



پلاسمای سرد روشی نوین در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی

خدیجه شریف^{۱*}، هاجر شکرچی زاده^۲

۱- فارغ التحصیل صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان ایران، ۸۴۱۵۶۸۳۱۱

۲- دانشیار گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، ۸۴۱۵۶۸۳۱۱

* ایمیل نویسنده مسئول: sharifkhadije60@gmail.com

چکیده

فناوری پلاسما یکی از فناوری‌های نوین است که امروزه کاربردهای زیادی در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی پیدا کرده است. پلاسما در واقع به حالت چهارم ماده گفته می‌شود که دارای کاربردهای زیادی از جمله سترون‌سازی لوازم و تجهیزات پزشکی، تجهیزات مورد استفاده در صنایع غذایی و فرآوری مواد غذایی است. فناوری پلاسمای سرد (CP) به عنوان یک روش غیرحرارتی امیدبخش در صنایع غذایی، به ویژه در بسته‌بندی مواد غذایی، ظهور کرده است. هدف از این بررسی، ارائه یک نمای کلی و جامع از وضعیت کنونی فناوری پلاسمای سرد در جنبه‌های مختلف بسته‌بندی مواد غذایی است. در ابتدا، محدودیت‌های روش‌های بسته‌بندی سنتی مورد بحث قرار گرفته و مزایای فناوری پلاسمای سرد به عنوان یک جایگزین پایدار برجسته شده است. بخش اصلی این بررسی به بررسی انواع مختلف منابع پلاسمای سرد، اثرات آن‌ها بر مواد بسته‌بندی و توانایی آن‌ها در افزایش ایمنی و کیفیت مواد غذایی می‌پردازد. مطالعات موردی و مقایسه‌ها با سایر روش‌های غیرحرارتی بسته‌بندی نیز ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: پلاسما، بسته بندی، روش‌های غیرحرارتی، روش‌های حرارتی.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به سلامت غذا، تقاضا برای فرآورده‌های غذایی با کیفیت بالا و حداقل فرآوری افزایش یافته است. تغییر سبک زندگی، رشد شهرنشینی و نیاز به غذاهای آماده نیز از دیگر دلایل افزایش توجه به نوآوری در صنعت غذا است. تأمین رژیم‌های غذایی سالم برای جمعیت رو به افزایش جهان، که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر برسد، از طریق افزایش تولید غذا تا حدی قابل دستیابی خواهد بود. با این حال، برای دستیابی به این هدف، لازم است ضایعات غذایی در سرتاسر زنجیره تأمین، از تولید تا مصرف، کاهش یابد و بهبودهای پایداری در نگهداری، محتوای تغذیه‌ای، ایمنی و مدت زمان ماندگاری غذاها حاصل شود. در همین راستا، فناوری‌های نوین غیرحرارتی به عنوان جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی حرارتی در صنایع غذایی شناخته می‌شوند. این فناوری‌ها نه تنها می‌توانند کیفیت تغذیه‌ای، طعم، رنگ و بافت غذا را حفظ کنند، بلکه به کاهش مصرف انرژی، حفظ محیط زیست، افزایش بهره‌وری خطوط تولید و بهبود ایمنی غذایی نیز کمک کنند. فناوری‌های نوظهور مانند فرآوری با فشار بالا (HPP)، میدان‌های الکتریکی پالسی (PEF)، پلاسما سرد، تابش UV و فراصوت برای بهبود کیفیت غذا و کارایی فرآوری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. این فناوری‌ها می‌توانند عمر مفید غذا را افزایش دهند و خواص مواد مغذی را حفظ کنند. که یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنعت غذا که می‌توان از فناوری‌های نوین غیرحرارتی استفاده کرد صنعت بسته بندی می‌باشد که با تکیه بر آن می‌توان به کاهش ضایعات و آلودگی‌های ثانویه کمک به سزایی کرد. پلاسمای سرد به عنوان یک فناوری پردازش مواد غذایی غیر حرارتی امروزه مطرح شده است. از پلاسما در صنایع شیشه، الکترونیک، منسوجات، کاغذ و سایر محصولات استفاده شده است. در سال‌های اخیر پلاسمای سرد به



عنوان یک روش نوین برای بهبود ایمنی مواد غذایی مطرح شده است [۲]. با این حال، جنبه‌های فنی پلاسمای سرد هنوز برای تولیدکنندگان، فراوری کنندگان و محققان مواد غذایی تا حد زیادی ناآشنا است. در این تحقیق به نقش پلاسمای سرد به عنوان یک روش نوین غیرحرارتی جهت استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی پرداخته می‌شود.

۲- روش های نوین غیر حرارتی

روش‌های غیرحرارتی فراوری مواد غذایی، هر کدام با مکانیسم و کاربردهای منحصر به فردی، جایگزین‌های جذابی برای روش‌های سنتی مبتنی بر حرارت هستند. در حالی که هدف اصلی مشترک این روش‌ها افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت مواد غذایی است، تفاوت‌های کلیدی در نحوه عملکرد، مزایا، معایب و محدودیت‌های آن‌ها وجود دارد که انتخاب مناسب‌ترین روش را به یک تصمیم مهم تبدیل می‌کند. روش‌های غیرحرارتی انواع مختلفی دارد که شامل (۱) فراوری با فشار بالا (High-Pressure Processing, HPP): این فراوری با اعمال فشار بسیار بالا به مواد غذایی، میکروارگانیسم‌ها را غیرفعال کرده و ماندگاری را افزایش می‌دهد. مزیت اصلی فراوری با فشار بالا حفظ ویتامین‌ها و طعم طبیعی مواد غذایی در مقایسه با روش‌های حرارتی رایج است. با این حال، هزینه بالای تجهیزات و محدودیت در ابعاد بسته‌بندی می‌تواند از معایب آن باشد [۳]. (۲) میدان‌های الکتریکی پالسی (Pulsed Electric Fields, PEF): این فراوری نیز از طریق اعمال پالس‌های الکتریکی قوی، ساختار سلولی میکروارگانیسم‌ها را تخریب کرده و آن‌ها را غیرفعال می‌کند. میدان الکتریکی پالسی به دلیل مصرف انرژی پایین و حفظ کیفیت حسی مواد غذایی مورد توجه است، اما اثربخشی آن بر روی اسپورها کمتر بوده و نیاز به میدان الکتریکی بالایی دارد [۴]. (۳) تابش فرابنفش (Ultraviolet Radiation, UV): این یک روش ضدعفونی‌کننده سطحی است که با تابش اشعه فرابنفش به سطح مواد غذایی یا بسته‌بندی، میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برد. تابش فرابنفش به دلیل هزینه پایین و عدم ایجاد حرارت، روشی مقرون به صرفه است، اما نفوذ کمی داشته و ممکن است بر ویتامین‌های حساس تأثیر بگذارد [۵]. (۴) فراصوت (Ultrasound): این روش با استفاده از امواج صوتی با فرکانس بالا، اثرات مختلفی مانند همگن‌سازی، استخراج و غیرفعال‌سازی میکروبی را ایجاد می‌کند. فراصوت به دلیل بهبود کیفیت و افزایش سرعت فرآیند مورد توجه است، اما اثربخشی آن بر روی برخی میکروارگانیسم‌ها کمتر بوده و نیاز به بهینه‌سازی پارامترها دارد [۶]. (۵) پلاسمای سرد (Cold Plasma, CP): این روش یک روش نوین است که با استفاده از گازهای یونیزه شده، میکروارگانیسم‌ها را غیرفعال می‌کند. پلاسمای سرد قابلیت استفاده در دماهای پایین را داشته و نیازی به مواد شیمیایی ندارد. با این حال، هزینه بالای تجهیزات و نیاز به بهینه‌سازی پارامترها می‌تواند از چالش‌های این روش باشد [۷]. از مهمترین کاربردهای پلاسمای سرد، می‌توان به استریلیزه کردن بسته بندی مواد غذایی اشاره کرد.

۳- پلازما

اصطلاح پلازما اولین بار در سال ۱۹۲۸ توسط ایروینگ لانگمویر استفاده شد و پلازما را به عنوان حالت چهارم ماده معرفی کرد [۸]. پلازما به گازی اطلاق می‌شود که به صورت جزئی یا کلی یونیزه شده است و ضرورتاً از گونه‌های واکنش‌پذیر شیمیایی مانند مولکول‌ها، اتم‌ها یا یون‌های مثبت و منفی، رادیکال‌های آزاد، فوتون‌ها، الکترون‌ها و غیره تشکیل شده است و دارای شارژ خالص هستند چون تعداد شارژهای مثبت و منفی که حمل می‌کند باهم برابرند [۹]. الکترون‌ها و فوتون‌های موجود در گازها اغلب با عنوان گونه‌های سبک و بقیه اجزا به عنوان گونه‌های سنگین نامیده می‌شوند. این فناوری در فشارها و توان‌های پایین تولید می‌شود و نوع گاز به کار رفته و روشی که برای تولید پلازما به کار می‌رود، تعیین کننده ماهیت و کمیت گونه‌های فعال تولید شده است.

به طور کلی پلازما را به دو دسته کلی پلاسمای سرد و پلاسمای گرم تقسیم می‌کنند. پلاسمای گرم با دمای بالا شامل یون‌ها، الکترون‌ها و اجزای خنثی است که در فاز تعادل حرارتی (Thermal equilibrium) هستند. پلاسمای دمای پایین به دو دسته (LTE) Local thermodynamic equilibrium و (NTP) equilibrium non local thermodynamic تقسیم



می‌شوند. در تخلیه‌های گازی با فشار پایین، آهنگ برخورد بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز به اندازه‌ی کافی نیست، بنابراین یک تعادل غیردمایی بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز وجود دارد. چنان که ذرات پرنرژی را بیشتر، الکترون‌ها تشکیل می‌دهند و در نتیجه دمای الکترون‌ها به شدت بالاتر از ذرات سنگین پلاسما خواهد بود. در این نوع پلاسما، دمای الکترون برای مثال می‌تواند تا ۲۰۰۰ کلوین برسد اما دمای گاز نزدیک به دمای اتاق باقی می‌ماند. این نوع تکنولوژی تولید پلاسما را پلاسمای سرد می‌نامند که گستره دمایی آن بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ کلوین است.

در تخلیه‌های گازی با فشار بالا، برخورد بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز بیشتر است. این پلاسمای گرم معمولاً توسط تخلیه قوسی یا فرکانس رادیویی که فشار بالا است و برخورد بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز اتفاق می‌افتد. در این حالت شرایط تعادل ترمودینامیکی بر آن حاکم است. این نوع پلاسما را، پلاسمای گرم می‌نامند که گستره دمایی آن از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کلوین تغییر می‌کند [۱۰].

۳-۱ منابع پلاسمای سرد

پلاسمای سرد (CP) می‌تواند با استفاده از روش‌های مختلفی تولید شود که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. یکی از منابع پلاسمای سرد، تخلیه سد دی‌الکتریک (DBD) می‌باشد که یکی از رایج‌ترین منابع پلاسمای سرد است. این منبع شامل دو الکتروود است که توسط یک ماده دی‌الکتریک مانند شیشه یا سرامیک از هم جدا شده‌اند. هنگامی که ولتاژ بالایی بین الکتروودها اعمال می‌شود، یک پلاسما در شکاف بین موانع دی‌الکتریک ایجاد می‌شود [۱۱]. تخلیه سد دی‌الکتریک برای تیمار سطوح بزرگ مناسب است و می‌تواند در فشار اتمسفر عمل کند. از دیگر منابع پلاسمای سرد، جت پلاسمای فشار اتمسفر (APPJ) می‌باشد که جت پلاسمای فشار اتمسفر یک ستون پلاسما تولید می‌کند که به هوای اطراف پرتاب می‌شود. ستون پلاسما می‌تواند به سطح ماده مورد تیمار هدایت شود [۱۲]. جت پلاسمای فشار اتمسفر برای تیمار موضعی مناسب است. از پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفری برای انعقاد خون و میکروب زدایی سطح زخم استفاده می‌شود [۱۳]. منبع دیگر پلاسمای سرد، تخلیه کرونا می‌باشد که تخلیه کرونا یک تخلیه الکتریکی موضعی است که به همراه یونیزاسیون هوا در مجاورت الکتروود با شعاع انحنای کوچک و ولتاژ بالا رخ می‌دهد. برای تخلیه کرونا معمولاً از دو الکتروود، یکی با شعاع انحنای کوچک و دیگری با شعاع انحنای بزرگ مانند سیم و صفحه استفاده می‌شود. اعمال ولتاژ بالا به یک الکتروود تیز، مانند سیم یا سوزن ایجاد می‌شود. میدان الکتریکی بالا در اطراف الکتروود، گاز اطراف را یونیزه می‌کند و یک پلاسما ایجاد می‌کند. تخلیه کرونا برای تیمار مناطق کوچک مناسب است و می‌تواند برای اصلاح سطح استفاده شود. این منبع دارای توانایی بالایی در حذف مواد آلی طبیعی است [۱۴]. و در آخر پلاسمای فرکانس رادیویی (RF) می‌باشد که پلاسمای فرکانس رادیویی با اعمال توان فرکانس رادیویی به یک گاز تولید می‌شود. گاز توسط میدان الکتریکی یونیزه می‌شود و یک پلاسما ایجاد می‌کند. پلاسمای رادیویی برای تیمار حجم‌های بزرگ مناسب است و می‌تواند برای استریلیزاسیون استفاده شود [۱۵].

۳-۲ دسته بندی‌های فناوری پلاسمای سرد

فناوری‌های مختلفی می‌توانند برای تولید پلاسمای سرد استفاده شوند که در فشار اتمسفر یا در درجه‌ای از خلاء جزئی کار می‌کنند. یک گاز ساده مانند هوا یا نیتروژن ممکن است مورد استفاده قرار گیرد، یا سیستم ممکن است به مخلوطی از گازهای نجیب مانند هلیوم، آرگون یا نئون متکی باشد. انرژی محرک معمولاً الکتریسیته است، اما ممکن است امواج مایکروویو یا لیزر نیز باشد. سیستم‌های پلاسمای سرد متنوع و انعطاف پذیر هستند و سیستم‌های جدید به طور مداوم ساخته و آزمایش می‌شوند.

سیستم‌های پلاسمای سرد که برای فرآوری مواد غذایی در نظر گرفته شده‌اند، به طور کلی در یکی از سه دسته قرار می‌گیرند که بر اساس محل قرارگیری غذا نسبت به پلاسمای سرد تولید شده تعریف می‌شوند. این تمایزات ناشی از نیمه عمر و واکنش پذیری گونه‌های فعال باردار در داخل پلاسما است. این‌ها مناطق مختلف واکنش‌پذیری را هنگام قرارگیری غذا در موارد زیر



تعیین می کنند: (۱) در فاصله قابل توجهی از نقطه تولید؛ (۲) نسبتاً نزدیک به نقطه تولید؛ یا (۳) در داخل میدان تولید پلاسما [۱۶].

دسته اول "تصفیه از راه دور" است که در آن پلاسمای تولید شده با فاصله روی غذا منتقل می شود تا تصفیه شود (معمولاً توسط جریان گاز خوراک). سیستم های این نوع از نظر فیزیکی غذا را از نقطه تولید جدا می کنند [۱۷]. این امر طراحی و بهره برداری را ساده می کند و همچنین انعطاف پذیری را افزایش می دهد. با این حال، در طول زمان حرکت، الکترون های آزاد ممکن است با سایر محصولات پلاسما با بالاترین واکنش پذیری مانند یون های سنگین یا گونه های تک اتمی اکسیژن یا نیتروژن دوباره ترکیب شوند. تا زمانی که این پلاسمای "خاموش شده" به غذا می رسد، ترکیب آن محدود به گونه های شیمیایی ثانویه، یعنی فعالیت کمتر، محصولات واکنش شیمیایی با عمر طولانی تر است [۱۸].

دسته دوم "تصفیه مستقیم" است که در آن پلاسمای فعال مستقیماً روی غذا اعمال می شود. مانند تصفیه از راه دور، پلاسما توسط گاز خوراک منتقل می شود. از آنجایی که غذا نسبتاً نزدیک به محل تولید پلاسمای سرد قرار دارد، قبل از اینکه در یک واکنش خاموش کننده دوباره ترکیب شوند، اندازه کامل گونه های شیمیایی فعال را دریافت می کند. بدون وجود اتمسفر معمولی بین دستگاه تولید پلاسما و غذا، شدت UV در سطح تصفیه شده بالاتر است. بسته به طراحی، سیستم های تصفیه مستقیم برای غذاهایی با اشکال و ساختارهای مختلف انعطاف پذیر هستند. با این حال، پتانسیل هدایت الکتریکی در خود غذا یک نکته مهم در تعیین کالاهای مناسب برای تصفیه است [۱۹].

دسته سوم سیستم های "تماس الکتروود" است که در آن غذا بین الکترودهای تولید پلاسما قرار می گیرد. از آنجایی که کل سطح مورد نظر برای تصفیه از نظر فیزیکی در داخل میدان تولید پلاسمای سرد قرار دارد، غذا در معرض بالاترین شدت ممکن از الکترون های آزاد، رادیکال ها، یون ها و اشعه ماوراء بنفش و به گسترده ترین ترکیب عوامل ضد میکروبی فعال قرار می گیرد [۲۰].

۴- کاربردهای پلاسمای سرد در صنایع غذایی:

پلاسمای سرد در صنایع غذایی کاربردهای گسترده ای دارد. از جمله کاربردهای پلاسمای سرد می توان به خاصیت میکروب-زدایی آن اشاره کرد. پلاسمای سرد می تواند به طور موثر میکروارگانیسم های موجود در سطح میوه ها، سبزیجات، گوشت، مرغ، ماهی و سایر مواد غذایی را از بین ببرد. این روش می تواند جایگزینی مناسب برای شستشو با آب و مواد ضد عفونی کننده شیمیایی باشد و از آلودگی مجدد مواد غذایی جلوگیری کند. که همین امر باعث افزایش ماندگاری محصولات غذایی می شود. این روش می تواند باعث کاهش فساد و افزایش زمان نگهداری مواد غذایی شود و به کاهش ضایعات مواد غذایی کمک کند. از دیگر ویژگی های پلاسمای سرد می توان به بهبود ویژگی های حسی و فیزیکی مواد غذایی اشاره کرد [۲]. این روش می تواند باعث بهبود رنگ، طعم، بافت و ظاهر مواد غذایی شود و کیفیت کلی محصول را افزایش دهد. همچنین پلاسمای سرد می تواند خواص عملکردی پروتئین ها و نشاسته ها را تغییر دهد و کاربردهای جدیدی را برای آن ها ایجاد کند [۲۱]. این تغییر می تواند باعث بهبود خواص امولسیون کنندگی، کف کنندگی و ژل کنندگی پروتئین ها و نشاسته ها شود و امکان استفاده از آن ها را در محصولات غذایی جدید فراهم کند. از پلاسمای سرد می توان در بسته بندی مواد غذایی استفاده کرد. پلاسمای سرد می تواند برای استریل کردن مواد بسته بندی و افزایش ایمنی بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. این روش می تواند باعث از بین رفتن میکروارگانیسم های موجود در سطح مواد بسته بندی شود و از آلودگی مواد غذایی جلوگیری کند [۲۲].

۵- بسته بندی:

بسته بندی روشی مبتنی بر علم می باشد و سرمایه گذاری در صنایع بسته بندی علاوه بر افزایش ارزش افزوده کالاهای صادراتی و کاهش ضایعات آن ها به پیشبرد فروش این کالاها در بازارهای خارجی کمک می کند. بسته بندی در صنایع غذایی به عنوان



محافظتی تعریف شده است که از آن در برابر تکه تکه شدن یا آلودگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محافظت می‌کند. فرایند بسته‌بندی، مزایایی از جمله حمل‌ونقل مواد غذایی در مسیرهای طولانی بدون اینکه به ماده غذایی آسیبی وارد شود را فراهم می‌کند. می‌توان گفت هدف اولیه بسته‌بندی مواد غذایی محافظت از آن در برابر عواملی از جمله اکسیژن، بخار آب، نور ماوراءبنفش و آلودگی‌های شیمیایی و میکروبیولوژیکی است. در این سال‌ها طراحی بسته‌بندی صنعتی و عملکرد فنی به طور مداوم در حال پیشرفت بوده است تا نیازهای مصرف‌کننده را بهتر ارزیابی کند که این بهترین راه برای اطمینان از فروش بالای محصول است. در دنیای امروز، بسته‌بندی مواد غذایی فراتر از یک محافظ ساده است؛ این یک فناوری پیچیده است که نقش اساسی در زنجیره تامین غذا ایفا می‌کند. با افزایش جمعیت جهان و تقاضا برای مواد غذایی با ماندگاری طولانی‌تر، بسته‌بندی مناسب می‌تواند به کاهش ضایعات مواد غذایی و تضمین دسترسی به غذا برای همه کمک کند [۲۳].

در طول دهه‌های گذشته، روش‌های مختلف بسته‌بندی سنتی مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده (MAP)، بسته‌بندی خلاء، و روش‌های مبتنی بر حرارت، به‌طور گسترده در صنایع غذایی به کار گرفته شده‌اند. بسته‌بندی MAP شامل تغییر ترکیب گازهای داخل بسته‌بندی برای کاهش سرعت فساد و رشد میکروارگانیسم‌ها است. بسته‌بندی خلاء، با حذف هوا از بسته‌بندی، به جلوگیری از اکسیداسیون و رشد باکتری‌های هوازی کمک می‌کند [۲۴]. روش‌های مبتنی بر حرارت مانند پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون، میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برند اما ممکن است بر کیفیت حسی و تغذیه‌ای مواد غذایی تأثیر منفی بگذارند. با این حال، این روش‌های سنتی دارای محدودیت‌هایی هستند. برخی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در شرایط MAP یا خلاء رشد کنند، و روش‌های مبتنی بر حرارت می‌توانند باعث از بین رفتن مواد مغذی و تغییر در بافت و طعم مواد غذایی شوند. علاوه بر این، بسیاری از مواد بسته‌بندی سنتی، مانند پلاستیک‌های مبتنی بر نفت، مشکلات زیست‌محیطی ایجاد می‌کنند زیرا تجزیه‌پذیر نیستند و می‌توانند به آلودگی محیط‌زیست کمک کنند.

در مواجهه با این چالش‌ها، صنایع غذایی به دنبال فناوری‌های نوآورانه بسته‌بندی است که بتواند به طور مؤثر از مواد غذایی محافظت کند، ماندگاری آن‌ها را افزایش دهد و در عین حال اثرات منفی بر کیفیت مواد غذایی و محیط‌زیست را به حداقل برساند. فناوری‌های فرآوری غیرحرارتی، از جمله فرآوری با فشار بالا (HPP)، میدان‌های الکتریکی پالسی (PEF)، و تابش فرابنفش (UV)، به عنوان جایگزین‌های امیدوارکننده برای روش‌های سنتی ظهور کرده‌اند [۳].

با افزایش آگاهی از مسائل زیست‌محیطی، استفاده از مواد بسته‌بندی پایدار و دوستدار محیط‌زیست اهمیت بیشتری پیدا کرده است. از بین فناوری‌های نام برده شده، فناوری پلاسمای سرد می‌تواند به کاهش استفاده از مواد بسته‌بندی سنتی و توسعه راهکارهای پایدارتر کمک کند. بسته‌بندی نامناسب می‌تواند منجر به آلودگی مواد غذایی و افزایش خطر بیماری‌های ناشی از غذا شود. فناوری پلاسمای سرد (CP) به عنوان یک روش فرآوری غیرحرارتی پیشرفته، توجه فزاینده‌ای را در صنایع غذایی به خود جلب کرده است.

۶- بررسی فناوری پلاسمای سرد در بسته بندی

پلاسمای سرد یک فرآیند فیزیکی است که با ایجاد مخلوطی از یون‌ها و الکترون‌ها می‌تواند با ضدعفونی و استریل‌سازی داخلی بسته‌بندی، در بسته‌بندی مواد غذایی نقش مهمی ایفا کند. فرآیند استریل پلاسمای سرد می‌تواند در هر یک از سه مرحله قبل، حین و بعد از بسته‌بندی، یا بسته به ظرفیت تولیدکننده در ترکیبی از این سه مرحله برای اثربخشی بیشتر اعمال شود. قبل: مواد غذایی جامد و یا مایع قبل از بسته‌بندی نیاز به بستری پاکیزه و عاری از پاتوژن‌ها دارند. پلاسمای سرد اتمسفری با انتشار یون‌ها و رادیکال‌های قدرتمند می‌تواند این پاتوژن‌ها را به حد قابل توجهی منهدم کند. برای این موضوع می‌توان از پلاسمای به‌صورت پردازش مستقیم (برای میوه‌ها و سایر مواد غذایی جامد) و به‌صورت پردازش غیرمستقیم (برای مواد غذایی مایع) در محل نگهداری این محصولات (مثل انبارها) بهره برد.



حین: سطوح مواد غذایی بدون استریل مناسب رشد انواع باکتری هستند. لذا تا قبل از بسته‌بندی باید این سطوح استریل شوند. پردازش پلاسمایی در این مرحله می‌تواند در خطوط تولید و کمی قبل از بسته‌بندی کامل انجام شود. پردازش پلاسمای برای جامدات به صورت پردازش مستقیم و برای مایعات از طریق تزریق فرآورده‌های پلاسمایی صورت می‌پذیرد. بعد: پس از بسته‌بندی مواد غذایی، به منظور افزایش دوام آن‌ها بدون به کارگیری مواد افزودنی و شیمیایی رایج، می‌توان از تخلیه سد دی‌الکتریک پلاسمایی برای ایجاد فرآورده‌های فعال استفاده کرد. در این حالت، هوای باقی‌مانده در بسته‌بندی‌ها پس از قرارگیری در معرض الکترودها بدون نیاز به بازکردن دوباره بسته‌بندی کاملاً ضد عفونی شده و گونه‌های فعال بسیاری ایجاد می‌شود. این گونه‌های فعال می‌توانند مقادیر باقی‌مانده از پاتوژن‌های روی سطح مواد غذایی را نابود کنند.

۷- کاربردهای پلاسمای سرد در بسته‌بندی مواد غذایی

فناوری پلاسمای سرد دارای طیف گسترده‌ای از کاربردها در بسته‌بندی مواد غذایی است، از جمله ضد عفونی سازی سطحی، اصلاح خواص مواد بسته‌بندی، بسته‌بندی فعال و ضد عفونی سازی محصولات غذایی داخل بسته‌بندی [۲۵].

۷-۱ ضد عفونی سازی سطحی مواد بسته‌بندی

مواد بسته‌بندی می‌توانند در طول تولید، جابجایی و ذخیره‌سازی به میکروارگانیسم‌ها آلوده شوند. پلاسمای سرد می‌تواند برای ضد عفونی سازی سطوح مواد بسته‌بندی استفاده شود و خطر آلودگی مواد غذایی را کاهش دهد [۲۶]. تیمار پلاسمای سرد می‌تواند به طور موثر باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها را روی مواد بسته‌بندی مختلف از جمله پلاستیک، کاغذ و فلزات غیرفعال کند [۲۶].

۷-۲ اصلاح خواص مواد بسته‌بندی

تیمار پلاسمای سرد می‌تواند خواص سطحی مواد بسته‌بندی را تغییر دهد و خواص مانع، چسبندگی و قابلیت چاپ آن‌ها را بهبود بخشد [۲۵]. پلاسمای سرد می‌تواند برای ایجاد یک لایه نازک از مواد اصلاح شده بر روی سطح ماده بسته‌بندی استفاده شود، که می‌تواند مقاومت آن را در برابر رطوبت، اکسیژن و سایر گازها افزایش دهد [۲۶]. پلاسمای سرد همچنین می‌تواند برای بهبود چسبندگی پوشش‌ها و جوهرها به مواد بسته‌بندی استفاده شود [۲۵].

۷-۳ کاربردهای بسته‌بندی فعال

بسته‌بندی فعال نوعی بسته‌بندی است که ترکیبات فعالی را در خود جای می‌دهد که می‌توانند با محصول غذایی یا محیط اطراف تعامل داشته باشند تا ماندگاری را افزایش دهند یا ایمنی مواد غذایی را بهبود بخشند [۲۷]. پلاسمای سرد می‌تواند برای وارد کردن عوامل ضد میکروبی یا آنتی‌اکسیدان‌ها به مواد بسته‌بندی استفاده شود و سیستم‌های بسته‌بندی فعال ایجاد کند. تیمار پلاسمای سرد همچنین می‌تواند برای تولید گونه‌های فعال در داخل بسته‌بندی استفاده شود و یک اتمسفر اصلاح شده ایجاد کند که رشد میکروبی را مهار کرده و ماندگاری را افزایش دهد [۲۶].

۷-۴ ضد عفونی سازی محصولات غذایی داخل بسته‌بندی

پلاسمای سرد می‌تواند برای ضد عفونی سازی محصولات غذایی داخل بسته‌بندی استفاده شود و خطر بیماری‌های ناشی از غذا را کاهش دهد. تیمار پلاسمای سرد می‌تواند به طور موثر میکروارگانیسم‌ها را بر روی سطح محصولات غذایی بدون تأثیر قابل توجهی بر کیفیت یا خواص حسی آن‌ها غیرفعال کند. پلاسمای سرد می‌تواند برای تیمار انواع محصولات غذایی استفاده شود [۲۵].



۸- بررسی اثرات پلاسمای سرد بر خواص فیزیکی، شیمیایی و حسی مواد غذایی بسته‌بندی شده

تیمار پلاسمای سرد می‌تواند اثرات مختلفی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و حسی مواد غذایی بسته‌بندی شده داشته باشد. این اثرات به نوع ماده غذایی، نوع بسته‌بندی، شرایط تیمار و نوع پلاسمای سرد مورد استفاده بستگی دارند. پلاسمای سرد می‌تواند باعث تغییر رنگ، بافت و ظاهر مواد غذایی شود. به عنوان مثال، تیمار پلاسمای سرد می‌تواند باعث بهبود رنگ گوشت و مرغ شود. همچنین، پلاسمای سرد می‌تواند باعث نرم شدن بافت میوه‌ها و سبزیجات شود. پلاسمای سرد می‌تواند باعث تغییر ترکیبات شیمیایی مواد غذایی شود. به عنوان مثال، تیمار پلاسمای سرد می‌تواند باعث کاهش میزان چربی و افزایش میزان پروتئین در گوشت و مرغ شود. همچنین، پلاسمای سرد می‌تواند باعث کاهش میزان قند و افزایش میزان ویتامین‌ها در میوه‌ها و سبزیجات شود. پلاسمای سرد می‌تواند باعث تغییر طعم، بو و مزه مواد غذایی شود. به عنوان مثال، تیمار پلاسمای سرد می‌تواند باعث بهبود طعم و بوی ماهی و غذاهای دریایی شود. همچنین، پلاسمای سرد می‌تواند باعث کاهش طعم تلخ برخی از سبزیجات شود.

۹- نتیجه‌گیری

فناوری پلاسمای سرد یک رویکرد غیرحرارتی امیدبخش و دارای پتانسیل بالایی در بهبود بسته‌بندی مواد غذایی است. پلاسمای سرد می‌تواند برای ضدعفونی‌سازی سطوح مواد بسته‌بندی، اصلاح خواص مواد بسته‌بندی، ایجاد بسته‌بندی فعال و ضدعفونی‌سازی مواد غذایی بسته‌بندی شده، استفاده شود. پلاسمای سرد دارای مزایای متعددی نسبت به سایر روش‌های بسته‌بندی است و می‌تواند به افزایش ایمنی، کیفیت و ماندگاری مواد غذایی کمک کند. در حالی که فناوری پلاسمای سرد محدودیت‌هایی دارد، تلاش‌های مداومی در حال رسیدگی به این چالش‌ها است. آینده فناوری پلاسمای سرد در بسته‌بندی مواد غذایی روشن است، با این پتانسیل که با بهبود ایمنی مواد غذایی، افزایش ماندگاری و کاهش ضایعات مواد غذایی، انقلابی در صنایع غذایی ایجاد کند. با ادامه تحقیقات و توسعه در این زمینه، انتظار می‌رود که پلاسمای سرد نقش مهمی در آینده صنعت بسته‌بندی مواد غذایی ایفا کند.

مراجع

- [۱] Kubo, M. T., Baicu, A., Erdogdu, F., Poças, M. F., Silva, C. L., Simpson, R., Augusto, P. E. (2023). Thermal processing of food: Challenges, innovations and opportunities. A position paper. Food reviews international. 39(6), 3344-3369.
- [۲] Niemira, B. A. (2014). Decontamination of foods by cold plasma. In Emerging technologies for food processing (pp. 327-333). Academic Press.
- [۳] Barbosa-Cánovas, G. V., et al. (2005). High pressure processing of foods. Journal of Food Science, 70(2), R34-R43.
- [۴] Raso, J., et al. (1998). Inactivation of microorganisms by pulsed electric fields. Trends in Food Science & Technology, 9(4), 155-168.
- [۵] Guerrero-Beltrán, J. A., et al. (2009). Application of ultraviolet light in food preservation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 8(2), 1-17.
- [۶] Kentish, S. E., Ashokkumar, M. (2011). Applications of power ultrasound in food processing. Annual Review of Food Science and Technology, 2, 155-178.
- [۷] Misra, N. N., et al. (2011). Cold plasma in food processing. Food Engineering Reviews, 3(3), 159-170.
- [۸] Thirumdas R, Kadam D, Annapure U. (2017). "Cold plasma: an alternative technology for the starch modification." Food Biophysics. 2017;12(1):129-39.



- [9] Misra, N. N., Tiwari, B. K., Raghavarao, K. S. M. S., Cullen, P. J. (2011). Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3, 159-170.
- [10] علیایی، برنجی، شبلا، یحیایی سویانی، ناطقی. (۲۰۲۲). پلاسمای سرد و کاربردهای آن در صنایع غذایی. *مجله فرآوری و ایمنی مواد غذایی*. ۲(۳)، ۲۲۱-۲۳۴.
- [11] Kugelschatz, U. (2003). Dielectric barrier discharges: principle and applications. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 23(1), 1-46.
- [12] Hamouda, I. (2020). Synthesis and characterization of plasma-treated liquid and hydrogels for bone cancer therapy.
- [13] شهبازی راد، عباسی دوانی، اطاعتی. (۲۰۱۹). طراحی و ساخت جت پلاسمای غیرحرارتی فشار اتمسفر با گاز کاری آرگون برای کاربرد در بهبود زخم. *مجله پژوهش فیزیک ایران*. ۱۹(۱۲)، ۴۸۷-۴۷۹.
- [14] زمانی عارف، خوشخو روح اله، هاشم زاده غلامرضا. (۲۰۲۳). بررسی تجربی سه مدل بالا رونده با استفاده از تخلیه کرونا مثبت و منفی.
- [15] Lassen, K. S., Nordby, B., Grün, R. (2005). The dependence of the sporicidal effects on the power and pressure of RF-generated plasma processes. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 74(1), 553-559.
- [16] Niemira, B. A., & Gutsol, A. (2011). Nonthermal plasma as a novel food processing technology. *Nonthermal processing technologies for food*. 272-288.
- [17] Gadri, R. B., Roth, J. R., Montie, T. C., Kelly-Wintenberg, K., Tsai, P. P. Y., Helfritch, D. J., Team, U. P. S. (2000). Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP). *Surface and Coatings Technology*. 131(1-3), 528-541.
- [18] Chirokov, A., Gutsol, A., Fridman, A. (2005). Atmospheric pressure plasma of dielectric barrier discharges. *Pure and applied chemistry*. 77(2), 487-495.
- [19] Laroussi, M., & Lu, X. (2005). Room-temperature atmospheric pressure plasma plume for biomedical applications. *Applied physics letters*. 87(11).
- [20] Fridman, G., Peddinghaus, M., Balasubramanian, M., Ayan, H., Fridman, A., Gutsol, A., Brooks, A. (2006). Blood coagulation and living tissue sterilization by floating-electrode dielectric barrier discharge in air. *Plasma Chemistry and plasma processing*, 26, 425-442.
- [21] Wu, Y., Wu, Q., Lin, H., Pang, J., Zhou, X., Zhang, B. Cold Atmospheric Plasma Pre-Treatment Extends the Shelf-Life of Ready-to-Eat Drunk Red Shrimp (*Solenocera Crassicornis*) Stored at Chilled Conditions. *Available at SSRN 4545498*.
- [22] Pankaj, S. K., Bueno-Ferrer, C., Misra, N. N., Milosavljević, V., O'donnell, C. P., Bourke, P., Cullen, P. J. (2014). Applications of cold plasma technology in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 35(1), 5-17.
- [23] Marsh, K., Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of food science*. 72(3), R39-R55.
- [24] Floros, J. D., & Matsos, K. I. (2005). Introduction to modified atmosphere packaging. In *Innovations in food packaging* (pp. 159-172). Academic Press.
- [25] Pankaj, S. K., Thomas, S. (2016). Cold plasma applications in food packaging. In *Cold plasma in food and agriculture* (pp. 293-307). Academic Press.
- [26] Sani, I. K., Aminoleslami, L., Mirtalebi, S. S., Sani, M. A., Mansouri, E., Eghbaljoo, H., Kazemzadeh, B. (2023). Cold plasma technology: Applications in improving edible films and food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 37, 101087.
- [27] Prasad, P., Kochhar, A. (2014). Active packaging in food industry: a review. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 8(5), 1-7.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

[28] Jadhav, H. B., Annapure, U. S., Deshmukh, R. R. (2021). Non-thermal technologies for food processing. *Frontiers in Nutrition*. 8, 657090.