



کاربرد بسته‌بندی هوشمند در حفظ ایمنی و کیفیت فراورده‌های گوشتی در زنجیره توزیع و مصرف

وجیهه نیک‌زاده^{۱*}، ناصر صداقت^۲

*۱- دانشجوی دکتری تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

Vnikzade@yahoo.com

چکیده: امروزه در پاسخ به تقاضای مصرف‌کنندگان، توسعه بسته‌بندی‌های جدید با عملکرد بهتر نظیر بسته‌بندی‌های هوشمند از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. این سیستم بسته‌بندی قادر به انجام عملکردهای هوشمند در جهت افزایش زمان ماندگاری، افزایش ایمنی و بهبود کیفیت فراورده است. اخیراً انواع مختلفی از سیستم‌های بسته‌بندی، برای مواد غذایی گوشتی بخصوص گوشت‌های پخته شده و تازه و فراورده‌های گوشتی، در دسترس هستند. اما از آنجاییکه فراورده‌های گوشتی بسیار فسادپذیر بوده و نظارت بر کیفیت و ایمنی آنها در زنجیره عرضه از اهمیت زیادی برخوردار است، لذا در این مقاله مروری بر نقش بسته‌بندی هوشمند در تسهیل جریان مواد و اطلاعات در چرخه عرضه فراورده‌های گوشتی خواهیم داشت. در این راستا انواع بسته‌بندی‌های هوشمند شامل حامل‌های اطلاعات که برای ذخیره‌سازی و انتقال اطلاعات به کار برده می‌شوند و شناساگرهای بسته‌بندی که برای کنترل محیط خارجی استفاده می‌شوند، و کاربرد آنها در صنعت گوشت بررسی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی هوشمند، گوشت، بهبود کیفیت، افزایش ایمنی



مقدمه:

گوشت یکی از مهم‌ترین منابع پروتئین حیوانی محسوب می‌شود. غنی بودن گوشت از پروتئین‌های ارزشمند حاوی اسیدهای آمینه ضروری نظیر هیستیدین، ایزولوسین، لوسین، متیونین، تربیتوفان، همچنین اسیدهای چرب نظیر اسید لینولئیک، اسید لینولنیک و اسید آراشیدونیک، مواد معدنی نظیر فسفات‌ها و سولفات‌ها و ویتامین‌ها بخصوص ویتامین‌های گروه B و هیدرات کربن (گلیکوژن)، نشان دهنده ارزش و اهمیت این فرآورده مهم در تغذیه انسان است (۱۱).

مصرف سرانه گوشت به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین این عوامل درآمد سرانه و عادات غذا خوردن ملل می‌باشد. در بعضی از کشورها نیز مذهب عامل مهمی است. مصرف سرانه گوشت در آمریکا بالا و در حدود ۴۵ کیلوگرم می‌باشد، در حالی که در اکثر کشورهای اروپایی مصرف سرانه گوشت کمتر از ۳۰ کیلوگرم است و در چین مصرف سرانه گوشت کمتر از ۴ کیلوگرم می‌باشد. مصرف سرانه گوشت قرمز در ایران طبق برآورد کارشناسان در حدود ۱۴-۱۳ کیلوگرم است (۱۰).

اگرچه بسته‌بندی‌های مرسوم، در توسعه سریع سیستم‌های توزیع مواد غذایی سهیم بوده‌اند، اما این کافی نیست، زیرا جوامع امروزی مدام در حال پیچیده شدن هستند. در پاسخ به تقاضای مصرف‌کنندگان برای مواد غذایی حداقل فرآیند شده با کمترین مواد نگهدارنده، الزامات قانونی بیشتر، جهان شمول شدن عرضه، نگرانی در مورد ایمنی مواد غذایی و تهدید اخیر بیوتروریسم مواد غذایی، توسعه بسته‌بندی‌های جدید با عملکردهای بهتر از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. بسته‌بندی هوشمند نتیجه تفکر خارج از چهارچوب و گسترده می‌باشند (۳).
بر این اساس، در این مقاله ابتدا به مرور بسته‌بندی‌های رایج در صنعت گوشت و سپس به معرفی سیستم‌های نوآورانه هوشمند، کاربرد و نقش آنها در حفظ ایمنی و کیفیت فرآورده‌های گوشتی، در زنجیره توزیع و مصرف خواهیم پرداخت.

بسته‌بندی گوشت تازه و فراوری شده:

هدف از بسته‌بندی در ابتدا حفاظت از ماده غذایی در طی پروسه توزیع می‌باشد. بسته‌بندی باید به جلوگیری از فساد، کاهش وزن و افزایش مقبولیت مصرف‌کننده، کمک کند. انواع رایج بسته‌بندی برای گوشت و فرآورده‌های گوشتی عبارتند از بسته‌بندی خلأ و اتمسفر اصلاح شده. بسته‌بندی خلأ برای قطعات گوشت تازه و سرد شده گاو، عمدتاً برای افزایش زمان رسیدن گوشت، انجام می‌شود. قطعات گوشت گاو در صورتی که فاقد اکسیژن باقی مانده بوده و در دمای نگهداری ۱- درجه سانتی‌گراد نگاه داشته شوند، می‌توانند برای چندین هفته (حداکثر سه ماه)، در بسته‌بندی خلأ، حفظ گردند.

برای بسته‌بندی گوشت و فرآورده‌های گوشتی به صورت اتمسفر اصلاح شده، مواد قابل کاربرد شامل فیلم‌های چند لایه ضد گاز هستند که برای نمونه تشکیل شده‌اند از PA، PE و لایه‌های محافظتی. مخلوط گازی که متداولاً به کار برده می‌شود، ۳۰-۲۰ درصد CO_2 و ۸۰-۷۰ درصد N_2 است.

فیلم‌های بسته‌بندی قابل استفاده در صنعت گوشت می‌توانند بصورت زیر تقسیم‌بندی شوند: فیلم‌های سلولزی، فیلم‌های پلیاستیک و فویل آلومینیوم. آنها همچنین می‌توانند بر حسب هدف بصورت مونوفیلیم یا فیلم‌های دولایه یا چند لایه به شکل لمینیت شده باشند. فیلم‌های تک لایه: متداول‌ترین کاربرد فیلم‌های تک لایه پیچاندن قطعات گوشت، فرآورده‌های گوشتی، قطعات فاقد استخوان گوشت یا حتی لاشه کامل است. این فیلم‌ها معمولاً خودچسب بوده، یعنی در نواحی که روی هم قرار می‌گیرند، به هم می‌چسبند. از اینرو حفاظت خوبی را در برابر آلودگی خارجی فراهم آورده و تاحدی از تبخیر ممانعت می‌کنند، اما تا زمانی که محکم دوخت نشده‌اند، هیچ محافظتی در مقابل اکسیژن ندارند. فویل‌های دارای ویژگی خودچسبی خوب شامل PA، PE، PVC و PP هستند.

فیلم‌های چند لایه: تمامی دیگر فیلم‌های مورد استفاده برای بسته‌بندی گوشت، به عنوان حصارهای قوی اکسیژن و بخار آب طراحی می‌شوند. یک ترکیب خیلی کارآمد PA/PE است. PA به عنوان لایه خارجی، برای مثال برای فیلم‌های بسته‌های تحت خلأ به کار می‌رود. PA تا حدی نسبت به اکسیژن مقاوم است، اما به بخار آب نسبتاً نفوذپذیر است. PE خواص عکس دارد، یعنی ضد بخار آب بوده اما به اکسیژن نفوذپذیر است. ترکیب هر دوی اینها نظیر یک فیلم چند لایه، در مقابل اکسیژن و بخار آب بسیار مقاوم است. علاوه بر این، PE که به عنوان لایه داخلی به کار می‌رود، دارای ویژگی‌های ترموپلاستیک مناسب است و بنابراین برای دوخت حرارتی خوب است. ترکیب PA/PE ساده‌ترین ساختار برای یک فیلم چند لایه است. صنعت بسته‌بندی از فیلم سه لایه به عنوان حصار محکم اکسیژن، استفاده می‌کند (۱۲).

تعریف بسته‌بندی هوشمند:

بسته‌بندی هوشمند سیستمی است که قادر به انجام عملکردهای هوشمندانه (نظیر تشخیص، حس کردن، ثبت کردن، ردیابی، ارتباط و به کار بردن منطق علمی) به منظور تسهیل تصمیم‌گیری در جهت افزایش زمان ماندگاری، افزایش ایمنی، بهبود کیفیت، فراهم کردن اطلاعات و هشدار درباره مشکلات احتمالی است. خصوصیت منحصر بفرد IP^۱ در قابلیت آن برای ارتباط است، از آنجاییکه بسته‌بندی و ماده غذایی در سرتاسر چرخه عرضه

^۱Intelligent Packaging



مداوما با هم حرکت می‌کنند، بسته‌بندی بهترین همراه ماده‌غذایی بوده و برای ارتباط با ماده‌غذایی، در بهترین شرایط قرار دارد. بر اساس این تعاریف، یک بسته‌بندی اگر دارای توانایی ردیابی فرآورده، حس کردن محیط داخلی و خارجی بسته و سایر ملاحظات باشد، هوشمند است (۳).

انواع سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند برای گوشت و فرآورده‌های بر پایه عضله:

تجهیزات بسته‌بندی هوشمند در دو نوع اساسی وجود دارند: حامل‌های اطلاعات (نظیر نوارهای‌های تشخیص فرکانس رادیویی (RFID))^۲ که برای ذخیره‌سازی و انتقال اطلاعات استفاده می‌شوند و شناساگرهای بسته‌بندی (نظیر شناساگرهای زمان-دما، سنسورهای گاز، بیوسنسورها) که برای کنترل محیط خارجی به کار برده می‌شوند (۳). امروزه اطلاعات نسبتاً کمی در رابطه با بسته‌بندی هوشمند بخصوص بسته‌بندی هوشمند فرآورده‌های گوشتی، در مقالات علمی، قابل دسترس است. ایده‌های بسیاری پیشنهاد شده است، تعداد بیشماری کاربردهای به ثبت رسیده بایگانی شده‌اند و تحقیقات زیادی انجام گرفته است، اما تنها کاربردهای تجاری بسیار اندکی به نتیجه رسیده‌اند. از اینرو، هر بحثی بر روی بسته‌بندی هوشمند فرآورده‌های گوشتی تا حدی ذاتاً غیر قطعی است. بنابراین، بایستی تلاش کرد تا انواع، مفاهیم و کاربردهای بسته‌بندی هوشمند بر اساس استفاده و پتانسیل آنها در بسته‌بندی فرآورده‌های غذایی عضله‌ای، را توصیف نمود (۲).

۱- سنسورهای گاز:

استفاده از این سیستم‌ها در شرایط کاربرد تکنیک‌های بسته‌بندی MAP و خلأ، می‌باشد. در بسته‌بندی MAP پروفیل اکسیژن و دی‌اکسیدکربن می‌تواند در طی زمان تغییر کرده و تحت تأثیر نوع فرآورده، تنفس، مواد بسته‌بندی، سایز بسته، نسبت‌های حجمی، شرایط نگهداری، سالم بودن بسته و غیره قرار بگیرد. تعیین گازهای شاخص فضای بالای بسته می‌تواند سبب تعیین سریع و ارزان قیمت کیفیت فرآورده گوشتی و صحت بسته‌بندی آن شود. یک وسیله برای انجام این کار، تولید بسته‌بندی هوشمند در ترکیب با تکنولوژی سنسور گازی، می‌باشد (۲). سیستم‌هایی که فعلاً برای تشخیص گاز در دسترس هستند، شامل سنسورهای آمپرومتریک اکسیژن، سنسورهای پتانسیل سنج دی‌اکسیدکربن، ترانزیستورهای نیمه هادی اثر میدانی اکسید فلزی، پلیمرهای آلی هادی و سنسورهای کریستال فیزوالکتریک، می‌باشند. سیستم‌های رایج قدیمی برای سنسورهای اکسیژن بر پایه روش‌های الکتروشیمیایی، دارای محدودیت‌هایی هستند. این محدودیت‌ها شامل فاکتورهای نظیر مصرف آنالیت (اکسیژن)، حساسیت متقابل دی‌اکسیدکربن و سولفید هیدروژن و گرفتگی (رسوب گرفتن) غشاهای سنسور، می‌باشند. همچنین در این سیستم‌ها، آنالیز با تخریب بسته‌بندی همراه است. در سال‌های اخیر، شماری از ابزارآلات و مواد، برای سنسور نوری اکسیژن، شرح داده شده است. این قبیل سنسورها معمولاً شامل یک ماده نیمه هادی هستند که بر اساس اصل فروکش‌کنندگی روشنایی یا تغییرات جذبی ایجاد شده بوسیله تماس مستقیم با آنالیت، کار می‌کنند. این سیستم‌ها یک تکنیک غیرحضور برای آنالیز گاز از میان مواد نیم‌شفاف را ارائه کرده و همینطور بصورت بالقوه مناسب کاربردهای بسته‌بندی هوشمند هستند. سنسور نیمه هادی خنثی است و آنالیت را مصرف نموده یا دستخوش دیگر واکنش‌های شیمیایی نمی‌شود. سنسورهای نوری شیمیایی از طریق تشخیص تخریب فرآورده یا آلودگی میکروبی بوسیله احساس و درک آنالیت گازی نظیر سولفید هیدروژن، دی‌اکسیدکربن و آمین‌ها، می‌توانند دارای پتانسیل کمک رسانی به سیستم‌های کنترل کیفیت باشند.

روش‌های حسی نوری شیمیایی شامل موارد ذیل می‌شوند: ۱- سیستم بر پایه فلئورسانس با استفاده از یک نمایش‌گر حساس به pH ۲- درک کلرومتری بر پایه جذب که از طریق یک نمایش‌گر دیداری دریافت می‌گردد و ۳- روش انتقال انرژی با استفاده از تشخیص فاز فلوریمتری. روش آخر، از طریق تطابق با تکنولوژی اسبق رشد یافته ادراک اکسیژن، امکان ترکیب اندازه‌گیری‌های اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را در یک سنسور تک، فراهم می‌آورد. اما اکثر سنسورهای دی‌اکسیدکربن برای کاربردهای بیومدیال توسعه یافته است و استفاده بالقوه از سنسورهای دی‌اکسیدکربن موجود، برای کاربردهای بسته‌بندی موادغذایی هنوز تاحدی ناشدنی است (۲).

سنسورهای اکسیژن بر پایه فلئورسانس: تا این زمان، سنسورهای اکسیژن بر پایه فلئورسانس، پیشرفته‌ترین و محتمل‌ترین سیستم‌ها را برای اندازه‌گیری از راه دور گازهای فضای بالای بسته‌بندی در فرآورده‌های گوشتی بسته‌بندی شده، ارائه می‌نمایند. رینجر^۳ و همکاران (۱۹۹۶) در ابتدا مفهوم استفاده از رنگ‌های لومینسان کوئچ شده بوسیله اکسیژن را به عنوان نمایش‌گرهای غیرتخریبی در کاربردهای بسته‌بندی موادغذایی، معرفی نمودند. تعدادی از نمونه‌های اولیه حس‌کننده‌های اکسیژن توسعه یافته‌اند و انتظار می‌رود که در آینده نزدیک در مقیاس‌های بزرگ تجاری کاربردی شوند. این سنسورها می‌توانند به ارزانی تولید شوند، مصرف‌شدنی هستند و به هنگام استفاده در ترکیب با تجهیزات دقیق، سبب تعیین سریع غلظت اکسیژن می‌گردند (۲).

مؤلفه مؤثر یک سنسور اکسیژن بر پایه فلئورسانس معمولاً شامل یک رنگ تأخیری^۴ فلئورسان یا فسفرسان انکیسوله شده در یک ماتریکس پلیمری جامد، است. پوشش پلیمر-رنگ، به عنوان یک پوشش فیلم نازک بر روی یک ساپورت جامد مناسب، به کار برده می‌شود. اکسیژن ملکولی موجود در فضای بالای بسته‌بندی، از طریق انتشار ساده در پوشش حساس نفوذ کرده و بصورت دینامیکی، یعنی مکانیسم کلزیونال^۵، لومینسانس را فرو می‌نشاند. اکسیژن از طریق اندازه‌گیری تغییرات در پارامترهای لومینسانس حاصل از عنصر حس‌کننده اکسیژن در تماس با نمونه گاز یا مایع، با

²Radio Frequency Identification

³Reiniger

⁴Long-delay

⁵Collisional



استفاده از یک درجه بندی (کالیبراسیون) از پیش تعیین شده، اندازه گیری می شود. این فرآیند برگشت پذیر و ساده است: در واکنش های فوتوشیمیایی مورد بحث، نه رنگ مصرف می شود و نه اکسیژن، هیچ فرآورده جانبی تولید نمی گردد و کل چرخه قابل تکرار است (۲).
۲- بیوسنسورها:

درک سریع، دقیق و درخت، برای آنالیز در محل آلوده کننده ها، تعیین و تشخیص پاتوژن ها و کنترل پارامترهای کیفی غذایی پس از فرآوری، بصورت یک نیاز تلقی می گردد. در کل، بیوسنسور یک وسیله آنالیز کننده فشرده است که اطلاعات مربوط به واکنش های بیوشیمیایی را تشخیص داده، ثبت نموده و منتقل می سازد. این وسیله هوشمند دارای دو جزء اولیه است: یک بیورسپتور^۶ که آنالیت هدف را تشخیص می دهد و یک مبدل که سیگنال های بیوشیمیایی را به پاسخ الکتریکی قابل اندازه گیری تبدیل می کند. بیورسپتور یک ماده ارگانیک یا بیولوژیکی است، نظیر یک آنزیم، آنتی ژن، میکروب، هورمون یا اسید نوکلئیک. مبدل، بر اساس پارامترهای مورد اندازه گیری، می تواند به فرم های مختلفی (نظیر الکتروشیمیایی، اپتیکال، صوتی) وجود داشته باشد (۳).

روش های بر پایه تکنولوژی بیوسنسور، از دیگر روش های نمایان گر تازگی که ممکن است در سیستم های بسته بندی هوشمند گوشت کاربرد تجاری یابند، اخیراً توسعه یافته هستند. در حال حاضر دو سیستم بیوسنسور تجاری قابل دسترس هستند. ToxinGuardTM توسعه یافته توسط Toxin Alert (کانادا)، یک سیستم تشخیص دیداری است که آنتی بادی ها را در بسته بندی پلاستیکی بر پایه پلی اتیلن ترکیب کرده و قادر به شناسایی گونه های سالمونلا، گونه های کمپیلوباکتر، E. coli 0517 و گونه های لیستریا است. Food Sentinel SystemTM (تکنولوژی SIRA، کالیفرنیا، آمریکا) یک سیستم بیوسنسور با توانایی تشخیص مداوم آلودگی از طریق واکنش های ایمونولوژیکی اتفاق افتاده در بخشی از یک بارکد است. بارکد در حضور باکتری آلوده کننده ناخوانا می گردد (۲).

۳- شناساگرها:

شناساگر سالم بودن بسته^۷: به استثنای بسته بندی MAP که حاوی مقادیر بالای اکسیژن برای گوشت تازه (برای افزایش رنگ) است، بسیاری از مواد غذایی در اتمسفر دارای اکسیژن پایین (۲-۰ درصد) بسته بندی می شوند. در این موارد نشت معمولاً سبب افزایش چشمگیر غلظت اکسیژن می گردد. تعداد زیادی شناساگر دیداری اکسیژن حاوی رنگ های اکسایش-کاهش اختراع شده اند. این تجهیزات به عنوان شناساگرهای نشت به ترتیب در استیک های تکه ای و قطعات پیتزای گوشت بسته بندی شده بصورت MA، آزمون شده اند. معایب این تجهیزات عبارت است از حساسیت بالا (تقریباً ۰/۱ درصد غلظت اکسیژن برای تغییر رنگ نیاز است، یعنی شناساگرها به اکسیژن باقی مانده در بسته MA حساس هستند) و برگشت پذیری (در جایی که اکسیژن افزایش یافته ناشی از نشت، در طی رشد میکروبی متعاقب مصرف گردد، نامطلوب است) (۲).

شناساگر تازگی: نمایش گرهای تازگی اطلاعات کیفی مستقیمی از فرآورده فراهم می کنند که نتیجه رشد میکروبی یا تغییرات شیمیایی در فرآورده غذایی می باشد. کیفیت میکروبیولوژیکی ممکن است بواسطه واکنش های میان شناساگرهای داخل بسته و متابولیت های رشد میکروبی، تشخیص داده شود. تغییر در غلظت اسیدهای آلی نظیر n-بوتیرات، l-لاکتیک اسید d-لاکتات و استیک اسید در طی نگهداری به عنوان متابولیت های شاخص برای تعدادی از فرآورده های گوشتی، پتانسیلی را فراهم می آورند. شناساگرهای pH بر پایه رنگ، دارای پتانسیل استفاده به عنوان شاخص هایی از این متابولیت های میکروبی هستند.

اتانول به مانند لاکتیک اسید و استیک اسید، یک شاخص مهم از متابولیسم تخمیر لاکتیک اسید باکتری ها است. دی اکسید کربن تولید شده در طی رشد میکروبی در بسیاری موارد می تواند شاخصی از کاهش کیفیت باشد. در فرآورده های گوشتی بسته بندی شده بصورت MA حاوی غلظت های بالای دی اکسید کربن (معمولاً ۸۰-۲۰ درصد)، تشخیص رشد میکروبی بوسیله تغییرات ایجاد شده در مقدار دی اکسید کربن، گیج کننده است، در حالی که کاربرد شناساگرهای رنگ pH ممکن است در دیگر سیستم های بسته بندی گوشت، مجوز گرفته باشد.

هیدروژن سولفید، فرآورده حاصل از تخریب سیستین، با بوی بد شدید و سطوح آستانه پایین، بوسیله شماری از گونه های باکتریایی، در طی فساد گوشت تولید می شود. این گاز به هنگام باند شدن با میوگلوبین رنگ سبز سولفمیوسین^۸ را تشکیل می دهد که این رنگ اساس توسعه شناساگر تازگی بر پایه میوگلوبین و تثبیت شده بر روی آگارز است (۲). اسمولندر و همکاران (۲۰۰۲)، از شناساگرهای بر پایه میوگلوبین برای ارزیابی تازگی قطعات جوجه عمل آوری نشده، استفاده نمودند. در ارزیابی مقدماتی مبنای شناساگر، نتایج امیدبخشی برای شناساگرهای حساس به H₂S، بر پایه تغییرات رنگ قابل تشخیص میوگلوبین تثبیت شده بر آگارز، حاصل شد. تغییر رنگ شناساگرهای قرار گرفته در بسته های حاوی قطعات عمل آوری نشده، با کیفیت میکروبی و حسی نمونه ها همبستگی داشته و شروع تغییر رنگ همزمان با عدم پذیرش حسی عطر و بو، اتفاق می افتد (۶).

شناساگرهای زمان-دما: دما معمولاً مهمترین فاکتور محیطی است که همانند رشد میکروبی، بر کینتیک تنزلات فیزیکی و شیمیایی در فرآورده های غذایی، مؤثر است. شناساگرهای زمان-دما (TTIs)^۹ بسیار مفید هستند، زیرا در زمانی که مواد غذایی در معرض دماهای نامناسب قرار گیرند، می توانند به مصرف کننده اطلاع دهند. (۱). TTIها معمولاً برچسب های کوچک خودچسبی هستند که بر روی ظروف حمل و نقل یا بسته های تک، چسبانده می شوند. این برچسب ها دارای نشانه های بصری از پیشینه دمایی، در طی توزیع و نگهداری هستند، که بخصوص برای هشدار در مورد دماهای نامناسب برای فرآورده های غذایی سرد شده یا فریز شده، مفید می باشند. همچنین این شناساگرها برای تخمین باقیمانده زمان ماندگاری

⁶Bioreceptor

⁷Integrity Indicator

⁸Sulphyocin

⁹Time Temperature Indicator



فرآورده فسادپذیر به کار برده می‌شوند (۳). TTI‌هایی که اخیراً بصورت تجاری در دسترس بوده‌اند شامل شماری از سیستم‌های بر پایه انتشار^{۱۰}، بر پایه آنزیم^{۱۱} و بر پایه پلیمر^{۱۲} بوده‌اند. تمامی این‌ها دارای پتانسیل کاربرد در فرآورده‌های گوشتی می‌باشند.

TTI‌های بر پایه انتشار: 3M Monitor Mark[®] (شرکت 3M، آمریکا)، یک شناساگر است که وابسته به انتشار استر رنگی اسید چرب در امتداد ویک^{۱۳} (افروزه) متخلخل ساخته شده از کاغذ خشک کن^{۱۴} با کیفیت بالا می‌باشد. پاسخ قابل اندازه‌گیری، مسافت انتشار پیشروی کننده از مبدأ می‌باشد. دامنه مفید دمایی و مدت پاسخ TTI بوسیله نوع و غلظت استر تعیین می‌گردد. دیگر TTI بر پایه انتشار، Freshness Check[®] تولید شده توسط همان شرکت است. در این سیستم، ماده ویسکوالاستیکی به کار برده می‌شود که بر حسب دما، بطور انتشاری، به داخل یک ماتریکس متخلخل منعکس کننده نور، مهاجرت می‌کند. این امر سبب ایجاد تغییر پیشرونده در فرافست پذیری نور ماتریکس متخلخل، شده و یک پاسخ دیداری ایجاد می‌کند (۲).

TTI‌های آنزیمی: VITSAB[®] (VITSAB A.B، سوئدان) بر اساس تغییر رنگ بوجود آمده توسط کاهش pH حاصل از هیدرولیز آنزیمی کنترل شده سوبسترای لیپیدی می‌باشد. شناساگر دارای دو بدنه مجزا است که یکی حاوی محلول آبی آنزیم‌های لیپولیتیک و دیگری دارای سوبسترای لیپیدی سوسپانسیون شده در یک محیط آبی و مخلوط شاخص pH است. فعال‌سازی TTI بوسیله شکست مکانیکی درز جداکننده دو بدنه اتفاق می‌افتد و ممکن است بصورت دستی یا توسط اتوماسیون در خط انجام گیرد. هیدرولیز سوبسترا سبب کاهش pH و تغییر متعاقب رنگ (از سبز تیره به زرد روشن) در نمایش‌گر pH می‌گردد. ارزیابی دیداری تغییر رنگ با مراجعه به مقیاس رنگ ۵ نقطه‌ای امکان پذیر است. برچسب‌های CheckPoint[®] آخرین TTI‌های توسعه یافته توسط VITSAB می‌باشند، که شامل یک نوع برچسب هستند که برای ایجاد پاسخ بهتر معقول برای مصرف کننده طراحی شده است و برای کاربرد مستقیم در گوشت پرندگان و فرآورده‌های چرخ شده گوشت گاو مناسب می‌باشد.

TTI‌های بر پایه پلیمر: Fresh-Check[®] و Lifelines Freshness Monitor[®] (تکنولوژی Lifelines، آمریکا) بر پایه واکنش‌های پلیمریزاسیون وابسته به دما بوده که در آن کریستال‌های دی‌استیلین از طریق پلیمریزاسیون افزایشی^{۱۵} و ۴ به پلیمر خیلی رنگی، پلیمره می‌شوند. تغییرات حاصله در قابلیت انعکاس، می‌تواند از طریق اسکن نمودن با یک قلم نوری لیزری اندازه‌گیری شود. در مدل Fresh-Check از برچسب دایره‌ای استفاده می‌گردد که در آن برای تصمیم‌گیری درباره مصرف فرآورده در آن شرایط، رنگ دایره داخلی با رنگ دایره بیرونی مقایسه می‌شود.

برای کاربرد موفقیت آمیز TTI‌ها برای فرآورده‌های گوشتی و بطور کل فرآورده‌های غذایی، لازم است که پاسخ TTI با رفتار ماده غذایی هم‌خوانی داشته باشد. از آنجاییکه توقع برای تطابق دقیق TTI با رفتار ماده غذایی در سرتاسر رنج وسیع دمایی، امکان پذیر نیست، اشراف کامل به رفتار افت زمان ماندگاری سیستم ماده غذایی بر پایه مدل‌های کینتیکی دقیق، الزامی است. اکنون پیشرفت در مدل‌سازی مواد غذایی این امر را ممکن ساخته است. شماری از مطالعات که برای اثبات سودمندی TTI‌ها در فرآورده‌های غذایی، انجام گرفته‌اند، نشان دادند که بین پایداری اکسیداتیو و تغییر رنگ TTI، با استفاده از TTI بر پایه فسفولیپید/فسفولیپاز، در گوشت فریز شده خوک، یک همبستگی مثبت وجود دارد. اسمولاندر و همکاران (۲۰۰۴) و وینونپا^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۴)، کاربردپذیری VITSAB، Fresh Check و 3M Monitor را به ترتیب برای بررسی کیفیت قطعات جوجه بسته‌بندی شده بصورت MA در دماهای مختلف و در مقایسه با چندین روش تجزیه‌ای استاندارد، تعیین نمودند. در هر دو مطالعه، همبستگی TTI‌ها به دقت با آنالیزهای میکروبیولوژیکی باکتری‌های عامل فساد بررسی شده و نشان دادند که اینها بسیار مؤثرتر از شاخص‌های کیفی متابولیکی خاص نظیر مواد فرار ناشی از فساد، آمین‌های بیوژنیک و اسیدهای آلی می‌باشند (۵ و ۸).

وایکاسی^{۱۶} و همکاران (۲۰۰۹)، امکان کاربرد نمایش‌گر میکروبی زمان-دما را برای کنترل فساد گوشت تکه‌ای بسته‌بندی شده بصورت اتمسفر اصلاح شده، مورد بررسی قرار دادند. این نمایش‌گر بر پایه رشد و فعالیت متابولیکی نژاد لاکتوباسیلوس ساکنی^{۱۷} بود. در تمامی دماهای نگهداری مورد مطالعه (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد) (شبه سازی شده با زنجیره سرد)، نتایج نشان داد که لاکتیک اسید باکتری‌ها (LAB)، باکتری غالب بوده و به عنوان یک شاخص فساد مناسب برای گوشت تکه‌ای گاو بسته‌بندی شده بصورت MAP، قابل کاربرد است. همچنین تحت شرایط دینامیک نگهداری نتایج حاکی از این بود که نقطه پایانی TTI، پس از نگهداری در این شرایط دمای نوسانی، خیلی نزدیک به پایان زمان ماندگاری حسی فرآورده بود. این یافته‌ها بر امکان کاربرد TTI میکروبی، به عنوان یک ابزار ارزشمند برای کنترل وضعیت کیفی فرآورده گوشتی سرد، در طی توزیع و نگهداری، که توسط اسید لاکتیک باکتری‌ها یا سایر باکتری‌هایی دارای پاسخ کینتیکی و پتانسیل فساد مشابه، فاسد شده‌اند، دلالت دارد (۷).

به منظور اطمینان از این که TTI اختیار شده مناسب با افت کیفی ماده غذایی است، مدل‌سازی سیستماتیک کینتیک اثر دما بر زمان ماندگاری فرآورده سرد و نیز مطالعه کامل کینتیک پاسخ TTI، ضروری است. بخصوص، انرژی فعال‌سازی که شاخص حساسیت دمایی پاسخ TTI است، بایستی مشابه انرژی فعال‌سازی فرایند تخریب ماده غذایی بوده، و نقطه پایانی TTI باید نزدیک پایان زمان ماندگاری فرآورده باشد. این روش، بر اساس مطالعه کامل کینتیک، بر روی زمان ماندگاری فرآورده غذایی و همچنین TTI، به طور موفقیت آمیزی در بهینه‌سازی مدیریت زنجیره سرد فرآورده‌های گوشت و ماهی در بسیاری از مطالعات و با استفاده از انواع مختلف TTI‌ها، به کار برده شده است (۷). با پیشرفت‌های تکنولوژیکی حاصل شده در

¹⁰Diffusion-based TTIs

¹¹Enzymetic TTIs

¹²Polymer-based TTIs

¹³Wick

¹⁴Blotting paper

¹⁵Vainionpaa

¹⁶Vaikousi

¹⁷L.sakei



سال‌های اخیر و درک بالای مصرف‌کنندگان برای نیاز به کنترل ایمنی مواد غذایی (به خصوص در فرآورده‌های گوشتی)، تحلیل‌گران بر این باورند که TTIها ضرورتاً کاربرد تجاری وسیعی در صنعت غذایی خواهند یافت. اهمیت بحرانی حفظ دماهای مناسب نگهداری برای فرآورده‌های گوشتی در سرتاسر زنجیره عرضه به این معنا است که این بخش از صنعت غذایی می‌تواند یک ذی‌نفع بزرگ از این گونه پیشرفت‌ها باشد (۲).

۴-RFID

در برچسب‌های تشخیص فرکانس رادیویی (RFID)، یک ریدر برای گرفتن اطلاعات از یک نوار RFID، امواج رادیویی ساطع می‌کند و سپس اطلاعات برای آنالیز و تصمیم‌گیری، به کامپیوتر میزبان منتقل می‌شوند (۳). ورست^{۱۸} و همکاران (۲۰۰۴)، تحقیقی بر روی اثرات فرستنده فرکانس رادیویی بر تازگی عضله گوشت گاو، انجام دادند. فرستنده غیرفعال تشخیص فرکانس رادیویی، برای فیلم پوشاننده قطعات گوشت گرده گاو، به کار برده شد. بسته‌های پوشش داده شده در خلأ بسته‌بندی و به مدت ۲ روز در ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها از بسته‌بندی خلأ خارج شده و مقادیر a^* ، L^* و b^* از داخل پوشش اندازه‌گیری شدند تا زمانی که پارامتر a^* ثابت شود (۹).

منابع:

- (1) Coma, V. 2008. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science* 78: 90-103.
- (2) Kerry, J.P., M.N. O'Grady and S.A. Hogan. 2006. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*. 74:113-130.
- (3) Mohan, C.O., C.N. Ravishankar, T.K. Srinivasa Gopal and K. Ashok Kumar. 2009. Nucleotide breakdown products of seer fish (*Scomberomorus commerson*) steaks stored in O₂ scavenger packs during chilled storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10: 272-278.
- (4) Reiniger, F., C. Kolle, W. Trettnak and W. Gruber. 1996. Quality control of gas-packed food by an optical oxygen sensor. In *Proceedings of the international symposium on food packaging: Ensuring the safety and quality of foods*, 11-13th September 1996, Budapest, Hungary.
- (5) Smolander, M., H.L. Alakomi, T. Ritvanen, J. Vainionpaa and R. Ahvenainen. 2004. Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler cuts stored in different temperature conditions. A. Time-temperature indicators as quality-indicating tools. *Food Control*. 15: 217-229.
- (6) Smolander, M., E. Hurme, K. Latva-Kala, T. Luoma, H.L. Alakomi and R. Ahvenainen. 2002. Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 3 : 279-288.
- (7) Vaikousi, H., C.G. Biliaderis and K.P. Koutsoumanis. 2009. Applicability of a microbial Time Temperature Indicator (TTI) for monitoring spoilage of modified atmosphere packed minced meat. *International Journal of Food Microbiology*. 133: 272-278.
- (8) Vainionpaa, J., M. Smolander, H-L. Alakomi, T. Ritvanen, T. Rajamaki, M. Rokka and R. Ahvenainen. 2004. Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis. *Journal of Food Engineering*. 65: 273-280.
- (9) Vorst, K.L., R.H. Clarke, C.P. Allison and A.M. Booren. 2004. A research note on radio frequency transponder effects on bloom of beef muscle. *Meat Science* 67: 179-182.
- (10) http://www.iana.ir/detailed_articles.aspx?article_id=53
- (11) http://www.aftab.ir/articles/health_therapy/nutrition_health/c13c1122548845p1.php
- (12) <http://www.fao.org/docrep/010/ai407e/AI407E21.htm>

¹⁸Vorst