مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هفتم، شماره ۵، ویژه‌نامه زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۸۴۴-۸۳۷

مقاله مروری

نسل جدید بسته‌بندی فعال مواد غذایی بر پایه‌ی نانوذرات: مروری بر سازوکار و خواص ضد میکروبی نانوذرات نقره

حکیمه اسماعیل زاده[۱]، رامین خاکسار[۲]، پروانه سنگ پور[۳]، علی خانلرخانی[۳]، نرجس کریمی[۱]

۱- کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: raminkhaksar@gmail.com

۳- استادیار پژوهشکده فناوری نانو و مواد پیشرفته، پژوهشگاه مواد و انرژی، تهران، ایران

چکیده

بسته‌بندی ضدمیکروبی فعال علاوه بر حفظ ماده غذایی از شرایط محیطی، قادر به مهار یا کاهش رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش مدت ماندگاری غذا می‌باشد. نانو مواد ضدمیکروبی به دلیل دارا بودن نسبت سطح به حجم بالا و سطح تماس بیش‌تر کارایی بهتری در مقابله با میکروارگانیسم‌ها دارند. در این میان نانو ذرات نقره فعالیت ضدمیکروبی بی‌نظیری علیه دسته‌ی وسیعی از میکروارگانیسم‌ها نشان داده و اخیراً مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته‌اند.

برای نگارش مقاله‌ی مروری حاضر پایگاه داده‌های Science Direct، Google Scholar، Springer و Wiley جستجو شده و داده‌های بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ مورد استفاده قرار گرفتند.

نقره در ابعاد نانو در مقایسه با ترکیبات معمولی نقره اثر ضدمیکروبی بسیار قوی‌تری داشته و در ترکیب با طیف وسیعی از مواد بسته‌بندی می‌تواند به‌کار رود. نانوذرات نقره علیه بسیاری از باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی موثرند. مکانیسم اثر آن از طریق ایجاد استرس اکسیداتیو بوده و با تماس سطحی یا آزاد سازی از ماتریس بسته‌بندی این اثر را اعمال می‌کند.

نانوذرات نقره می‌توانند به طور موفقیت آمیزی در بسته‌بندی مواد غذایی یا سطوح در تماس با غذا استفاده شده و به طور معنی داری باعث کاهش رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد و پاتوژن شوند.

واژگان کلیدی: نانوذرات نقره، ضد میکروبی، بسته‌بندی فعال

مقدمه

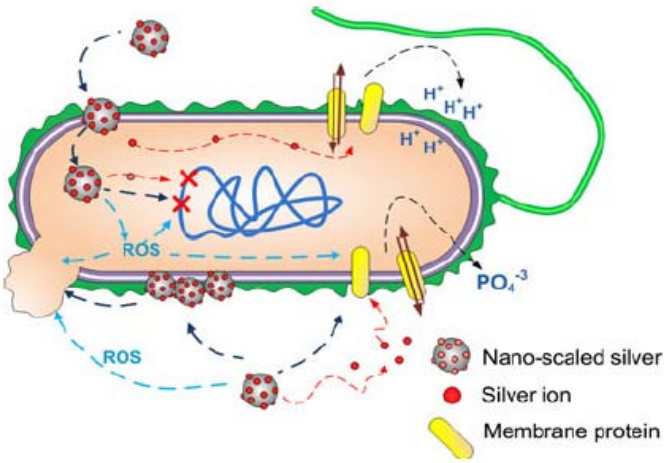
علم نانو و نانو فناوری عبارت از شناخت، تولید و به‌کارگیری مواد در ابعاد کوچک‌تر از ۱۰۰۰ نانومتر در مقیاس اتمی، مولکولی و ماکرومولکولی است. مواد در ابعاد نانو نسبت سطح به حجم بیش‌تری در مقایسه با ذرات بزرگ‌تر با همان ترکیب شیمیایی دارند و همین امر موجب می‌شود تا از نظر بیولوژیکی فعال‌تر باشند. بررسی‌ها نشان داده است که هرچه اندازه نانوذرات کوچک‌تر باشد، خصوصیات و فعالیت‌های جدید و متفاوت‌تری از خود نشان می‌دهند. این و یژگی‌ها باعث شده که امروزه سرعت استفاده از نانومواد با سرعت زیادی گسترش پیدا کند، به طوری که در تمام ابعاد زندگی مانند سیستم‌های الکترونیکی، مبارزه با میکروب‌ها و تشخیص و درمان بیماری‌ها کاربرد آن شناخته شود. این فناوری نو ظهور می‌تواند بخش‌های مختلفی از صنعت غذا را متحول کند (۳-۱)، اما از میان کاربردهای مختلف نانو فناوری در صنعت غذا، بیش‌ترین کاربرد آن در بخش بسته‌بندی بوده و از نانو فناوری به عنوان پتانسیلی برای ایجاد انقلابی بزرگ در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی نام برده می‌شود. امروزه استفاده از این فناوری در بسته‌بندی غذا و اقعیتی است که به مرحله‌ی تجاری رسیده است. ترکیب کردن نانو مواد در پلیمرهای پلاستیکی منجر به توسعه و

ایجاد بسته‌بندی جدیدی شده است. به عنوان مثال می‌توان از نانو کامپوزیت‌های پلیمری با انعطاف پذیری بالا، مقاوم به دما، رطوبت و مقاوم به عبور گازها و نیز بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند نام برد. بسته‌بندی ضدمیکروبی یکی از انواع بسته‌بندی فعال است (۴). مواد ضد میکروبی آلی در مقایسه با مواد ضد میکروبی غیر آلی در مقابل حرارت و فشار مقاومت کم‌تری دارند و این امر مانعی برای استفاده از مواد ضد میکروبی آلی در ماتریس بسته‌بندی محسوب می‌شود (۵). در میان عوامل ضد میکروبی غیرآلی، یون‌های نقره و ترکیبات بر پایه‌ی نقره به طور قابل توجهی سبب مهار رشد میکروارگانیسم‌ها شده و اثر ضد زیستی شدیدی علیه بسیاری از گونه‌های باکتریایی نشان می‌دهند (۶). به دلیل و یژگی ضد میکروبی فوق العاده‌ی نقره و سمیت اندک یون‌های نقره‌ی آزاد برای سلول‌های پستانداران، علاقه برای استفاده از این نانوذرات جهت کاربردهای غذایی در حال افزایش است (۷). با این حال قوانین اتحادیه‌ی اروپا حد مجاز یون‌های نقره در مواد غذایی را به ۰/۰۵ mg Ag/Kg محدود کرده است (۸).

تاکنون مطالعات بسیاری درباره‌ی اثر ضدمیکروبی نانوذرات نقره روی میکروارگانیسم‌های مختلف انجام گرفته است. برخی از این پژوهش‌ها اثر ضد میکروبی نانوذرات نقره را در ماتریس پلیمر یا پدهای به‌کار رفته در سیستم بسته‌بندی غذا مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف از این مقاله مروری ارائه‌ی خلاصه‌ای از کاربردهای ضد میکروبی نانوذرات نقره در سیستم‌های مختلف، به و یژه در سیستم بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد.

مکانیسم اثر ضد میکروبی

نقره روی دسته‌ی وسیعی از میکروارگانیسم‌ها اعم از باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی، قارچ ها، پروتوزوآها و برخی ویروس‌ها اثر ضدمیکروبی دارد. به علاوه نقره پایداری حرارتی بالا و فراریت کم داشته و بنابراین می‌تواند شرایط حین فرآوری را به خوبی تحمل کند (۹). مکانیسم اثر ضد میکروبی نانوذرات نقره به خوبی شناخته نشده است اما دالاس و همکارانش در سال ۲۰۱۲ طی یک مقاله مروری به سه مکانیسمی که به طور معمول توسط محققان مختلف پیشنهاد شده است اشاره کرده‌اند: ۱- آزادسازی تدریجی یون‌های نقره و در نتیجه مهار تولید ATP و رونویسی DNA ۲- آسیب مستقیم به غشای سلولی توسط نانوذرات نقره ۳- ایجاد رادیکال‌های اکسیژن فعال توسط نانوذرات نقره و یون‌های نقره. یون‌های نقره می‌توانند به گروه‌های دهنده‌ی الکترون مثل گوگرد، اکسیژن یا نیتروژن در مولکول‌های زیستی متصل شوند (۱۰)، (شکل ۱) (۱۱). برهمکنش یون‌های نقره با گروه تیول پروتئین‌ها می‌تواند سبب غیرفعال شدن آنزیم‌های باکتریایی شود. در پاسخ به دناتوراسیون پروتئین‌ها امکان فشرده شدن و عدم رونویسی مولکول‌های DNA وجود خواهد داشت (۱۲). برخی محققان آزادسازی یون‌های نقره را برای اعمال اثر ضدمیکروبی ضروری می‌دانند (۹)، اما یو و همکارانش گزارش کرده‌اند که در هیدروژل‌های پلی و ینیل الکل و پلی و ینیل پیرولیدون (PVA-PVP) حاوی نانوذرات نقره، نانوذرات نقره می‌توانند تنها از طریق تماس سطحی روی باکتری‌های *اشرشیاکلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* اثر ضدمیکروبی داشته باشند (۱۳). طبق یافته‌های برخی از پژوهشگران نانوذرات نقره با سایز ۱ تا ۱۰ نانومتر درصورتی که متراکم و بهم چسبیده نشده باشند، دارای بیش‌ترین اثر ضد میکروبی هستند (۱۴، ۸).



شکل ۱. مکانیسم اثر ضد میکروبی نانوذرات نقره

فعالیت ضدمیکروبی نانوذرات نقره

کومار و مونستد در سال ۲۰۰۵ آزادسازی یون نقره از کامپوزیت پلی آمید/ نقره را بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عوامل مختلفی از قبیل غلظت نقره، سطح ویژه و پراکندگی نقره در پلی آمید در میزان آزاد شدن نقره از پلیمر موثرند. تأثیر کامپوزیت در کاهش دو باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیاکلی* پس از ۱، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز بررسی شد. نتایج نشان داد پلی آمید حاوی ۸٪ نقره قادر به کاهش این باکتری‌ها به و یژه پس از ۲۸ روز است. دو سال بعد دم و همکارانش ترکیب مشابهی از پلی آمید و

نقره تهیه نمودند با این تفاوت که به جای ترکیبات یونی نقره از نانوذرات نقره استفاده کردند. آن‌ها طی فرآوری مذاب مخلوط پلی آمید۶/ استات نقره، نانوذرات نقره را از طریق احیای حرارتی یون‌های نقره ایجاد کرده و سپس آزاد سازی یون نقره از پلی آمید ۶ حاوی ۲٪ و زنی نانوذره نقره را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پایش نشان داد از هر سانتی متر مربع پلی آمید۶ در هر روز حدود ۱۷µg نقره به یک لیتر مایع و ارد می‌شود، در حالی که آزاد سازی ترکیبات یونی نقره بسیار شدیدتر و سریع‌تر است. پلی آمید حاوی ۸٪ وزنی نقره پس از ۲۸ روز باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیاکلی* را به ترتیب به میزان ۳ و ۲ سیکل لگاریتمی کاهش داد، اما نانوکامپوزیت حاوی ۲٪ نانوذرات نقره رشد اشرشیا کلی را تا ۶ سیکل لگاریتمی کم‌تر کرد و اثر ضد باکتریایی آن حتی پس از ۱۰۰ روز قرارگیری در آب به همان میزان باقی ماند. این تفاوت بیان‌گر این است که نانوذرات نقره نسبت به ترکیبات معمولی نقره به دلیل سرعت آزاد شدن آهسته‌تر و نسبت سطح به حجم بیش‌تر می‌توانند اثر بهتری در مقابله با میکروارگانیسم‌ها حتی در زمان طولانی‌تر داشته باشند (۱۵، ۹).

جیانگ و همکارانش (۲۰۰۴) لایه‌های نازکی از نانوذرات نقره را روی سطوح رزین‌های سیلیکونی، فولاد ضد زنگ و کاغذ که همگی از نوع قابل استفاده جهت مواد غذایی بودند قرار داده و اثر ضدمیکروبی آن را روی باکتری *لیستریامونوسیتوژنز* بررسی کردند. شمار باکتری‌ها در حضور نانوذرات نقره پس از ۶ ساعت شرع به کاهش کرد و بعد از ۱۲ ساعت رشد باکتری‌ها کاملاً متوقف شد (۱۶). تنخی و یل و همکارش فیلتر کاغذی را در محلول نیترات نقره به تعادل رسانده و سپس از طریق احیای سیترات نانوذرات نقره درون فیلتر کاغذی ایجاد شدند. فعالیت ضد میکروبی علیه باکتری *اشرشیاکلی* به صورت کیفی و به روش سنجش انتشار آگار (Agar Diffusion Assay) مورد ارزیابی قرار گرفت. ایجاد ناحیه شفاف در اطراف دیسک‌ها پس از ۲ روز گرمخانه‌گذاری در دمای C ۳۷ بررسی شد. در اطراف دیسک‌های حاوی نانوذرات نقره ناحیه شفاف که نشان دهنده‌ی عدم رشد باکتری بود ایجاد شد، در حالی‌که در مورد دیسک‌های شاهد تراکم زیادی از کلنی‌ها مشاهده شد (۱۷). پوشش‌دهی نمونه‌های کاغذ با نانوذرات نقره به وسیله‌ی تابش اولتراسونیک نیز انجام شده است. نمونه‌های کاغذ درون محلول ۲۵ یا ۱۰۰ میلی مولار نیترات نقره غوطه‌ور شده و سپس محلول‌ها به مدت ۳۰ یا ۶۰ دقیقه تحت تابش امواج اولتراسوند با شدت زیاد قرار گرفتند. هر دو سری نمونه ۲۰Mm /۳۰min و ۱۰۰Mm /۶۰min در داخل کشت‌های حاوی *اشرشیاکلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* معلق شده و تا ۴ ساعت در دمای ۳۷°C تحت لرزش گرمخانه‌گذاری شدند. هر دو نمونه علیه هر دو باکتری اثر ضد میکروبی قوی نشان دادند. علت تأثیر مشابه هر دو تیمار احتمالا به اندازه کوچک‌تر نانو ذرات نقره در تیمار ۲۰Mm/ ۳۰min مربوط می‌شود (۱۸).

پلی اتیلن با دانسیته پایین (LDPE) به دلیل انعطاف پذیری ، شفافیت، پایداری حرارتی، قابلیت بازیافت و قابلیت فرآوری آسان و ارزان به طور گسترده برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود (۲۰-۱۹).

جوکار و همکارانش نانوذرات نقره را به روش فرآوری مذاب وارد پلی اتیلن با دانسیته‌ی پایین (LDPE) کرده و اثر ضدمیکروبی نانوکامپوزیت به دست آمده را روی میکروارگانیسم‌های *اشرشیاکلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *کاندیدا آلبیکانس* بررسی کردند. نمونه‌های نانوکامپوزیت حاوی بیش از ppm ۶/۶۹ نانوذره نقره به خوبی علیه این میکروارگانیسم‌ها موثر بودند. در غلظت‌های بالاتر نانوذره اثر ضد میکروبی قوی‌تری مشاهده اما و یژگی‌های مکانیکی فیلم تضعیف شد (۲۱). هم‌چنین فیلم نانوکامپوزیت پلی اتیلن با دانسیته پایین (LDPE) حاوی نانوذرات نقره به و سیله‌ی اکسترودر دو مارپیچ تهیه شده و برای بسته‌بندی و نگهداری آب پرتقال در دمای ۴°C به‌کار رفت. نگهداری ۵۶ روز به طول انجامید و شمارش کلی باکتری‌ها و شمارش کلی کپک و مخمر انجام شد. در نمونه‌های بسته‌بندی شده در بسته‌بندی نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات نقره هم تعداد باکتری و هم تعداد کپک و مخمر نسبت به نمونه‌های شاهد کم‌تر بود. غلظت یون‌های نقره در آب پرتقال با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی کم‌تر از ppm ۱۰ تعیین شد که نشان دهنده‌ی مهاجرت بسیار اندک یون‌های نقره از بسته‌بندی به درون آب پرتقال است (۲۲). به علاوه فیلم نانو کامپوزیت حاوی نانو ذرات نقره به طور معنی داری قادر به کاهش *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در آب پرتقال می‌باشد (۲۳).

کیتوزان به عنوان یک ماده‌ی ضدباکتریایی که علیه گروه وسیعی از میکروارگانیسم‌ها موثر است شناخته شده است (۲۴). کیتوزان به دلیل دارا بودن گروه‌های آمین و هیدروکسیل تمایل زیادی به ترکیب شدن با یون‌های نقره

داشته و قادر به احیای یون‌های نقره به نانوذرات نقره تحت شرایط قلیایی است (۲۶، ۲۵). پژوهش‌های مختلفی به بررسی اثرات ضدمیکروبی ترکیب کیتوزان- نانوذرات نقره اختصاص یافته‌اند.

سانپویی و همکارانش از طریق اضافه کردن محلول‌های نیترات نقره و هیدرواکسید سدیم به یک محلول کیتوزان و هم زدن مداوم در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد کامپوزیتی از نانو ذرات نقره/کیتوزان تهیه کردند. غلظت‌های مختلفی از کامپوزیت به محیط لوریا-برتانی(LB) افزوده شده و با 10^6CFU/ml *اشرشیاکلی* در ۳۷ °C گرمخانه‌گذاری شد. حداقل غلظت بازدارنده رشد (MIC) (Minimum Inhibitory Concentration) کامپوزیت به عنوان حداقل غلظت مورد نیاز جهت ایجاد کشت‌های فاقد کدورت تعیین شد. کشت‌های فاقد کدورت در درون محیط جدید LB حاوی آمپی سیلین (100µg/ml) مجددا گرمخانه‌گذاری شد و کشت‌های فاقد کدورت به عنوان حداقل غلظت کشنده‌ی باکتری تعیین شدند. و جود تنها ۲/۱۵ ٪ و زنی/وزنی نانو ذرات نقره در کامپوزیت جهت افزایش غیر فعال سازی *اشرشیاکلی* نسبت به کیتوزان خالص کافی است. *اشرشیاکلی* مورد مطالعه در این پژوهش قادر به بیان پروتئین نوترکیب فلورسنس سبز بود و از این فاکتور جهت ارزیابی کارایی باکتری کشی استفاده شد (۲۷). گروه تحقیقاتی ساراوانان نیز (۲۰۱۱) فیلم نانوکامپوزیتی از کیتوزان-اکسید نقره به روش قالب زنی محلول تهیه کردند. به این صورت که ۱میلی لیتر اکسید نقره به محلول کیتوزان (۱٪w/w در ۱٪ اسید استیک) افزوده شده و به مدت ۲ ساعت هم زده شد. سپس محلول حاصل روی صفحات شیشه ای قالب زنی شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق خشک شد تا فیلم کامپوزیت تهیه شود. اثر ضد میکروبی فیلم روی باکتری‌های *اشرشیاکلی*، *باسیلوس سوبتلیس*، *سودوموناس آئروموناس* و *استاف اورئوس* با استفاده از روش انتشار آگار بررسی شد. نتایج نشان داد فیلم کیتوزان حاوی نانوذرات نقره اثر قابل توجهی در مقابله با میکروارگانیسم‌ها داشته و می‌تواند به عنوان پوششی برای مصرف میوه‌ها و سبزی‌های فساد پذیر جهت حفظ ایمنی میکروبی و افزایش زمان ماندگاری استفاده شود (۲۸)

پدهای جاذب معمولا در بسته بندی‌های خرده فروشی جهت جذب آب و مایعات خارج شده از فرآورده‌های گوشتی استفاده می‌شوند. پدهای جاذب به حفظ ظاهر تازه‌ی غذا کمک کرده و از تماس آن با مایعات و ایجاد حالت غیربهداشتی جلوگیری می‌کنند. با این حال حتی زمانی که این مایعات به پدهای جذب می‌شوند نیز احتمال رشد باکتری‌های بیماری‌زا عامل فساد و جود داشت (۸). سلولز که معمولا جزئی از پدهای جاذب است می‌تواند به عنوان حاملی برای نانوذرات نقره به‌کار رود (۲۹).

فرناندز و همکارانش تاثیر پدهای سلولزی حاوی نانوذرات نقره را در کنترل فلور میکروبی (مزوفیل‌های هوازی سرماگرا، کپک و مخمر) پدهای جاذب قرار گرفته در ظروف حاوی برش‌های خربزه تازه بررسی کردند. بسته‌بندی به صورت اتمسفر اصلاح شده بود و پدهای حاوی سبب افزایش فاز تاخیر شده و بار میکروبی را حدود ۳ سیکل لگاریتمی نسبت به نمونه شاهد طی زمان نگهداری کاهش دادند. به‌علاوه حضور یون نقره در پدها موجب حفظ تازگی خربزه به مدت بیش‌تری شد و برش‌های خربزه پس از ۱۰ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد به طور قابل توجهی بریکس و مخمر کم‌تر و ظاهر آبدارتری داشتند. پدهای سلولزی حاوی نانوذرات نقره بار میکروبی گوشت گاو بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده را نیز کاهش دادند. شمارش کلی باکتری‌های اسید لاکتیک، گونه‌های *سودوموناس* و *انتروباکتریاسه* موجود در پدهای جاذب به طور متوسط در کل دوره نگه داری حدود ۱ سیکل لگاریتمی کاهش یافتند. در این میان باکتری‌های لاکتیک اسید حساسیت کم‌تری داشته و تحت تاثیر قرار نگرفتند (۳۰).

اثر ضد میکروبی نانو ذرات نقره- مونت موریلونیت در افزایش ماندگاری نوعی سالاد میوه توسط کوستا و همکارانش بررسی شد. نانو ذرات نقره- مونت موریلونیت با واکنش تبادل یون تولید شدند. مخلوط میوه متشکل از کیوی و آناناس‌ها در بسته‌بندی پلی پروپیلینی قرار گرفتند و قبل از افزودن شربت فروکتوز به داخل بسته‌بندی به ترتیب ۱۰، ۱۵ و ۲۰ mg نانو ذرات نقره- مونت موریلونیت در ته جعبه قرار داده شد. کیفیت حسی و میکروبی سالاد میوه در طول دوره نگهداری بررسی شد. با به‌کارگیری نانو ذرات در بسته‌بندی رشد میکروبی کاهش یافت و در بیشترین غلظت، ۵ روز افزایش در مدت ماندگاری مشاهده شد. از نظر کیفیت حسی نیز نمونه‌های حاوی ۲۰ mg نقره- مونت موریلونیت نسبت به نمونه‌ی شاهد از پذیرش بهتری برخوردار بود (۶).

حمید ثالث و همکارانش در سال ۲۰۱۲ تأثیر همزمان پرتودهی گاما و بسته‌بندی حاوی نانوذرات نقره را روی بار

میکروبی زعفران طی دوره‌ی نگهداری مورد بررسی قرار دادند. زعفران در بسته‌بندی پلی اتیلنی که حاوی نانوذرات نقره تا ppm۳۰۰ بود بسته‌بندی شده و سپس در دمای اتاق تحت تابش ۱، ۲، ۳و ۴ کیلوگری قرار گرفت. نتایج نشان داد شمارش کلی باکتری‌های مزوفیل، *انتروباکتریاسه*، *اشرشیاکلی* و *کلستریدیوم پرفرنجنس* نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافت. بهترین نتیجه در مورد بسته‌بندی حاوی نانوذره نقره تحت تابش ۲کیلوگری مشاهده شد. بدون استفاده از بسته‌بندی حاوی نانوذره نقره تابش ۴ کیلوگری مطلوب‌ترین نتیجه را داشت (۳۱).

An و همکارانش اثرات پوشش دهی مارچوبه سبز با پلی و ینیل پیرولیدون- نانوذرات نقره را روی و یژگی‌های افت وزنی، اسکوربیک اسید، کلروفیل تام، فیبر خام، رنگ، سختی و کیفیت میکروبی مارچوبه سبز بررسی کردند. در طی ۲۵ روز نگهداری در دو دمای ۲ و $5^{o}C$ نمونه‌های پوشش دهی شده افت و زنی کم‌تر , رنگ سبزتر و بافت ترد تری در مقایسه با نمونه‌های کنترل نشان دادند. هم‌چنین شمارش کلی باکتری‌های هوازی سرماگرا، کپک‌ها و مخمرها در هر دو دما نسبت به نمونه‌های شاهد به طور معنی داری کاهش یافت (۳۲).

علاوه بر مواد غذایی، استفاده از نانوذرات نقره جهت کاهش بارمیکروبی آب آشامیدنی نیز بررسی شده است. حیدرپور و همکارانش در سال ۲۰۱۱ سعی کردند تا با استفاده از فیلتر آب پروپیلنی پوشش داده شده با نانوذرات نقره باکتری *اشرشیاکلی* را از آب آشامیدنی حذف کنند. نانو ذرات نقره از طریق بمباران الکترونی فلز نقره تولید شده و سپس روی فیلترهای پلی پروپیلنی قرار گرفتند. قطر لایه نانویی روی فیلترها ۳۵ نانومتر بود. کارایی ضد باکتریایی فیلترها با استفاده از روش فیلتر غشایی مورد ارزیابی قرار گرفت. فیلترها توانستند پس از ۷ ساعت فیلتراسیون آب با سرعت جریان ۳ لیتر در ساعت تعداد کلنی‌های *اشرشیاکلی* را از 10^{3} CFU/ml به صفر کاهش دهند. به‌علاوه نتایج ICP/MS (Inductively coupled plasma Mass Spectrometry) نشان داد که قطر لایه نانویی روی فیلترها حتی پس از ۷۲ ساعت شست و شو به و سیله آب همچنان ۳۵ نانومتر است (۳۳).

نتیجه‌گیری

استفاده از نانوذرات نقره به عنوان عامل ضد میکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی یا سطوح در تماس با غذا رویکرد جدیدی است که اخیراً توجه بسیاری از محققان و صنعت‌گران را به خود جلب کرده است. پژوهش‌های متعدد توانایی نانوذرات نقره در مقابله با میکروارگانیسم‌های عامل فساد و پاتوژن را اثبات کرده‌اند. به کارگیری این نانوذره در بسته‌بندی مواد غذایی علاوه بر کاهش بار میکروبی، می‌تواند باعث افزایش زمان ماندگاری و حفظ پارامترهای کیفی در طول زمان نگهداری شود.

References

1. Chau C-F, Wu S-H, Yen G-C. The development of regulations for food nanotechnology. Trends in Food Science & Technology. [doi: 10.1016/j.tifs.2007.01.007]. 2007;18(5):269-80.
2. Sanguansri P, Augustin MA. Nanoscale materials development - a food industry perspective. Trends in Food Science & Technology. [doi: 10.1016/j.tifs.2006.04.010]. 2006;17(10):547-56.
3. Wang X, Yang L, Chen ZG, Shin DM. Application of nanotechnology in cancer therapy and imaging. CA: a cancer journal for clinicians. 2008;58(2):97-110.
4. Chaudhry Q, Castle L. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries. Trends in Food Science & Technology. [doi: 10.1016/j.tifs.2011.01.001]. 2011;In Press, Corrected Proof.
5. Zhang L, Jiang Y, Ding Y, Povey M, York D. Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). Journal of Nanoparticle Research. 2007;9(3):479-89.
6. Costa C, Conte A, Buonocore GG, Del Nobile MA. Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad. International Journal of Food Microbiology. [doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.05.018]. 2011;148(3):164-7.
7. Bosetti M, Masse A, Tobin E, Cannas M. Silver coated materials for external fixation devices: in vitro biocompatibility and genotoxicity. Biomaterials. 2002;23(3):887-92.
8. Fernández A, Soriano E, López-Carballo G, Picouet P, Lloret E, Gavara R, et al. Preservation of aseptic conditions in absorbent pads by using silver

nanotechnology. Food Research International. 2009;42(8):1105-12.

9. Kumar R, Münstedt H. Silver ion release from antimicrobial polyamide/silver composites. Biomaterials. [doi: 10.1016/j. biomaterials. 2004.05.030]. 2005;26(14):2081-8.
10. Dallas P, Sharma VK, Zboril R. Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: Classification, synthetic paths, applications, and perspectives. Advances in Colloid and Interface Science. 2011;166(1–2):119-35.
11. Marambio-Jones C, Hoek E. A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. Journal of Nanoparticle Research. 2010;12(5):1531-51.
12. Feng Q, Wu J, Chen G, Cui F, Kim T, Kim J. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus. Journal of biomedical materials research. 2000;52(4):662-8.
13. Yu H, Xu X, Chen X, Lu T, Zhang P, Jing X. Preparation and antibacterial effects of PVA-PVP hydrogels containing silver nanoparticles. Journal of Applied Polymer Science. 2007;103(1):125-33.
14. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramírez JT, et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology. 2005;16(10):2346.
15. Damm C, Münstedt H, Rösch A. Long-term antimicrobial polyamide 6/silver-nanocomposites. Journal of Materials Science. 2007;42(15):6067-73.
16. Jiang H, Manolache S, Wong ACL, Denes FS. Plasma-enhanced deposition of silver nanoparticles onto polymer and metal surfaces for the generation of antimicrobial characteristics. Journal of Applied Polymer Science. 2004;93(3):1411-22.
17. Tankhiwale R, Bajpai SK. Graft copolymerization onto cellulose-based filter paper and its further development as silver nanoparticles loaded antibacterial food-packaging material. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. [doi: 10.1016/j.colsurfb.2008.11.004]. 2009;69(2):164-8.
18. Gottesman R, Shukla S, Perkas N, Solovyov LA, Nitzan Y, Gedanken A. Sonochemical coating of paper by microbiocidal silver nanoparticles. Langmuir. 2011;27(2):720-6.
19. Del Nobile M, Conte A, Buonocore G, Incoronato A, Massaro A, Panza O. Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymers. Journal of Food Engineering. 2009;93(1):1-6.
20. Marsh K, Bugusu B. Food packaging—roles, materials, and environmental issues. Journal of Food Science. 2007;72(3):R39-R55.
21. Jokar M, Abdul Rahman R, Ibrahim N, Abdullah L, Tan C. Melt Production and Antimicrobial Efficiency of Low-Density Polyethylene (LDPE)-Silver Nanocomposite Film. Food and Bioprocess Technology. 2010:1-10.
22. Emamifar A, Kadivar M, Shahedi M, Soleimanian-Zad S. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. Innovative Food Science & Emerging Technologies. [doi: 10.1016/j.ifset.2010.06.003]. 2010;11(4):742-8.
23. Emamifar A, Kadivar M, Shahedi M, Soleimanian-Zad S. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of Lactobacillus plantarum in orange juice. Food Control. [doi: 10.1016/j.foodcont.2010.09.011]. 2010;22(3-4):408-13.
24. Azeredo HMCd. Nanocomposites for food packaging applications. Food Research International. [doi: 10.1016/j.foodres.2009.03.019]. 2009;42(9):1240-53.
25. Varma A, Kennedy J, Galgali P. Synthetic polymers functionalized by carbohydrates: a review. Carbohydrate Polymers. 2004;56(4):429-45.
26. Murugadoss A, Chattopadhyay A. A'green'chitosan–silver nanoparticle composite as a heterogeneous as well as micro-heterogeneous catalyst. Nanotechnology. 2007;19(1):015603.
27. Sanpui P, Murugadoss A, Prasad PVD, Ghosh SS, Chattopadhyay A. The antibacterial properties of a novel chitosan-Ag-nanoparticle composite. International Journal of Food Microbiology. [doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.004]. 2008;124(2):142-6.
28. Saravanan S, Nethala S, Pattnaik S, Tripathi A, Moorthi A, Selvamurugan N. Preparation, characterization and antimicrobial activity of a bio-composite scaffold containing chitosan/nano-hydroxyapatite/nano-silver for bone tissue engineering. International Journal of Biological Macromolecules. 2011;49(2):188-93.
29. He J, Kunitake T, Nakao A. Facile in situ synthesis of noble metal nanoparticles in porous cellulose fibers. Chemistry of Materials. 2003;15(23):4401-6.
30. Fernández A, Picouet P, Lloret E. Cellulose-silver nanoparticle hybrid materials to control spoilage-related microflora in absorbent pads located in trays of fresh-cut melon. International Journal of Food Microbiology. [doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.07.001]. 2010;142(1-2):222-8.

31. Hamid Sales E, Motamedi Sedeh F, Rajabifar S. Effects of Gamma Irradiation and Silver Nano Particles on Microbiological Characteristics of Saffron, Using Hurdle Technology. Indian Journal of Microbiology. 2012;52(1):66-9.

32. An J, Zhang M, Wang S, Tang J. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. LWT - Food Science and Technology. [doi: 10.1016/j.lwt.2007.06.019]. 2008;41(6):1100-7.

33. Heidarpour F, Wan Ab Karim Ghani W, Fakhru'l-Razi A, Sobri S, Heydarpour V, Zargar M, et al. Complete removal of pathogenic bacteria from drinking water using nano silver-coated cylindrical polypropylene filters. Clean Technologies and Environmental Policy. 2011;13(3):499-507.

New generation of food packaging based on nanoparticles: A review on mechanism and antimicrobial properties of silver nanoparticles

*Esmailzadeh H[1], Khaksar R[*2], Sangpour P[3], Khanlarkhani A[3], Karimi N[1]*

1. *Students' Research Committee, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty ofNutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran,Iran.*
2. **Corresponding author: Associate prof, Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: raminkhaksar@gmail.com*
3. *Assistant Prof, Dept. of Nanotechnology and Advanced materials, Materials and Energy Research Center*

Abstract

Antimicrobial active packaging not only protects food against environmental conditions, but also can inhibit or reduce microorganisms growth and increase its shelf life. Because of higher surface to volume ratio, antimicrobial nanostructures are more effective against microorganisms. Amongst these antimicrobial nanostructures, nanosilver has extraordinary antimicrobial activity on abroad spectrum of microorganisms and during recent years it has attached many attentions.

All the scientific articles which were published between 2000 and 2012 in Science Direct, Google scholar, Springer and Wiley databases about antimicrobial effects of silver nanoparticles on packaging of food products were reviewed.

Comparing with natural components of silver, silver in nano scale has tremendous antibacterial effects and can be used in combination with wide range of packaging materials. Silver nano particles are effective against wide spectrum of gram positive and gram negative bacteria. The mechanism in which silver nano particles confer their antimicrobial effects, is mainly attributed to the oxidative stress and this effect can be achieved through both direct contact and release from packaging matrix.

Silver nano particles have been used successfully in food packaging or food contact materials. They significantly reduce the growth of food spoilage and pathogenic microorganisms.

Keywords: Nanosilver, Antimicrobials, Active packaging