعال‌سازی ناشی از عملکرد آنزیمی را می‌توان به‌عنوان جمع‌بندی بیان کرد. خاصیت بازدارندگی نانوذرات نقره، ناشی از جذب شدن آن‌ها به سطح با بار منفی دیواره سلولی باکتری‌ها، غیرفعال کردن آنزیم‌های سلولی و اختلال در نفوذپذیری غشا است [۱۵, ۱۸].

بنابراین نانوذرات نقره با ویژگی کاتالیزوری افزایش‌یافته می‌توانند نسبت به همتای بزرگ‌تر خود بسیار سمی‌تر و واکنش‌پذیرتر باشند. نانوذرات نقره‌ای که اندازه آن‌ها کوچک‌تر از ۵ نانومتر است می‌توانند به راحتی از بدنه میکروب‌ها گذر کنند و این میکروب‌ها با استفاده از آنزیم ترانس کریپتاز خود که این آنزیم قادر به سنتز «دی ان ای» از روی «آر ان ای» است از حمله کردن نانوذرات نقره به مواد ژنتیکی جلوگیری کنند. از این رو محققان به این باور رسیده‌اند که یون‌های نقره به قطعه‌های رونویس «دی ان ای» متصل می‌شوند درحالی‌که آن یون‌های نقره‌ای که به ترکیبات سطحی سلول اتصال می‌یابند موجب اختلال تنفس و پیوندهای



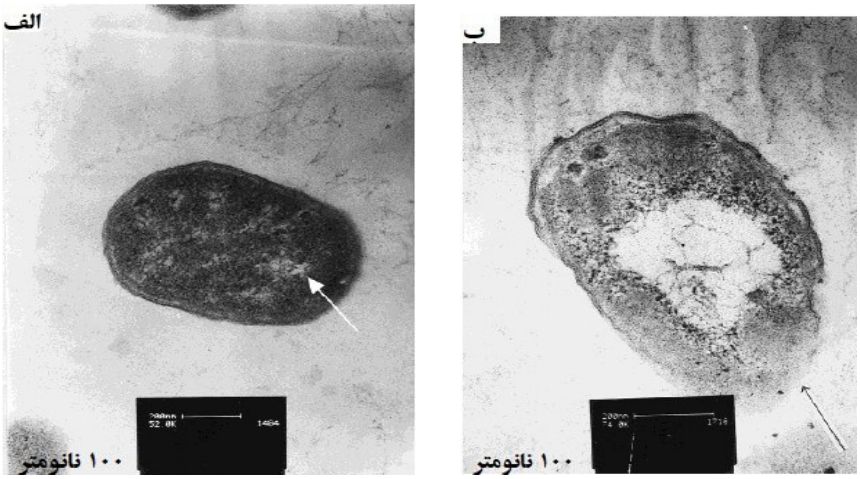
شکل ۱ طرح‌واره عملکرد ضدمیکروبی پیشنهادی نانوذرات نقره [۱۵]

آدنوزین تری‌فسفات (سوخت سلولی) باکتری‌ها می‌شوند [۱۹, ۲۰].

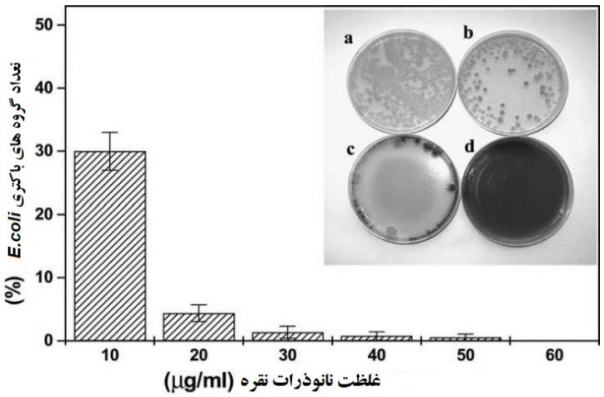
تعدادی از گزارش‌ها بیان می‌کنند که یون‌های نقره زنجیره تنفسی ریزاندام‌واره‌ها را در سیتوکروم اکسیداز و نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید - ناحیه آنزیم سوکسینات‌دهیدروژناز از هم دیگر جدا می‌کنند، سپس به کمپلکس آنزیم در سلول‌های باکتریایی تبدیل می‌شوند. گزارش‌های قدیمی به بازدارندگی اکسایش سوکسینات، گلیسرول، گلوکز و سایر مولکول‌های مرتبط با یون‌های نقره موجود در باکتری میله‌ای شکل گرم منفی اشرشیا کولای (ای کولای) اشاره دارند [۲۰].

در شکل ۲ مشاهده می‌شودکه نانوذرات نقره باعث از بین رفتن دیواره سلولی باکتری موردنظر شده و باعث به‌هم‌خوردن ساختار باکتری شده است [۱۹]. مطالعاتی نیز به بررسی تأثیر نانوذرات نقره روی باکتری ای-کولای پرداخته است. به‌عنوان مثال شکل۳ تعداد گروه‌های باکتری ای-کولای را به‌عنوان تابعی از غلظت نانوذرات نقره در صفحات غنی از مواد مغذی که برای رشد باکتری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد. این موضوع به صورت درصد تعداد گروه‌های رشد کرده روی صفحات کنترلی نقره بیان شده است [۹].

سازوکار فعالیت ضدمیکروبی نانوذرات نقره تاکنون به‌طور کامل درک نشده است. سه سازوکار بسیار رایج عبارتند از:



شکل ۲ مقایسه قبل و بعد از مواجه باکتری ای کولای با نانوذرات نقره الف: ساختار باکتری سالم قبل از حمله نانوذرات نقره. ب: ساختار بعد از حمله نانوذرات نقره که باعث آسیب شدید به دیواره سلولی باکتری شده است [۱۹]



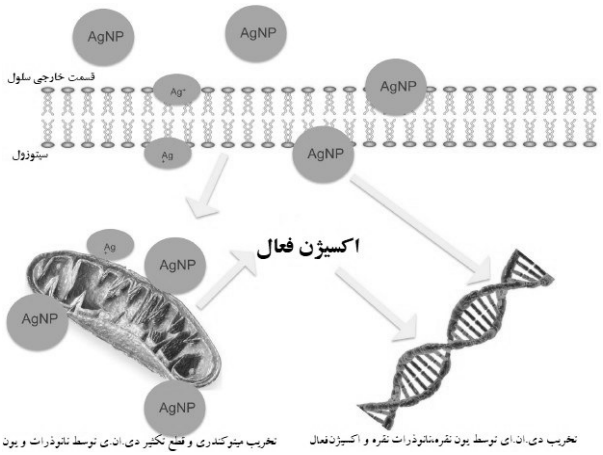
شکل۳ تعداد کلنی‌های باکتری ای-کولای به‌عنوان تابعی از غلظت نانوذرات نقره در صفحات کشت. عکس قسمت بالایی سمت راست، نشان‌دهنده صفحات کشت حاوی غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره است. این غلظت‌ها عبارتند از: (a) ۰، (b) ۱۰، (c) ۲۰، (d) ۵۰ $\mu g\ cm^{-3}$ [۹]

– آزادسازی آهسته یون‌های آزاد نقره در امتداد قطع تولید پیوندهای آدنوزین تری فسفات (سوخت سلولی) و قطع تکثیر دی ان ای (شکل ٤).

– آسیب مستقیم نانوذرات نقره به غشای سلول

– نانوذرات نقره و یون‌های نقره، تولید گونه‌ای از اکسیژن فعال می کنند (شکل۵).

مطالعات متعددی تأکید می کنند که حالت ضدمیکروبی



شکل ٤ سازوکار ضدمیکروبی نانوذرات نقره [۲۱]

نانوذرات نقره با یون‌های آن مشابه است [۲۲, ۲۳]. تعدادی از سازوکارهای واکنشی نانوذرات نقره در برابر باکتری‌های مشخص به طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است [۲۱].

۶ نتیجه گیری

فناوری نانو در صنایع غذایی به‌ویژه بسته‌بندی مواد غذایی به دنبال افزایش ایمنی و سلامت مواد غذایی و همچنین کاهش هزینه‌ها و پسماندها نقش بسزایی دارد.

جدول ۱ سازوکارهای واکنشی نانوذرات نقره در برابر باکتری‌های مختلف [۲٤]

سازوکار واکنشی	توضیحات در مورد باکتری	باکتری مورد نظر
ایجاد تغییرات در دیواره سلولی و سیتوپلاسم	از باکتری‌های مهم خاک	آسینتوباکتر[۱]
ایجاد تغییرات در تنفس و نفوذپذیری غشا	در روده جانوران خونگرم وجود دارد	اشریشیا کلی[۲]
ایجاد تغییرات در دیواره سلولی وسیتوپلاسم	باکتری همزیست روده انسان و سایر پستانداران	انتروکوک فکالیس[۳]
ایجاد تغییرات در غشا	یکی از باکتری‌های بیماری‌زا	کلبسیلا پنومونیه[۴]
ایجاد تغییرات ریزساختاری، جداسازی غشای سیتوپلاسمی ازدیواره سلولی	گونه‌ای از باکتری‌های بیماری زا	لیستریا مونوسیتوژنز[۵]
ایجاد تغییرات در تنفس و نفوذپذیری غشا، آسیب به سلول‌های باکتریایی	یکی از باکتری‌های بیماری‌زا	سودوموناس آئروژینوزا[۶]
مهار بازسازی دی.ان.ای‌های باکتری،آسیب به غشای سیتوپلاسمی، اصلاح سطح ATP داخل سلولی	در جوجه‌ها و تخم‌مرغ‌ها معمولاً وجود دارد	سالمونلا تیفی[۷]

در کنـار تمامـی نانوذراتـی کـه در بسـته‌بندی مـواد غذایـی بـه‌کار بـرده می‌شـوند، نانـوذرات نقـره اهمیـت فراوانـی از نظـر قـدرت بسـیار زیـاد ضدمیکروبـی بـودن دارد. عملکـرد مهارکنندگـی نانـوذرات نقـره در برابـر ویروس‌هـا، قارچ‌هـا و باکتری‌هـا امـروزه بسـیار مـورد توجـه قـرار گرفتـه کـه وظیفـه افزایـش سـلامت و زمـان نگهـداری موادغذایـی را بـه خوبـی انجـام می‌دهـد.

مراجع

1. Cho K. H., Park J.E., Osaka T., Park S.J., The Study of Antimicrobial Activity and Preservative Effects of Nanosilver Ingredient. *Electrochimica Acta*, 51, 956-960, **2005**.

2. Duncan T.V., Applications of Nanotechnology in Food Packaging and Food Safety: Barrier Materials, Antimicrobials and Sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363, 1-24, **2011**.

3. Kim J.S., Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles. Nanomedicine: Nanotechnology, *Biology and Medicine*, 3, 95-101, **2007**.

4. Samadi N., kheybari S., Hosseini S.V., Synthesis and Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles Produced by Chemical Reduction Method. *Daeu Journal of Pharmaceutical Sciences*, 18, 168, **2010**.

5. Kazlagić A., Omanović-Mikličanin E., Hamidović S., Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles. in New Technologies, *Development and Application II. Cham: Springer International Publishing,* **2020**.

6. Avella M., Vlieger J., Errico M.E., Biodegradable Starch/clay Nanocomposite Films for Food Packaging Applications. *Food Chemistry*, 93, 467-474, **2005**.

7. Šimon P., Chaudhr Q. y., Bakos D., Migration of Engineered Nanoparticles from Polymer Packaging to Food--a Physicochemical View. *Journal of Food & Nutrition Research*, 47, 467- 474, **2008**..

8. Fayaz A.M., Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Synergistic Effect with Antibiotics: A Study Against Gram-positive and Gram-negative Bacteria. Nanomedicine: Nanotechnology, *Biology and Medicine*, 6,103-109, **2010**.

9. Sondi I. Salopek-Sondi B., Silver Nanoparticles as Antimicrobial Agent: A Case Study on E. Coli as a Model for Gram-negative Bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275, 177-182, **2004**..

10. Fernandez A., Picouet P., Lloret E., Reduction of the Spoilage-related Microflora in Absorbent Pads by Silver Nanotechnology During Modified Atmosphere Packaging of Beef Meat. *Journal of Food Protection*, 73, 2263-2269, **2010**.

11. Shrivastava S., Characterization of Enhanced Antibacterial Effects of Novel Silver Nanoparticles. *Nanotechnology*, 18, 225103, **2007**.

12. GuoL., Polymer/nanosilver Composite Coatings for Antibacterial Applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects,* 439, 69-83, **2013**.

13. Matharu R.K., Ciric L., Edirisinghe M., Nanocomposites: Suitable Alternatives as Antimicrobial Agents. *Nanotechnology*, 29, 282001, **2018**.

14. Raimondi F., Nanoparticles in Energy Technology: Examples from Electrochemistry and Catalysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 44, 2190-2209, **2005**.

15. Dibrov P., Chemiosmotic Mechanism of Antimicrobial Activity of Ag^{+} in Vibrio Cholerae. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 46,2668-2670, **2002**.

16. de Azeredo H.M., Antimicrobial Nanostructures in Food Packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 30,56-69, **2013**.

17. Morones J.R., The Bactericidal Effect of Silver Nanoparticles. *Nanotechnology*, 16, 2346- 2353., **2005**.

18. Gordon O., Silver Coordination Polymers forPrevention of Implant Infection: Thiol Interaction, Impact on Respiratory Chain Enzymes, and Hydroxyl Radical Induction. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy,* 54,4208-4218, **2010**.

19. Feng Q., A mechanistic Study of the Antibacterial Effect of Silver Ions on Escherichia Coli and Staphylococcus Aureus. *Journal of Biomedical Materials Research*, 52,662-668, **2000**.

20. Kumar R., Howdle S., Münstedt H., Polyamide/silver Antimicrobials: Effect of Filler Types on the Silver ion Release. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials,* 75, 311-319, **2005**.

21. Franci G., Falanga A., Galdiero S., Palomba L., Rai M., Morelli G., Galdiero M., Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents. *Molecules*, 20, 8856-8874, **2015**.

22. Korani, M., Effects of Silver Nanoparticles on Human Health. *European Journal of Nanomedicine*, 7,B51-62, 2015.

23. Inoue Y., Hoshino M., Takahashi H., Noguchi T., Murata T., Bactericidal Activity of Ag–zeolite Mediated by Reactive Oxygen Species Under Aerated Conditions. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 92,37-42, **2002**.

24. Kotsilkova R., V. Petkova, and Y. Pelovski, Thermal Analysis of Polymer-silicate Nanocomposites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 64, 591-598, **2001**.