



اولین همایش آبرزی پروری نوین-چالاشها و فرصت‌ها
گرگان-دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی-۳۰ مهر و ۱ آبان ۹۳

مروری بر ویژگی‌های ضد میکروبی و فتوکاتالستی فیلم‌های زیستی حاوی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم

اکبر وجدان*^۱، سید مهدی اجاق^۲، افشین عادل^۳، مهدی عبدالهی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشجوی دکتری دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور

(Akbarv69@yahoo.com)

چکیده

بسته‌بندی یکی از راهکارهای مؤثر حفاظت مواد غذایی در برابر تغییرات نامطلوب شیمیایی و میکروبی است. مواد بسته‌بندی به‌عنوان یک محافظ فیزیکی محصول بوده و با ایجاد شرایط فیزیکی شیمیایی مناسب منجر به افزایش مدت ماندگاری مواد غذایی می‌شود. امروزه فراورده‌های آبرزیان بخش مهمی از سبد غذایی انسان‌ها را تشکیل می‌دهند و رسیدن محصول باکیفیت و ایمن به دست مصرف‌کننده یک مسئله مهم و اساسی هست. بسته‌بندی فعال و هوشمند نشان‌دهنده فن‌آوری در حال ظهور است که تأثیرات زیادی بر کیفیت، ایمنی و سلامت غذاهای بسته‌بندی شده دارد. بسته‌بندی ضد میکروبی یک شکلی از بسته‌بندی فعال است که با افزودن نانو ذرات فلزی از جمله تیتانیوم به فیلم‌ها یا کامپوزیت‌ها ایجاد می‌شود به همین خاطر یکی از بهترین راه‌ها برای کاهش، مهار یا به عقب انداختن رشد میکروارگانیسم‌ها در مواد غذایی بسته‌بندی شده ممکن است استفاده از سیستم بسته‌بندی غذایی ضد میکروبی باشد. مهار رشد و تکثیر میکروبی یکی از پراهمیت‌ترین راه‌ها برای طولانی کردن مدت ماندگاری محصولات بسته‌بندی از جمله در محصولات شیلاتی است. در این تحقیق سعی شده با در نظر گرفتن خواص فتوکاتالستی نانو تیتانیوم دی‌اکسید (این خاصیت در اثر جذب نور UV ایجاد می‌شود) و با استفاده از نتایج به دست آمده از مطالعات توسط محققین، کارایی این نانوذره در به تعویق انداختن فساد ناشی از میکروارگانیسم‌ها در محصولات شیلاتی بسته‌بندی شده در فیلم‌ها و کامپوزیت‌های مختلف بررسی گردد.

کلمات کلیدی: فیلم، بسته‌بندی، نانو دی‌اکسید تیتانیوم، ضد میکروبی، فتوکاتالستی



مقدمه

ماهی و محصولات دریایی حاوی مقادیر زیادی اسیدهای چرب غیراشباع، پروتئین، فسفولیپید و مواد معدنی می‌باشند که از لحاظ ارزش غذایی حائز اهمیت است (احمد و همکاران، ۲۰۱۲). این امر سبب شده است که استفاده انسانی از اغلب منابع شیلاتی توسعه یابد. استفاده از ماهی و سایر گونه‌های دریایی برای تولید فرآورده‌هایی با اهمیت اقتصادی زیاد در بسیاری از کشورها رواج یافته است (Losada و همکاران، ۲۰۰۴؛ Aubourg و همکاران، ۲۰۰۵). از آنجایی که غذاهای دریایی عمر ماندگاری کوتاهی دارند جلوگیری از فساد این محصولات یک چالش مهم است، به‌ویژه چربی ماهیان که به دلیل داشتن مقدار قابل توجهی از اسیدهای چرب چند غیراشباع (PUFA) در مقابل فسادهای ناشی از اکسیداسیون بسیار حساس هستند (ویسیدی و همکاران، ۲۰۰۴). به همین دلیل ماهی از جمله غذاهای سریع‌الفساد بوده و با قرار گرفتن در شرایط دمایی نامناسب شروع به فساد کرده و پارامترهای مختلف شیمیایی و میکروبی مولد فساد در آن افزایش می‌یابد (Rhebin و همکاران، ۲۰۰۹). بخشی از فساد ماهیان تازه، به دلیل فعالیت و رشد ارگانیزم‌های ویژه عامل فساد است که با تولید متابولیت‌هایی منجر به نامطلوب شدن طعم و بوی ماهیان و در نهایت غیرقابل مصرف شدن آن‌ها می‌شود (Gram و Dalggaard، ۲۰۰۲؛ Huss و Gram، ۱۹۹۶) که این امر سبب ایجاد بو، طعم نامطلوب، تغییر رنگ، تغییر بافت، افزایش آب چک، کاهش ارزش غذایی و تولید ترکیباتی که احتمالاً سمی هستند، می‌شود (Mielnik و همکاران، ۲۰۰۲؛ Serdaroglu و Yildiz-Turp، ۲۰۰۴؛ Kose و همکاران، ۲۰۰۴).

اکسیداسیون چربی به‌عنوان یکی از دلایل اصلی کاهش کیفیت Lin و Lin (۲۰۰۴)؛ Mielnik و همکاران (۲۰۰۲) و یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌ها در مورد گوشت، ماهی و فرآورده‌های دریایی منجمد است (Serdaroglu و Felekoglu، ۲۰۰۵؛ Yu و همکاران، ۲۰۰۲؛ Serdaroglu و Yildiz-Turp، ۲۰۰۴). از طرفی رشد میکروبی یکی از دلایل اصلی فساد گوشت و فرآورده‌های گوشتی است که تغییرات نامطلوبی در این فرآورده‌ها ایجاد می‌کند و در نتیجه، باعث بروز مسمومیت‌های غذایی و مرگ‌ومیر مصرف‌کنندگان و همچنین ایجاد خسارت‌های سنگین اقتصادی می‌شود (احمدآباد و همکاران، ۱۳۹۱). آلودگی در اثر عوامل میکروبی می‌تواند باعث کاهش مدت ماندگاری مواد غذایی و افزایش خطر آلودگی‌های مختلف منتقله از غذا و بیماری جدی شود (Devlieghere و همکاران، ۲۰۰۴). لازم به ذکر است که رشد میکروبی بروی سطح مواد غذایی دلیل عمده فساد مواد غذایی است (اجاق و همکاران، ۲۰۱۰). به همین دلیل یافتن روش‌های کارآمدتر جهت جلوگیری از فساد میکروبی و اکسیداسیون چربی این فرآورده‌ها همچنان یکی از دغدغه‌های اصلی صنعت غذا است (کاوو و همکاران، ۲۰۰۹؛ تاج کریمی و همکاران، ۲۰۱۰). یکی از این روش‌ها استفاده کردن از مواد



بسته‌بندی می‌باشد. مواد بسته‌بندی به‌عنوان یک محافظ فیزیکی محصول بوده و با ایجاد شرایط فیزیکی شیمیایی مناسب منجر به افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می‌گردند. ولی آلودگی زیست‌محیطی ناشی از تولید مواد بسته‌بندی که بر پایه مشتقات نفت خام هستند به دلیل مشکلات متنوعی از قبیل دفن کردن، سوزاندن و بازیافت آن‌ها (Tharanathan ۲۰۰۳) و خطراتی که این مواد سنتزی در بسته‌بندی محصولات غذایی دارد باعث شده تا محققان به فکر تولید روکش‌هایی بر پایه مواد طبیعی برای بسته‌بندی محصولات غذایی باشند (Sorrentino و همکاران، ۲۰۰۷؛ Ghanbarzadeh و Almasi، ۲۰۱۱).

در حال حاضر، استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به‌منظور افزایش عمرماندگاری، به‌ویژه در غذاهای تازه باقابلیت فسادپذیری بالا، از طریق جلوگیری یا به تأخیر انداختن فساد میکروبی یا اکسیداتیو به‌سرعت افزایش یافته است (Rezaei و Taghizade Andevvari، ۲۰۱۱). بسته‌بندی‌های تهیه شده از پلیمرهای زیستی می‌توانند سدی در برابر رطوبت، بخارآب، گازها، مواد محلول و نیز وسیله‌ای مناسب برای افزودن طیف گسترده‌ای از افزودنی‌ها مانند ترکیبات ضد قارچی، آنتی‌اکسیدان‌ها، ضد میکروب‌ها، رنگ‌ها و سایر ترکیبات غذایی باشند. مزیت اصلی آن‌ها نسبت به پلیمرهای مصنوعی، زیست‌تخریب‌پذیر بودن آن‌هاست (Rhim و همکاران، ۲۰۰۷). چالش‌ها و نگرانی‌های نامبرده در مورد پوشش‌های زیستی مهم نیستند، زیرا این پلیمرها به‌راحتی می‌توانند در طبیعت تجزیه شوند؛ بنابراین، توسعه مواد زیست‌تخریب‌پذیر یک نیاز اصلی برای جوامع مختلف است و تحقیقات روی مواد زیست‌تخریب‌پذیر با خواص کنترل‌شده موضوع جالب توجهی برای متخصصین غذا است (Gonzalez-Gutierrez و همکاران، ۲۰۱۰؛ Ghasemlou و همکاران، ۲۰۱۱). ازجمله بهترین راه‌ها برای کاهش، مهار کردن یا به عقب انداختن رشد میکروارگانیسم‌ها در مواد غذایی بسته‌بندی‌شده ممکن است استفاده از سیستم بسته‌بندی غذایی ضد میکروبی باشد (Appendini و Hotchkiss، ۲۰۰۲) و این سیستم ضد میکروبی را می‌تواند با اضافه کردن نانو ذرات فلزی ازجمله دی‌اکسید تیتانیوم به فیلم‌ها و پوشش‌های کامپوزیتی حاصل کرد. اکسیدهای فلزی اغلب برای بهبود خواص عملکردی (از قبیل فعالیت‌های ضد میکروبی و عبور نور UV) فیلم‌ها یا پوشش‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chaurasia و همکاران، ۲۰۱۰؛ Pagella و همکاران، ۲۰۰۲؛ Zhou و همکاران، ۲۰۰۹). دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان یک اکسید فلزی بی‌اثر، به‌صورت رنگ خوراکی در مواد غذایی و مواد آرایشی مطابق با دز مطمئن Ferin و همکاران (۲۰۰۷)؛ Oberdorster و همکاران (۱۹۹۴)؛ Schulz و همکاران (۲۰۰۲) و برای جلوگیری از عبور نور UV و ایجاد ظاهری سفید مورد استفاده قرار می‌گیرد (Feng و همکاران، ۲۰۰۷؛ Song و همکاران، ۲۰۰۷؛ Tao و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر این دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند باعث ایجاد فیلم‌هایی بر پایه بیوپلیمری شود که در نتیجه فعالیت‌های فتوکاتالیستی آن باعث محافظت مواد غذایی در حضور نور UV شود (Zhou و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rajh و همکاران، ۱۹۹۹). با این حال،



اولین همایش آبرزی پروری نوین-چالاش‌ها و فرصت‌ها
گرگان-دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی-۳۰ مهر و ۱ آبان ۹۳



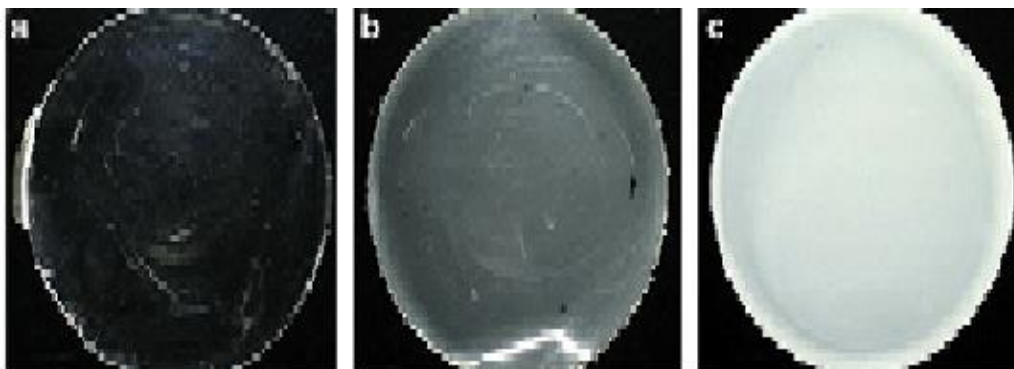
ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به آسانی در سطح فیلم ساخته شده متراکم می‌شوند و بر خواص فیلم تأثیر می‌گذارد (Zhou و همکاران، ۲۰۰۹). نانو کامپوزیت‌های زیستی این توانایی را دارند که با توجه به قابلیت آن‌ها در کاهش افت رطوبت محصول، کاهش اکسیداسیون و تغییر رنگ، بهبود ظاهر محصول، کیفیت محصولات گوشتی، مرغ و ماهی تازه، فریز شده و عمل‌آوری شده را بهبود بخشد (Akbari و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین در ادامه به مرور آخرین مطالعات و نتایج آن‌ها پیرامون نانو کامپوزیت‌های زیستی تقویت‌شده با نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم پرداخته می‌شود.



فیلم‌های نانو کامپوزیتی زیستی حاوی دی‌اکسید تیتانیوم

مطالعات متعددی پیرامون اثر افزوده نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به کامپوزیت‌ها و فیلم‌ها انجام شده است. از جمله این فیلم‌ها می‌توان به فیلم LDPE اشاره کرد که اثر ضد میکروبی فتوکاتالیستی آن موردبررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که با اضافه کردن نانو دی‌اکسید تیتانیوم به فیلم LDPE در حضور نور UV تعداد باکتری‌های (*Rhodotorula mucilaginosa* و *Pseudomonas aeruginosa*) نسبت به فیلم LDPE-TiO₂ بدون اعمال نور UV و LDPE بدون نانوذره در حضور UV کاهش چشم‌گیری پیدا کرده است (Bodaghi و همکاران، ۲۰۱۳) که دلیل آن جذب نور UV با طول‌موج بالاتر از ۲۵۰ نانومتر توسط این نانوذره است که در نتیجه آن رادیکال هیدروکسیل (OH) و گونه‌های اکسیژن غیرفعال (ROS) تولید شده و در فضای فیلم پخش می‌شود و باعث غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها می‌شود که با تحقیقات صورت گرفته توسط Duffy و همکاران، (۲۰۰۴)؛ Fujishima و همکاران (۱۹۹۹)؛ Kim و همکاران (۲۰۰۳)؛ Maneerat و Hayata (۲۰۰۶) همخوانی دارد. همچنین تحقیقات صورت گرفته توسط Matsunaga و همکاران (۱۹۸۵) نشان می‌دهد که نانوذره تیتانیوم دی‌اکسید به محض دریافت نور UV باعث از بین رفتن *Escherichia coli* می‌شود که این عمل حاکی از خاصیت فتوکاتالیستی نانو دی‌اکسید تیتانیوم است. همچنین افزودن مقادیر مختلف نانو دی‌اکسید تیتانیوم (۰، ۱، ۰، ۲۵، ۰، ۵، ۱ و ۲ درصد) به فیلم پروتئین آب‌پنیر نشان داد که با افزایش میزان نانوذره در فیلم، عبور نور فلئوئور سنت و نور UV از فیلم کاهش پیدا می‌کند به طوری که با اضافه کردن ۲ درصد از نانوذره، بیش از ۷۰ درصد از نور مرئی و بیش از ۹۰ درصد از نور UV توسط این فیلم دفع می‌شود. از طرفی با افزایش مقدار نانو در فیلم حاوی پروتئین آب‌پنیر، در مقاومت کششی فیلم کاهش دیده شد (Li و همکاران، ۲۰۱۱).

مطالعات افزودن نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به فیلم kefiran-whey protein که با درصدهای ۱، ۳ و ۵ درصد به این فیلم اضافه شد نشان داد که با افزودن مقدار بیشتر این نانو به فیلم خواص رنگی تغییر کرده و شفافیت نانو کامپوزیت افزایش می‌یابد (Zolfi و همکاران، ۲۰۱۴).



تصویر ۱. عکس‌هایی از فیلم WPI خالص (a) و فیلم کامپوزیتی TiO₂/WPI حاوی ۰,۱ درصد TiO₂ (b) و فیلم کامپوزیتی TiO₂/WPI حاوی ۲ درصد TiO₂ (c).

همچنین مطالعات اثر افزوده نانو دی‌اکسید تیتانیوم به فیلم kefiran-WPI نشان داد که با افزایش مقدار افزوده این نانو به فیلم، استحکام کششی افزایش پیدا می‌کند که این نشان‌دهنده نقش پلاستی سایز ری نانو دی‌اکسید تیتانیوم در فیلم kefiran-WPI است (Zolfi و همکاران، ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات انجام‌شده نشان داد که به کار بردن نانوذره فلزی دی‌اکسید تیتانیوم در فیلم‌ها و کامپوزیت‌ها باعث بهبود ویژگی‌های کاربردی فیلم از جمله عبور نور UV و کاهش بار میکروبی در مواد غذایی بسته‌بندی شده گردید که این امر به دلیل خاصیت فتوکاتالیستی نانو دی‌اکسید تیتانیوم و به دلیل حضور نور UV می‌باشد. با اضافه کردن این نانوذره به فیلم‌ها و کامپوزیت‌ها، نفوذپذیری این فیلم‌ها در برابر بخار آب و گازها کاهش چشم‌گیری داشت از طرفی با افزایش مقدار افزوده نانو در فیلم‌ها و کامپوزیت‌ها علاوه بر اینکه این ترکیب باعث افزایش شفافیت فیلم‌ها می‌شود خاصیت پلاستی سایز ری نیز به فیلم داد و باعث افزایش مقاومت کششی فیلم‌ها شد. این ویژگی‌ها سبب شده تا فیلم‌ها و کامپوزیت‌های حاوی نانو دی‌اکسید تیتانیوم کارایی بالایی در بسته‌بندی محصولات غذایی به‌ویژه آبریان به دلیل درصد فساد بالایی که دارند، داشته باشند.



منابع

احمدآباد. خ. م، رضایی. م، اجاق. س. م. اثر اسید آسکوربیک به همراه پوشش پروتئین آب‌پنیر بر ماندگاری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در دمای یخچال: ارزیابی بار میکروبی و ویژگی‌های شیمیایی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۹۱، ص ۷۸-

۶۹

Ahmad, M., Benjakul, S., Sumpavapol, P., and Nirmal, N. P. (2012). Quality changes of sea bass slices wrapped with gelatin film incorporated with lemongrass essential oil. *International Journal of Food Microbiology*, 155(3), 171-178.

Akbari, Z., Ghomashchi, T., and Moghadam, S. (2007). Improvement in food packaging industry with biobased nanocomposites. *International Journal of Food Engineering*, 3(4), 1120-1133.

Appendini, P., and Hotchkiss, J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, 113e126.

Aubourg, S. P., Piñeiro, C., Gallardo, J. M., and Barros-Velazquez, J. 2005. Biochemical changes and quality loss during chilled storage of farmed turbot (*Psetta maxima*). *Food Chem*, 90: 445-452.

Bodaghi, H., Mostofi, Y., Oromiehie, A., Zamani, Z., Ghanbarzadeh, B., Costa, C., Conte, A., Nobile, M. A. D. (2013). Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO₂ nanocomposite food packaging film by in vitro and in vivo tests. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 702-706.

Devlieghere, F., Vermeiren, L., and Debevere, J. (2004). New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14(4), 273-285.

Duffy, E. F., Touati, F. A., Kehoe, S. C., McLoughlin, O. A., Gill, L. W., Gernjak, W., et al. (2004). A novel TiO₂-assisted solar photocatalytic batch-process disinfection reactor for the treatment of biological and chemical contaminants in domestic drinking water in developing countries. *Solar Energy*, 77(5), 649e655.

Cao, L., Si, J. Y., Liu, Y., Sun, H., Jin, W., Li, Z., Zhao, X. H., Pan, R. L. (2009). Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant properties of *Mosla chinensis* Maxim. *Food Chemistry*, 115(3), 801-805.

Chaurasia, V., Chand, N., and Bajpai, S. K. (2010). Water sorption properties and antimicrobial action of zinc oxide nanoparticles-loaded cellulose acetate films. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 47, 309e317.

Feng, X. X., Zhang, L. L., Chen, J. Y., Guo, Y. H., Zhang, H. P., and Jia, C. I. (2007). Preparation and characterization of novel nanocomposite films formed from silk fibroin and nano-TiO₂. *International Journal of Biological Macromolecules*, 40(2), 105e111.

Ferin, J., Oberdörster, G., and Peney, D. P. (1992). Pulmonary retention of ultrafine and fine particles in rats. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 6 (5), 535e542.

Fujishima, A., Hashimoto, K., and Watanabe, T. (1999). TiO₂ photocatalysis fundamentals and applications. Japan, Tokyo: Best Knowledge Center.



- Ghanbarzadeh, B., and Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48, 44–49.
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., and Oromiehie, A. (2011a). Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran. *Carbohydrate Polymers*, 84, 477-483.
- Gonzalez-Gutierrez, J., Partal, P., Garcia-Morales, M., and Gallegos, C. (2010). Development of highly-transparent protein/starch-based bioplastics. *Bioresource Technology*, 101, 2007-2013.
- Gram, L., and Dalgaard, P. 2002. Fish spoilage bacteria – problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13: 262–266.
- Gram, L., and Huss, H.H. 1996. Microbiological spoilage of fish and fish products. I. *J. Food Microb*, 33: 121–137.
- Kim, B., Kim, D., Cho, D., and Cho, S. (2003). Bactericidal effect of TiO₂ photocatalyst on selected food-borne pathogenic bacteria. *Chemosphere*, 52(1), 277e281.
- Kose, S., Karacam, H., Kutlu, S., and Boran, M. 2001. Investigating the shelf- life of the anchovy dish called Hamsikusu. in frozen storage at -18±1°C. *Turk. J. Vet. Anim Sci.* 25: 651-656.
- Lin C. C., Lin C. S. 2004. Enhancement of the storage quality of frozen bonito fillet by glazing with tea extracts. *Food Chemistry*. 2004; 16(2):169-175.
- Li, Y., Jiang, Y., Liu, F., Ren, F., Zhao, G., and Leng, X. (2011). Fabrication and characterization of TiO₂/whey protein isolate nanocomposite film. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1098-1104.
- Losada, V., Barros-Velazquez, J., Gallardo, J.M., and Aubourg, S. P. 2004. Effect of advanced chilling methods on lipid damage during sardine (*Sardina pilchardus*) storage. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 106:844-850.
- Mielnik, M.B., Herstad, O., Lea, P., Nordal, J., and Nilsson, A. 2002. Sensory quality of marinated frozen stored chicken thighs as affected by dietary fish fat and vitamin E. *International Journal of Food Science and Technology*. 37:29-39.
- Maneerat, C., and Hayata, Y. (2006). Antifungal activity of TiO₂ photocatalysis against *Penicillium expansum* in vitro and in fruit tests. *International Journal of Food Microbiology*, 107(2), 99e103.
- Matsunaga, T., Tomada, R., Nakajima, T., and Wake, H. (1985). Photochemical sterilization of microbial cells by semiconductor powders. *FEMS Microbiology Letters*, 29(1e2), 211e214.
- Oberdorster, G., Ferin, J., and Lehnert, B. E. (1994). Correlation between particle size, in vivo particle persistence, and lung injury. *Environmental Health Perspectives*, 102 (5), 173e179.
- Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., and Hosseini, S. M. H. (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, 122(1), 161-166.
- Pagella, C., Spigno, G., and De Faveri, D. M. (2002). Characterization of starch based edible coatings. *Transactions IChemE*, 80C, 193e198.



- Rhim J., and Ng P. 2007. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47: 411-433.
- Rajh, T., Nedeljkovic, J. M., Chen, L. X., Poluektov, O., Thurnauer, M. C., and Thurnauer, M. C. (1999). Improving optical and charge separation properties of nanocrystalline TiO₂ by surface modification with vitamin C. *Journal of Physical Chemistry B*, 103(18), 3515e3519.
- Schulz, J., Hohenberg, H., Pflücker, F., Gärtner, E., Will, T., Pfeiffer, S., et al. (2002). Distribution of sunscreens on skin. *Advanced Drug Delivery Review*, 54(1), 157e163.
- Serdaroglu, M., and Felekoglu, E. 2005. Effects of using rosemary extract and onion juice on oxidative stability of sardine (*Sardina pilchardus*) mince. *Journal of Food Quality*. 28:109-120
- Serdaroglu, M., and Yildiz-Turp, G. 2004. The effects of ascorbic acid, rosemary extract and α -tocopherol / ascorbic acid on some quality characteristics of frozen chicken patties. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology*. 7(1).
- Song, X.-L., Zhou, J.-H., Zhu, C.-H., Ye, J.-Y., and Huang, W. (2007). Preparation of composite film of soy protein and titania nanoparticles and its properties. *Modern Chemical Industry*, 27, 40e43.
- Sorrentino, A., Gorrasi, G., and Vittoria, V. (2007). Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 84-95.
- Taghizadeh Andevari, Gh. and Rezaei M., 2011. Effect of gelatin coating incorporated with cinnamon oil on the quality of fresh rainbow trout in cold storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 46: 2305-2311.
- Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A., and Cliver, D. O. (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*, 21(9), 1199-1218.
- Tao, Y., Pan, J., Yan, S., Tang, B., and Zhu, L. (2007). Tensile strength optimization and characterization of chitosan/TiO₂ hybrid film. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 138(1), 84e89.
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Food Science and Technology*, 14, 71-78.
- Viscidi, K. A., Dougherty, M. P., Briggs, J., and Camire, M. E. (2004). Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals. *LWT - Food Science and Technology*, 37(7), 789-796.
- Yu, L., Scanlin, L., Wilson, J., and Schmidt, G. 2002. Rosemary extracts as inhibitors of lipid oxidation and color change in cooked Turkey products during refrigerated storage. *Journal Food Sci.* 67(2):582-585.
- Zolfi, M., Khodaiyan, F., Mousavi, M., and Hashemi, M. (2014). The improvement of characteristics of biodegradable films made from kefiran-whey protein by nanoparticle incorporation. *Carbohydrate Polymers*, 109(0), 118-125.
- Zhou, J. J., Wang, S. Y., and Gunasekaran, S. (2009). Preparation and characterization of whey protein film incorporated with TiO₂ nanoparticles. *Journal of Food Science*, 74(7), 50e56.