نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال چهاردهم، شماره ۵۵، پاییز ۱۴۰۲؛ ص ۶۹-۶۳

علمی – مروری

سیر تحول بسته‌بندی به‌روش اتمسفر اصلاح‌شده

وحید بهشاد[۱]، ناصر صداقت*[۲]

۱-دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۲-استاد گروه صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲)

چکیده

بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) روشی است که در آن تغییر هدفمند ترکیب اتمسفر موجود در بسته‌بندی موجب افزایش ماندگاری محصول شده و به این صورت امکان حصول اطمینان از کیفیت ماده غذایی در طول مدت نگهداری فراهم می‌شود. مزایا و اهمیت استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده برای بسیاری از محصولات، چه در سطح آزمایشگاهی و چه در شرایط تولید صنعتی نشان داده‌شده است. این مقاله، مروری بر سیر تحول بسته‌بندیMAP، از جمله MAP فعال، MAP غیرفعال،MAP منفذدار و همچنین تاثیر استفاده از ترکیب گازهای مختلف را ارائه می‌دهد. بسته‌بندیMAP فعال به صورت تغییر محتوای اتمسفر حین بسته‌بندی و بسته‌بندی غیر فعال به صورت تغییر ترکیب اتمسفر بسته‌بندی بر اثر تنفس و یا تبادل گاز میان بسته‌بندی و محیط است. MAP منفذداریک رویکرد ترکیبی است که امکان تبادل گازها بین محصول و محیط را فراهم می کند. این مقاله همچنین اثرات مخلوط گازهای مختلف بر کیفیت و ایمنی محصول و همچنین اهمیت انتخاب مواد بسته‌بندی مناسب برای هر کاربرد را مورد بحث قرار داده و دیدگاهی ارزشمند در مورد گزینه‌های مختلف موجود برای بسته‌بندیMAP را ارائه می‌دهد تا امکان اتخاذ تصمیمات آگاهانه برای بهینه‌سازی کیفیت و ماندگاری محصولات فراهم شود.

کلیدواژه‌ها: بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده، بسته‌بندی منفذدار، بسته‌بندیMAP با اکسیژن بالا

۱- مقدمه

اصلاح اتمسفر بسته‌بندی اولین بار به‌صورت ایجاد خلأ در بسته‌بندی ظهور کرده است که می‌تواند به‌عنوان یکی از اولین فرایندهای اصلاح بسته‌بندی در ابعاد صنعتی در نظر گرفته شود[۱]. پس از آن، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده به‌صورت ایجاد تغییر اختصاصی و هدفمند در اتمسفر بسته‌بندی مطرح شده است؛ که بر اساس ویژگی‌های خاص ماده غذایی انجام می‌گردد که خود می‌تواند به دو صورت فعال و غیرفعال انجام شود. با توجه به اینکه ترکیب موجود در اتمسفر بسته‌بندی به میزان تنفس و عبور گاز از پلیمر بسته‌بندی بستگی دارد؛ اولین موضوعی که در زمینه بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده باید مورد بررسی قرار گیرد، نفوذپذیری فیلم‌ها و مواد بسته‌بندی مورد استفاده نسبت به O2 و CO2 است چرا که این موضوع شرطی اساسی برای دستیابی به اتمسفر مورد نظر در بسته‌بندی است[۲]. از آنجا که میزان تنفس در محصولات مختلف با یکدیگر بسیار متفاوت است، نفوذپذیری فیلم‌های پلاستیکی موجود باید با نیاز هر ماده غذایی مطابقت داشته باشد. جدول(۱)، محدوده نفوذپذیری O2 و CO2 فیلم‌های پلاستیکی و برخی از فیلم‌های زیستی را نشان می‌دهد. همچنین این امکان وجود دارد که در یک نوع پلیمر مشخص، بسته به عوامل ذاتی پلیمر، مانند وزن مولکولی، مواد افزودنی، شرایط ساخت، مورفولوژی و ... تغییرات زیادی در نفوذپذیری گاز و بخار وجود داشته باشد. مهمترین اصل در طراحی بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده در مورد محصولات تازه، کنترل نفوذ گاز O2 و CO2 به بسته‌بندی است. این تبادل باید به نحوی باشد که با مصرف اکسیژن و تولید دی‌اکسید کربن در فرایند تنفس محصول، اتمسفر بسته‌بندی تغییر کرده و به اتمسفر مناسب برای حفظ تازگی محصول نزدیک شود. این رابطه با فرض حالت ثابت می‌تواند به‌صورت دو معادله ساده به صورت ریاضی بیان شود:

$$WR_{O2} = \frac{\dot{P}_{O2} A_f (0.21 P_a - P_{O2})}{L_f} \quad (۱)$$

$$WR_{CO2} = \frac{\dot{P}_{CO2} A_f (P_{CO2} - 0.00)}{L_f}$$

* رایانامه نویسنده مسئول: sedaghat@um.ac.ir

در این رابطه W وزن محصول بر حسب کیلوگرم و R_{O2} و R_{CO2} نرخ تنفس می‌باشد که به‌ترتیب مربوط به مصرف اکسیژن و تولید دی‌اکسید کربن است. P_a فشار اتمسفری هوا در حالت عادی (۱۰۱۳۲۵Pa) و P_{O2} و P_{CO2} به‌ترتیب مربوط به فشار جزئی اکسیژن و دی‌اکسید کربن در داخل بسته است. همچنین، A_f نشان‌دهنده مساحت فیلم بسته‌بندی و L_f میزان ضخامت آن است. مساحت فیلم بسته (m^2) و L_f ضخامت لایه پلیمری است.

می‌توان با استفاده از معادله (۱)، پلیمر مورد نظر برای غلظت اکسیژن و دی‌اکسید کربن برای محصولی مشخص را تعیین کرد. در شرایطی که بتوان میزان تنفس را ثابت در نظر گرفته یا تغییرات آن را به‌صورت تابعی خطی از غلظت اکسیژن بیان کرد؛ غلظت دی‌اکسید کربن با استفاده از مشتق‌گیری قابل دستیابی است ولیدر صورتی که تنفس، تابعی پیچیده از غلظت اکسیژن و دی‌اکسید کربن باشد، محاسبه عددی ضروری است[۳].

جدول(۱): میزان نفوذپذیری پلیمرهای بسته‌بندی مختلف نسبت به گازهای مختلف[۲۳]

فیلم پلیمر	نفوذپذیری($mol\ m\ s^{-1}\ m^{-2}\ Pa^{-1}*10^{-6}$) در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد		
	O2	CO2	H2O
LDPE	۷/۴-۹/۷	۳۲/۶-۶۱/۶	۲۴۹-۲۸۸
HDPE	۱/۸-۸/۳	۱۱/۰-۳۳/۱	۳۷-۲۷۳
PP	۲/۳-۴/۳	۹/۸-۲۴/۷	۹۷-۲۰۲
OPP	۱/۷-۳/۵	۶/۱-۱۴/۶	۵۴-۱۴۰
PET	۰/۰۵-۰/۱۰	۰/۲۴-۰/۵۶	۴۳۵-۴۶۵
PLA	۰/۵-۲/۵	۱/۶-۲۰/۷	۱۱۶۰-۱۸۸۵۰
PHAs	۰/۰۱-۰/۶۶	۰/۱۴-۲/۵۴	۱۰۸۰۰-۱۷۴۰۰
فیلم‌های بر پایه نشاسته	۰/۶-۲/۱	۷/۳-۲۱/۸	۱۲۹۰-۳۳۷۰۰
PBS	۰/۲		

۲- تحولات بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده

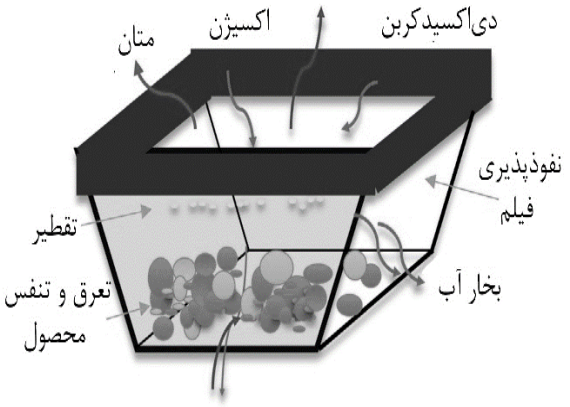
۲-۱- بسته‌بندی MAP غیر فعال

بسته‌بندی MAP غیرفعال بدون ایجاد تغییر در ترکیب اولیه هوای موجود در بسته‌بندی و بر اساس تنفس یا تبادل گاز سرفضای بسته‌بندی و هوای محیط، ترکیب مورد نظر هوای بسته‌بندی را ایجاد می‌کند. به این صورت، اصلاح موثر اتمسفر بسته‌بندی تحت تاثیر نرخ تنفس و میزان نفوذپذیری بسته‌بندی نسبت به گازهای مختلف ایجاد می‌شود؛ که منجر به ایجاد یک ترکیب پایدار اتمسفر پس از گذشت مدتی نسبتا طولانی می‌شود[۴]. پس از مدت زمان معین، ترکیب گاز در بسته‌بندی محصول تازه، به تعادل مشخصی بین نرخ تنفس و نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی می‌رسد. در این حالت تعادل، مقدار کل دی‌اکسید کربن تولید شده و اکسیژن مصرف شده توسط تنفس، بسته به میزان نفوذپذیری پلیمر بسته‌بندی، و میزان ورود و خروج این گازها به بسته‌بندی، ترکیب گازی را ایجاد می‌نماید[۵]. بنابراین وضعیت تعادل گاز تحت تأثیر نرخ تنفس محصول، عوامل محیطی ذخیره سازی (مانند دما و رطوبت نسبی) و نفوذپذیری مواد بسته‌بندی قرار دارد[۶]. بسته‌بندیMAP غیرفعال می‌تواند به نحوی مؤثر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری محصولات تنفس‌کننده مانند میوه و سبزی را در دمای ذخیره‌سازی کمتر نسبت به اقلام بسته‌بندی نشده حفظ کند[۷]. همچنین این نوع بسته‌بندی می‌تواند بروز خشکی را کنترل کرده و رشد مخمر و باکتری‌های مزوفیل را کاهش دهد. به‌عنوان مثال نشان داده شده است که استفاده از بسته‌بندیMAP غیرفعال می‌تواند عمر ماندگاری طالبی تازه برش خورده را به مدت ۹ روز در دمای 5 درجه سانتیگراد افزایش می‌دهد[۸].

با این حال، استفاده از MAP غیرفعال دارای معایبی است، که از جمله آن می‌توان به دوره گذار طولانی مدت مورد نیاز برای دستیابی به ترکیب مطلوب در داخل بسته و خطر کبود اکسیژن اشاره کرد[۹].

عواملی مختلفی بر نحوه عملکرد بسته‌بندی MAP اثرگذار هستند که می‌توان آن‌ها را به سه دسته تقسیم کرد:

- عوامل مرتبط با ماده غذایی: وزن ماده‌غذایی، چگالی ماده غذایی، نرخ تنفس، نرخ تعریق، مرحله رسیدگی، بار میکروبی اولیه
- عوامل بیرونی: نسبت و غلظت گازها، دمای نگهداری، رطوبت نسبی و مدت نگهداری.
- عوامل مرتبط با بسته‌بندی: حجم، ضخامت فیلم،سطح موثر فیلم برای انتقال گاز، نفوذپذیری نسبت به گاز و ایجاد منافذ(تعداد منافذ، شعاع منافذ، تعداد لوله‌ها)



شکل (۱): تصویر شماتیک عوامل موثر بر بسته‌بندی MAP[۲۳]

۲-۲- بسته‌بندی MAP فعال

برخلاف بسته‌بندی MAP غیرفعال، در بسته‌بندی MAP فعال، ترکیب ابتدایی گاز موجود در بسته‌بندی با روش‌های مختلف به یک ترکیب هدف تغییر می‌کند تا به این صورت فرایند دستیابی به ترکیب گازی مورد نظر تسریع شده و از ایجاد ترکیبات گازی نامناسب جلوگیری شود[۵]. مطالعات متعددی مزایای استفاده از جایگزینی هوای معمولی با اتمسفر کم اکسیژن و دی‌اکسید کربن غنی شده را برای محصولات تنفس کننده، گزارش کرده‌اند[۱۰]. یکی از مهم‌ترین انواع کنترل کننده‌های اکسیژن در بسته‌بندی‌های MAP فعال، کیسه‌های کوچک حاوی ترکیباتی بر پایه آهن قابل اکسیداسیون هستند که می‌توانند با جذب اکسیژن از تغییر رنگ و بروز آسیب‌های ناشی از سرما جلوگیری کنند[۱۱]، استفاده از این جاذب‌ها می‌تواند به‌منظور کاهش فساد، به تأخیر انداختن پیری، و کاهش قهوه‌ای شدن و بروز کپک در محصولات تازه مؤثر باشد[۳]. از طرف دیگر، استفاده از جاذب‌های دی‌اکسید کربن می‌توانند از تجمع دی‌اکسید کربن در سطوح جلوگیری کند[۱۲]. جاذب‌های اتیلن نیز می‌توانند با حذف اتیلن از فضای داخلی بسته‌بندی، موجب تاخیر تنفس شده و فرایند رسیدن برخی میوه‌ها را به تاخیر بیاندازند. همچنین ثابت شده است که استفاده از این جاذب‌ها برای کیوی، موز، آووکادو، قارچ و خرمالو به صورت مؤثری منجر به افزایش زمان ماندگاری می‌شود[۱۳]. با این‌حال استفاده از این جاذب‌ها به دلیل عدم پذیرش مصرف‌کننده؛ مشکلاتی ایجاد کرده است و امکان استفاده از آن‌ها در مواد غذایی مایع به کل ممکن نیست چرا که تماس مستقیم مایع با این کیسه‌ها می‌تواند منجر به بروز مشکل شده و به محتویات ماده غذایی و کیسه جاذب آسیب وارد نماید.همچنین خطر بلعیده شدن این کیسه‌ها توسط کودکان یا مصرف اشتباهی آن‌ها به همراه غذا مشکلاتی هستند که در زمینه استفاده از این نوع جاذب‌ها باید به آن‌ها توجه شود[۱۴]. همچنین نگرانی‌هایی در مورد جاذب‌های اکسیژن بیان می‌شود چرا که امکان رشد بیش از حدارگانیسم‌های بیماری‌زای بی‌هوازی را فراهم می‌کنند[۱۴]. بنابراین، درک نحوه تغییرات ترکیبات گاز موجود در بسته‌بندیMAP و ویژگی‌های منحصر به فرد محصولات غذایی در تعیین روش مناسب از سیستم‌های بسته‌بندی فعال مهم است.

جدول (۲): مقایسه بسته‌بندی MAP فعال و غیرفعال[۲۳]

	غیر فعال	فعال
تعریف	اصلاح ترکیب گاز درون بسته‌بندی با استفاده از تعادل میان تنفس محصول و نفوذپذیری ماده بسته‌بندی نسبت به گازها	اصلاح ترکیب گازی موجود در بسته‌بندی با فلاشینگ محتوای گاز موجود در بسته‌بندی با ترکیب گازی مورد نظر
زمان ایجاد تعادل	۱-۲ روز الی ۱۰-۱۲ روز	۱-۲ ساعت
محصول مناسب	قارچ، هویج، اسفناج، توت‌فرنگی	سیب برش خورده، سبزیجات فراوری نشده یا با فراوری حداقلی
هزینه	بدون هزینه افزوده	سرمایه‌گذاری اولیه برای تهیه ماشین‌آلات مخصوص و دستگاه‌های بسته‌بندی لازم است
الزام توضیح در برچسب	خیر	بله

۲-۳- ترکیب اتمسفری جدید در بسته‌بندی MAP

۲-۳-۱- غلظت بالای اکسیژن یا دی‌اکسید کربن

شرط دستیابی به نتیجه موفقیت‌آمیز در استفاده از بسته‌بندی MAP، انتخاب ترکیب مناسب و بهینه گاز و فیلم بسته‌بندی مناسب است تا بتواند با نرخ مناسب نفوذپذیری نسبت به گاز و نرخ انتقال بخار آب، موجب متعادل شدن اتلاف رطوبت شده و از خشک شدن یا تجمع بخار آب در بسته‌بندی جلوگیری نماید. معمولا به‌منظور افزایش نفوذپذیری بسته‌بندی نسبت به گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن از فیلم‌های بسته‌بندی دارای منفذ(منافذ دارای ابعاد میکرو یا ماکرو) استفاده می‌شود. این نوع فیلم بسته‌بندی می‌تواند از تجمع دی‌اکسید کربن جلوگیری کرده و در عین حال غلظت بالاتری از اکسیژن را حفظ نماید[۱۵]. ایجاد منفذ در فیلم پلیمری مانند یک شمشیر دولبه عمل می‌کند چرا که وجود منافذ می‌تواند نفوذپذیری فیلم به اکسیژن و دی‌اکسید کربن را به میزان بیشتری نسبت به انتقال بخار آب تحت تأثیر قرار دهد.

هرچند که معمولا کاهش محتوای اکسیژن برای نگهداری در بسته‌بندی‌های MAP مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۶]؛ ولیاستفاده از بسته‌بندی‌های دارای اکسیژن بیشتر از اکسیژن اتمسفر(بیش از ۷۰ درصد) به عنوان جایگزینی برای استفاده از بسته‌بندی‌های دارای اکسیژن کم، به منظور نگهداری محصولات تازه مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال نشان داده شده است که استفاده از بسته‌بندیMAP دارای غلظت اکسیژن فوق اتمسفری می‌تواند اثرات مثبتی در زمینهکاهش بار میکروبی و بهبود ویژگی‌های حسی سبزیجات و قارچ تازه بریده شده داشته باشد[۱۷] همچنین استفاده از غلظت ۸۰ و ۹۲ درصد اکسیژن در بسته‌بندی می‌تواند موجب مهار رشد A. flavus و B. cinerea شده و از تخمیر بی‌هوازی نیز جلوگیری کرده و مانع از تغییر رنگ آنزیمی گردد[۱۸]. کاربرد بسته‌بندی دارای غلظت بالای اکسیژن برای دیگر محصولات گوشتی نیز با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است[۱۹].

همچنین کاربرد بسته‌بندیMAP دارای غلظت بالای اکسیژن بر نگهداری زغال اخته در دو نوع فیلم با نفوذ گازهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده این موضوع بوده‌اند که زغال اخته ذخیره شده در فیلم با نفوذ گاز بالا، بالاترین امتیاز را از نظر بافت حسی و طعم زغال اخته به دست آورده و اتمسفر اولیه با اکسیژن با غلظت بالا تأثیر کمی بر کیفیت حسی داشته است[۲۰].

۲-۳-۲- نیتروژن

در برخی مطالعات، اثر استفاده از نیتروژن در غلظت‌های بسیار بالا یا مطلق (۱۰۰ درصد) در بسته‌بندی MAP مورد بررسی قرار گرفته است چرا که غلظت‌های بالای این گاز می‌تواند حفظ کیفیت محصول را به همراه داشته باشد[۱۸]. به‌عنوان مثال، نشان داده شده است که نگهداری میوه خرمالو در ترکیب گازی نیتروژن ۱۰۰ درصد موجب حفظ ویژگی‌های کیفی آن شده و مدت زمان نگهداری در دمای صفر درجه را ۹۰ روز افزایش می‌دهد[۲۱]. کلم تازه برش خورده و کاهو بسته‌بندی شده در شرایط اتمسفر اصلاح شده با غلظت نیتروژن ۱۰۰ درصد نیز می‌تواند پنج روز ماندگاری را به‌همراه داشته [۲۲]. به طور کلی، استفاده از نیتروژن به منظور جایگیزین اکسیژن موجود در بسته‌بندی انجام می‌شود چرا که به این صورت فرایندهای اکسیداتیو کاهش یافته و با تاخیر رخ می‌دهند[۲۳]

۲-۳-۳- رطوبت بالا

فیلم‌های پلیمری معمولی که در بسته‌بندی محصولات تازه استفاده می‌شوند، اغلب نرخ انتقال بخار آب کمتری در مقایسه با نرخ تعرق محصولات تازه دارند. رطوبت نسبی بالا در بسته‌بندی به دلیل بخار آب آزاد شده توسط محصولات باغبانی، در صورت عدم مدیریت، می‌تواند منجر به تراکم آب بر روی مواد بسته‌بندی و محصولات شود. که در زمینه کیفیت و ایمنی محصول ایجاد خطر می‌نماید[۲۴] علاوه‌بر این، رطوبت بیش از حد در بسته‌ها می‌تواند تأثیر مضری بر محصولات پودری و آرد داشته باشد که می‌تواند منجر به کیکی شدن محصول شود. تقطیر بخار آب روی سطح هر محصول و مواد بسته‌بندی که در دمای نقطه شبنم یا کمتر از آن باشد، رخ می‌دهد[۲۵].

تعادل بین رطوبت کم (زیر حد لازم) و رطوبت بیش از حد، یک چالش مهم در زمینه بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده است چرا که رطوبت کمتر از حد مجاز می‌تواند منجر به از دست دادن بیش از حد آب و چروک شدن محصولات تازه شود. از سوی دیگر، رطوبت بیش از حد، شرایط مساعدی برای تسریع رشد میکروبی و پوسیدگی فراهم می‌کند. از این رو، مدیریت مؤثر رطوبت در سیستم‌های MAP مواد غذایی ضروری است.

استراتژی‌های مختلفی برای مدیریت رطوبت بالا در داخل محصولات تازه بسته‌بندی شده در مقالات گزارش شده است. به‌عنوان مثال، ایجاد منافذ ریز به صورت معمول به منظور کنترل رطوبت در بسته‌بندی محصولات تازه و به منظور افزایش انتقال جرم مواد بسته‌بندی انجام می‌شود[۱۵]. استفاده از جاذب‌های رطوبت، رویکرد نوآورانه دیگری برای مدیریت رطوبت بالا ارائه می‌کند. جاذب‌ها را می‌توان به دو رویکرد کاربردی اصلی

طبقه‌بندی کرد که شامل استفاده از جاذب رطوبت تماسی[۴] و استفاده از جاذب رطوبت غیرتماسی است[۲۶].به‌طور کلی، جاذب‌های تماس آب به صورت تجاری برای بسته‌بندی محصولات گوشتی مانند ماهی و گوشت گاو استفاده می‌شود[۲۷]. از میان انواع مختلف این نوع جاذب‌ها می‌توان به پدها، کیسه‌ها و لایه‌های سوپر جاذب اشاره کرد[۱۳].استفاده از جذب‌کننده‌های رطوبت غیرتماسی در زمینه بسته‌بندی محصولات تازه مناسب‌تر است، چرا که این محصولات به صورت فعال تنفس و تعرق می‌کنند که موجب آزادسازی بخار آب در فضای بسته‌بندی می‌گردد[۲۸]. علاوه بر این، می‌توان برای برطرف ساختن این مشکل، از یک ماده بسته‌بندی با نفوذپذیری بالا نسبت به بخار آب یا ترکیبی از لایه‌های پلیمری مختلف برای بهینه‌سازی رطوبت درون بسته‌بندی استفاده کرد[۲۹] ,[۲۳]

۲-۳-۴- هیدروژن

تأثیر بسته‌بندیMAP با استفاده از گاز هیدروژن در زمینه نگهداری از میگوی خشک در طول ذخیره‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این بررسی میگوی خشک به مدت ۸ روز در دمای۴۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی۸۵ درصد نگهداری شده و اثر ترکیب گازی حاوی مقادیر مختلف هیدروژن در مقایسه با نمونه شاهد (بسته‌بندی در اتمسفر هوا) از نظر ویژگی‌های حسی از جمله رنگ و بو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان دهنده اثر مثبت هیدروژن بر نگهداری و حفظ ویژگی‌های کیفی محصول بوده است[۳۰]. همچنین کاربرد بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده حاوی هیدروژن در نگهداری ماهی نیز مورد بررسی قرار گرفته است که اثرات مثبتی در زمینه نگهداری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در این بررسی گزارش شده است.

۲-۴-ایجاد منافذ

ایجاد منافذ ریز با استفادهاز لیزر CO_2 در فیلم‌های PLA و PBS تغییرات قابل‌توجهی در خواص مکانیکی استحکام کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول ایجاد نکرده و در عین حال امکان دستیابی به نرخ مناسب‌تری از انتقال گازهای CO_2و O_2 را فراهم کرده است. این منافذ که به‌عنوان مجرای انتقال دهنده یا لوله هایی برای تبادل گاز میان بسته‌بندی و محیط ایجاد می‌شوند می‌توانند نسبت نفوذپذیری بسته‌بندی نسبت به اکسیژن و دی‌اکسید کربن را به ۱ نزدیک نمایند[۳۱] که به معنای برابر شدن ورود و مصرف اکسیژن است. ویژگی مثبتی که منجر به استفاده از این فناوری در ابعاد صنعتی شده است.

تاثیر استفاده از بسته‌بندیMAP دارای منفذ بر نگهداری تمشک مورد بررسی قرار گرفته است. تمشک، ماندگاری کوتاهی بین ۲ تا ۵ روز دارد که به دلیل رشد کپک و کاهش سریع کیفیت محدود می شود. در این بررسی نشان داده شده است که استفاده از بسته‌بندی دارای منفذ موجب کاهش کپک زدگی تمشک پس از ۲۰ روز شده است[۳۲].

۲-۵- بسته‌بندی MAP هوشمند

این نوع بسته‌بندی می‌تواند عملکردهای هوشمندی از قبیل تشخیص، سنجش، ضبط، ردیابی، برقراری ارتباط و اعمال منطق علمی را برای تسهیل تصمیم‌گیری در زمینه افزایش عمر مفید، افزایش ایمنی، بهبود کیفیت، ارائه اطلاعات، و هشدار در مورد مشکلات احتمالی اجرا نماید[۳۱]. چارچوب نظری که جریان اطلاعات را در یک سیستم هوشمند توصیف می‌کند از چهار جزء تشکیل شده است: دستگاه‌های بسته هوشمند، لایه‌های داده، پردازش داده‌ها و بزرگراه اطلاعات (شبکه‌های ارتباطی سیمی یا بی سیم) در زنجیره تأمین مواد غذایی[۳۴] ,[۳۳].دستگاه‌های بسته هوشمند، برچسب‌های ارزان قیمتی هستند که روی بسته‌بندی اولیه (به‌عنوان مثال، کیسه‌ها، ظروف سخت و بطری‌ها) چسبانده می‌شوند[۲۳]. دو نوع اساسی از دستگاه‌های بسته هوشمند وجود دارد: حامل‌های داده (مانند برچسب‌های بارکد و برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) که برای ذخیره و انتقال داده‌ها استفاده می‌شوند، و نشانگرهای بسته، مانند نشانگرهای زمان و دما، نشانگرهای گاز و حسگرهای زیستی، که برای نظارت بر محیط خارجی یا شرایط داخلی بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته و در صورت لزوم، می‌توانند هشدارهایی (به عنوان مثال با ایجاد تغییر رنگ) را صادر کنند[۳۵] ,[۳۵]در بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده، بروز تغییر در ترکیب گازی درون بسته‌بندی می‌تواند شاخصی از بروز نشت یا فعالیت میکروارگانیسم‌ها باشد[۲۳]. در همین راستا نشانگرهای گاز به شکل برچسب یا چاپ روی فیلم‌های بسته‌بندی می‌تواند به نظارت بر ایمنی و کیفیت محصولات بسته‌بندی شده کمک کند[۳۶]. نشانگرهای اکسیژن پرکاربردترین نشانگر گاز هستند، این به دلیل توانایی اکسیژن در ایجاد تغییر رنگ اکسیداتیو و تاثیر این گاز در افزایش فساد میکروبی است.

استفاده از یک حسگر اکسیژن غیر مخرب به‌عنوان نشانگر نشت پیشنهاد شده است. این حسگرها قادر به تشخیص سطوح بسیار پایین اکسیژن (۰/۰۷٪) بوده و عملکرد آنها بر اساس اندازه گیری شدت فسفرسانس و تغییر فاز بیان شده است[۳۷]. از سوی دیگر، نشانگرهایدی‌اکسیدکربن می‌توانند برای تشخیص فساد زودهنگام و همچنین برای نظارت بر سطوح این گاز در بسته‌های اتمسفر اصلاح‌شده در حمل و نقل و در انبارها استفاده شود[۳۸]،[۴۰].

شاخص‌های رنگ سنجی اغلب در بسته‌بندی مرغ مورد استفاده قرار گرفته است[۴۱]،[۳۴]. با استفاده از نشانگرهای pH و متالوپورفیرین‌ها نوعی حسگر ایجاد شده است که در شرایط مختلف pH رنگ‌های مختلفی را بر یک سطح سیلیکاژل ایجاد می‌کند[۴۲]. در تحقیقی دیگر، آرایه‌ای متشکل از ۱۶ ماده حسگر با استفاده از ترکیب رنگ‌های مختلف برای گوشت مرغ بسته‌بندی شده در شرایط اتمسفر اصلاح شده ایجاد شده است که در آن تغییرات رنگ آرایه، اطلاعاتی در زمینه ویژگی‌هایماندگاری گوشت مرغ در بسته‌بندیMAP ارایه کرده است. به طور کلی، عملکرد بیشتر این شاخص‌ها بر اساس تغییر رنگ درنتیجه یک واکنش شیمیایی یا آنزیمی است[۳۳]. در نتیجه بسته‌بندی هوشمند با استفاده حسگرهای شیمیایی و زیستی، شرایط ماده غذایی به لحاظ ایمنی، تازگی و مقدار گازهای اطراف محصول مانند اکسیژن و دی‌اکسیدکرین را پایشکرده و به این صورت فرصت ویژه‌ای در زمینه کنترل و بهینه‌سازی زنجیره تامین در اختیار قرار می‌دهد[۳۴].

۳- نتیجه‌گیری

بسته‌بندی MAP به عنوان یک فناوری روبه‌رشد در جهت دست‌یابی به کیفیت مناسب و ماندگاری بیشتر موادغذایی با سیر تحولی بسیار متنوع ظهور کرده است و می‌تواند در کنار انواع مختلف فناوری‌های بسته‌بندی، به نحوی اختصاصی شرایط نگهداری مناسبی را برای محصول مورد نظر فراهم نماید. این موضوع می‌تواند منجر به کاهش ضایعات، افزایش ارزش افزوده و بهبود کیفیت محصولات شده و حرکتی رو به جلو در زمینه تولیدات غذایی به شمار آید. با توجه به کاربرد گسترده و رو به رشد این فناوری نیاز به نگاهی همه جانبه به کلیه شاخه‌های گستره این نوع بسته‌بندی وجود دارد چرا که این نوع نگاه می‌تواند شرایط را برای پیشرفت‌های آینده در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی فراهم آورد.

۴- مراجع

[1] N. Yamaguchi, "Vacuum Packaging," in Food Packaging, Elsevier, 1990, pp. 279–292.doi: 10.1016/B978-0-08-092395-6.50020-9.

[2] G. Antmann, G. Ares, P. Lema, and C. Lareo, "Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms," Postharvest Biol. Technol., vol. 49, no. 1, pp. 164–170, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.01.020.

[3] Y. Li, Y. Ishikawa, T. Satake, H. Kitazawa, X. Qiu, and S. Rungchang, "Effect of active modified atmosphere packaging with different initial gas compositions on nutritional compounds of shiitake mushrooms (Lentinus edodes)," Postharvest Biology and Technology, vol. 92, pp. 107–113, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.postharvbio.2013.12.017.

[4] P. V. Mahajan, F. A. R. Oliveira, and I. Macedo, "Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms," Journal of Food Engineering, vol. 84, no. 2, Art. no. 2, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.05.021.

[5] S. C. Fonseca, F. A. R. Oliveira, J. K. Brecht, and K. V. Chau, "Influence of low oxygen and high carbon dioxide on shredded Galega kale quality for development of modified atmosphere packages," Postharvest Biology and Technology, vol. 35, no. 3, Art. no. 3, Mar. 2005, doi: 10.1016/j.postharvbio.2004.08.007.

[6] B. Zhang, L. Ma, S. Deng, C. Xie, and X. Qiu, "Shelf-life of pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging," Food Control, vol. 51, pp. 114–121, May 2015, doi: 10.1016/j.foodcont.2014.11.016.

[7] V. h. Escalona, E. Aguayo, and F. Artés, "Quality Changes of Fresh-Cut Kohlrabi Sticks under Modified Atmosphere Packaging," Journal of Food Science, vol. 72, no. 5, Art. no. 5, 2007, doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00353.x.

[8] J. Bai, R. A. Saftner, and A. E. Watada, "Characteristics of fresh-cut honeydew (Cucumis xmelo L.)available to processors in winter and summer and its quality maintenance by modified atmosphere packaging," Postharvest Biology and Technology, vol. 28, no. 3, Art. no. 3, Jun. 2003, doi: 10.1016/S0925-5214(02)00209-0.

[9] B. Horev, S. Sela, Y. Vinokur, E. Gorbatsevich, R. Pinto, and V. Rodov, "The effects of active and passive modified atmosphere packaging on the survival of Salmonella enterica serotype Typhimurium on washed romaine lettuce leaves," Food Research International, vol. 45, no. 2, Art. no. 2, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.foodres.2011.05.037.

[10] C. Costa et al., "Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape," Journal of Food Engineering, vol. 102, no. 2, Art.no. 2, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.08.001.

[11] S. Kartal, M. S. Aday, and C. Caner, "Use of microperforated films and oxygen scavengers to maintain storage stability of fresh strawberries," Postharvest Biology and Technology, vol. 71, pp. 32–40, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.postharvbio.2012.04.009.

[12] A. L. Brody, E. P. Strupinsky, and L. R. Kline, Active Packaging for Food Applications.CRC Press, 2001.

[13] M. Ozdemir and J. D. Floros, "Active food packaging technologies.," Crit Rev Food Sci Nutr, vol. 44, no. 3, pp. 185–193, 2004, doi: 10.1080/10408690490441578.

[14] I. C. Munro, L. A. Haighton, B. S. Lynch, and S. Tafazoli, "Technological challenges of addressing new and more complex migrating products from novel food packaging materials," Food Additives & Contaminants: Part A, vol. 26, no. 12, Art. no. 12, Dec. 2009, doi: 10.1080/02652030902995277.

[15] Z. Hussein, O. J. Caleb, and U. L. Opara, "Perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh and minimally processed produce—A review," Food Packaging and Shelf Life, vol. 6, pp. 7–20, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.fpsl.2015.08.003.

[16] C. Wang et al., "Quality retention and delay postharvest senescence of figs (Ficus carica L.) using 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging during cold storage," Food Bioscience, vol. 53, p. 102748, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.fbio.2023.102748.

[17] L. Jacxsens, F. Devlieghere, C. Van der Steen, and J. Debevere, "Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce," International Journal of Food Microbiology, vol. 71, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2001, doi: 10.1016/S0168-1605(01)00616-X.

[18] Z. Ayhan and O. Eştürk, "Overall Quality and Shelf Life of Minimally Processed and Modified Atmosphere Packaged 'Ready-to-Eat' Pomegranate Arils," Journal of Food Science, vol. 74, no. 5, pp. C399–C405, Jun. 2009, doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01184.x.

[19] K. Xin, K. Tian, Q. Yu, and L. Han, "High oxygen-modified packaging (HiOx-MAP) mediates HIF-1α regulation of tenderness changes during postmortem aging of yak meat," Food Chemistry: X, vol. 17, p. 100573, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.fochx.2023.100573.

[20] H. J. Rosenfeld, K. Røed Meberg, K. Haffner, and H. A. Sundell, "MAP of highbush blueberries: sensory quality in relation to storage temperature, film type and initial high oxygen atmosphere," Postharvest Biology and Technology, vol. 16, no. 1, Art. no. 1, May 1999, doi: 10.1016/S0925-5214(98)00102-1.

[21] M. Ahmed, A. R. M. Yousef, and S. M. A. Sarrwy, “Modified Atmosphere Packaging for Maintaining Quality and Shelf Life Extension of Persimmon Fruits,” 2011.
[22] S. C. Fonseca, F. A. R. Oliveira, and J. K. Brecht, “Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review,” Journal of Food Engineering, vol. 52, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2002, doi: 10.1016/S0260-8774(01)00106-6.
[23] O. J. Caleb, U. L. Opara, and C. R. Witthuhn, “Modified Atmosphere Packaging of Pomegranate Fruit and Arils: A Review,” Food Bioprocess Technol, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2012, doi: 10.1007/s11947-011-0525-7.
[24] M. Linke and M. Geyer, “Condensation dynamics in plastic film packaging of fruit and vegetables,” Journal of Food Engineering, vol. 116, no. 1, Art.no. 1, May 2013, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.11.026.
[25] G. G. Bovi, O. J. Caleb, M. Linke, C. Rauh, and P. V. Mahajan, “Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A review,” Biosystems Engineering, vol. 150, pp. 24–39, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.07.013.
[26] G. Rux et al., “Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms,” Postharvest Biology and Technology, vol. 108, pp. 102–110, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.06.010.
[27] Z. Fang, Y. Zhao, R. D. Warner, and S. K. Johnson, “Active and intelligent packaging in meat industry,” Trends in Food Science & Technology, vol. 61, pp. 60–71, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.tifs.2017.01.002.
[28] G. G. Bovi, O. J. Caleb, K. Ilte, C. Rauh, and P. V. Mahajan, “Impact of modified atmosphere and humidity packaging on the quality, off-odour development and volatiles of ‘Elsanta’ strawberries,” Food Packaging and Shelf Life, vol. 16, pp. 204–210, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.fpsl.2018.04.002.
[29] S. Volpe, P. V. Mahajan, G. Rux, S. Cavella, and E. Torrieri, “Condensation and moisture regulation in packaged fresh-cut iceberg lettuce,” Journal of Food Engineering, vol. 216, pp. 132–137, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.08.015.
[30] K. Jiang, Y. Zhang, C. Cai, W. Lin, L. Li, and W. Shen, “Hydrogen-based modified atmosphere packaging delays the deterioration of dried shrimp (Fenneropenaeus chinensis) during accelerated storage,” Food Control, vol. 152, p. 109897, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.foodcont.2023.109897.
[31] Sandhya, “Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs,” LWT - Food Science and Technology, vol. 43, no. 3, Art. no. 3, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.lwt.2009.05.018.
[32] N. K. Huynh, M. D. Wilson, and R. A. Stanley, “Extending the shelf life of raspberries in commercial settings by modified atmosphere/modified humidity packaging,” Food Packaging and Shelf Life, vol. 37, p. 101069, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.fpsl.2023.101069.
[33] R. Ahvenainen, “2 - Active and intelligent packaging: An introduction,” in Novel Food Packaging Techniques, R. Ahvenainen, Ed., in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing, 2003, pp. 5–21. doi: 10.1533/9781855737020.1.5.
[34] K. Urmila, H. Li, Q. Chen, Z. Hui, and J. Zhao, “Quantifying of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in chicken using a colorimetric sensor array and nonlinear regression tool,” Anal. Methods, vol. 7, no. 13, Art.no. 13, Jun. 2015, doi: 10.1039/C5AY00596E.
[35] I. S. Arvanitoyannis, A. D. Bouletis, E. A. Papa, D. C. Gkagtzis, C. Hadjichristodoulou, and C. Papaloucas, “The effect of addition of olive oil and ‘Aceto balsamico di Modena’ wine vinegar in conjunction with active atmosphere packaging on the microbial and sensory quality of ‘Lollo Verde’ lettuce and rocket salad,” Anaerobe, vol. 17, no. 6, Art. no. 6, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.anaerobe.2011.04.010.
[36] K. L. Yam, P. T. Takhistov, and J. Miltz, “Intelligent Packaging: Concepts and Applications,” Journal of Food Science, vol. 70, no. 1, pp. R1–R10, Jan. 2005, doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x.
[37] M. Smiddy, N. Papkovskaia, D. B. Papkovsky, and J. P. Kerry, “Use of oxygen sensors for the non-destructive measurement of the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packs of cooked chicken patties; impact of oxygen content on lipid oxidation,” Food Research International, vol. 35, no. 6, Art. no. 6, Jan. 2002, doi: 10.1016/S0963-9969(01)00160-0.
[38] S.-I. Hong and W.-S.Park, “Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation,” Journal of Food Engineering, vol. 46, no. 1, Art.no. 1, Oct. 2000, doi: 10.1016/S0308-8146(00)00141-2.
[39] S. Neethirajan, D. S. Jayas, and S. Sadistap, “Carbon Dioxide (CO2) Sensors for the Agri-food Industry—A Review,” Food Bioprocess Technol, vol. 2, no. 2, Art.no. 2, Jun. 2009, doi: 10.1007/s11947-008-0154-y.
[40] E. Poyatos-Racionero, J. V. Ros-Lis, J.-L. Vivancos, and R. Martínez-Máñez, “Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste,” Journal of Cleaner Production, vol. 172, pp. 3398–3409, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.075.
[41] Q. Chen, Z. Hui, J. Zhao, and Q. Ouyang, “Evaluation of chicken freshness using a low-cost colorimetric sensor array with AdaBoost–OLDA classification algorithm,” LWT - Food Science and Technology, vol. 57, no. 2, Art.no. 2, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.lwt.2014.02.031.
[42] Y. Salinas et al., “Monitoring of chicken meat freshness by means of a colorimetric sensor array,” Analyst, vol. 137, no. 16, Art.no. 16, Jul. 2012, doi: 10.1039/C2AN35211G.
[43] M.Ravaghi., “Tracing of Packages in Supply Chain Based on IoT and Blockchain Technologies,” Packaging Science and Art, vol. 12, no. 47, pp. 57–64, Nov. 2021,(in Persian) dor:20.1001.1.22286675.1400.12.47.6.4

Journal of Packaging Science and Technology

Vol. 14, No. 3, Autumn, 2023

The Evolution of Modified Atmosphere Packaging

Vahid Behshad, Naser Sedaghat*

*Professor, Department of Food Sciences and Technology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 22/07/2023; Accepted: 14/10/2023)

Abstract

Modified atmosphere packaging (MAP) is a technique that alters the air composition inside packaging to extend the shelf life of products, preserving their quality during storage. MAP has proven to be beneficial and significant for various products, both in laboratory and industrial settings. This article presents an overview of MAP packaging types and their evolution, including active, passive, and porous MAP, as well as the use of diverse gas combinations. Active MAP changes the atmosphere content during packaging while passive MAP alters the packaging atmosphere's composition through breathing or gas exchange with the environment. Porous MAP is a hybrid approach that allows gas exchange between the product and the environment. Furthermore, this article discusses the impact of different gas mixtures on product quality and safety, emphasizes the importance of selecting appropriate packaging materials for each application, and offers valuable insights into MAP packaging options, enabling informed decisions to optimize quality and ensure product longevity.

Keywords: Modified Atmosphere Packaging, Perforated Packaging, High-Oxygen MAP Packaging

*Corresponding Author E-mail: sedaghat@um.ac.ir