



نقش پرتودهی در حفظ کیفیت و افزایش ایمنی فرآورده‌های دریایی

مریم وفائی

دانشجوی دکتری فرآوری محصولات شیلاتی، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*ایمیل نویسنده مسئول: Vafaeimaryam69@gmail.com

چکیده

پرتودهی مواد غذایی به عنوان یکی از روش‌های نوین و مؤثر در افزایش ایمنی میکروبی و بهبود ماندگاری محصولات غذایی، به‌ویژه فرآورده‌های دریایی، در دهه‌های اخیر مورد توجه گسترده قرار گرفته است. این مقاله مروری به بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه تأثیر پرتودهی، به‌ویژه پرتوی گاما و الکترونی، بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی آبزیان و فرآورده‌های آن‌ها می‌پردازد. این فناوری بدون اعمال دمای بالا، ساختار، بافت و ترکیبات حساس به گرما را در مواد غذایی حفظ می‌کند و هم‌زمان ایمنی میکروبی را افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج گزارش‌شده، پرتودهی با دوزهای پایین (کمتر از ۵ کیلوگری) موجب کاهش قابل توجه بار میکروبی و مهار رشد باکتری‌های بیماری‌زا و فسادزا شده و در عین حال تأثیر منفی محسوسی بر ویژگی‌های حسی از جمله بافت، طعم، رنگ و پذیرش کلی محصول نداشته است. افزون بر آن، ترکیب اسیدهای چرب مفید مانند ایکوزاپنتانویک اسید و دکوزاهگزانویک اسید در بسیاری از مطالعات بدون تغییر معنی‌دار باقی مانده است. همچنین مرور منابع نشان می‌دهد که کاهش ویتامین‌ها در دوزهای مجاز پرتودهی ناچیز و از نظر تغذیه‌ای قابل قبول است. این مقاله با هدف تحلیل و تجمیع نتایج پژوهش‌های مختلف، به ارزیابی روندهای فعلی، مزایا، محدودیت‌ها و خلأهای موجود در پژوهش‌های پرتودهی فرآورده‌های دریایی می‌پردازد و بر لزوم انجام مطالعات جامع‌تر در خصوص اثرات درازمدت پرتودهی بر سلامت مصرف‌کننده و ارزش تغذیه‌ای محصولات تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: پرتودهی، فرآورده‌های دریایی، ایمنی مواد غذایی، پرتوی گاما، پرتوی الکترونی

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، ارتقاء ایمنی و ماندگاری مواد غذایی بدون کاهش کیفیت تغذیه‌ای و ارگانولپتیک آن‌ها به یکی از اولویت‌های اصلی در صنایع غذایی تبدیل شده است [۱]. روش‌های حرارتی سنتی، گرچه در افزایش عمر مفید غذا مؤثرند، اما اغلب با افت کیفیت غذایی، از جمله کاهش ارزش تغذیه‌ای و تخریب ترکیبات حساس مواجه هستند [۲]. در پاسخ به این چالش، تغییر سبک زندگی، افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان و رشد تقاضا برای غذاهای پاک، ایمن و با کیفیت بالا، منجر به توسعه و کاربرد فناوری‌های نوین غیرحرارتی در فرآوری مواد غذایی شده است [۳].

فناوری‌های غیرحرارتی، به دلیل انجام فرآیند در دمای نزدیک به دمای محیط، مزیت حفظ کیفیت و ترکیبات حساس به حرارت را دارند [۴]. این فناوری‌ها برای طیف گسترده‌ای از محصولات از جمله میوه‌ها، سبزیجات، حبوبات، ادویه‌ها، گوشت و فرآورده‌های دریایی قابل استفاده هستند [۳]. از جمله مهم‌ترین فناوری‌های غیرحرارتی می‌توان به میدان الکتریکی پالسی، پالسمای سرد، امواج فراصوت، مایکروویو، فناوری فوق بحرانی، فرایند فشار بالا و پرتودهی اشاره کرد [۱].

در میان این فناوری‌ها، پرتودهی به عنوان یکی از روش‌های نوین و کارآمد، به‌ویژه در فرآوری محصولات تازه، منجمد یا پخته، مورد توجه قرار گرفته است. پرتودهی روشی فیزیکی، ایمن و سازگار با محیط زیست است که قادر است بدون استفاده از مواد شیمیایی یا اعمال حرارت شدید، موجب غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های مضر، افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت حسی و تغذیه‌ای مواد غذایی شود [۵]. از این‌رو، این فناوری می‌تواند نقش مهمی در ارتقاء سلامت عمومی و کاهش ضایعات غذایی ایفا



کند. این پژوهش مروری بر فناوری غیرحرارتی پرتودهی و کاربرد آن در تولید محصولات غذایی فراسودمند با ارزش افزوده تغذیه‌ای است.

۲- پرتودهی

پرتودهی یا تشعشع، شکلی از انرژی است که به صورت امواج یا ذرات در محیط خلأ یا در مواد مختلف منتشر می‌شود [۶]. به‌طور ساده، می‌توان پرتوها را انرژی عبوری در نظر گرفت که برخی از آن‌ها دارای جرم و برخی دیگر فاقد آن هستند. بسته به میزان انرژی، این پرتوها از قدرت نفوذ متفاوتی در مواد برخوردارند. در سطح اتمی، انرژی الکترومغناطیسی باعث پایداری اجزای هسته‌ای نظیر پروتون‌ها، نوترون‌ها و الکترون‌ها می‌شود؛ هرگونه تغییر در نیروهای بین این اجزا منجر به ناپایداری اتم می‌گردد. اتم برای بازگشت به حالت پایداری، انرژی آزاد می‌کند. این فرایند که طی آن الکترون‌ها به تراز انرژی اولیه خود بازمی‌گردند، به نام "پرتودهی" شناخته می‌شود [۷].

پرتوها بر اساس میزان انرژی به دو دسته تقسیم می‌شوند: پرتوهای غیر یونیزان که انرژی کافی برای جابجایی اتم‌ها را دارند اما نمی‌توانند پیوندهای شیمیایی را بشکنند، مانند نور مرئی، مادون قرمز و امواج رادیویی؛ و پرتوهای یونیزان که انرژی بالایی دارند و می‌توانند با شکستن پیوندهای شیمیایی، موجب یونیزاسیون مواد شوند [۷، ۸].

پرتوهای یونیزان دارای طول موج کوتاه، فرکانس بالا و انرژی زیاد هستند و شامل اشعه گاما، پرتوهای الکترونی و اشعه ایکس می‌باشند [۷]. پرتوهای یونیزان مورد استفاده در صنایع غذایی، تأییدیه‌های ایمنی لازم را دارا هستند و به‌طور گسترده در فرآوری غذاها از جمله محصولات شیلانی و گوشتی به کار می‌روند [۹]. پرتودهی با دوزهای پایین منجر به افزایش عمر ماندگاری محصول می‌شود، در حالی که دوزهای بالاتر برای غیرفعال‌سازی عوامل میکروبی، حشرات، کپک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش به دلیل عدم استفاده از حرارت، به "پاستوریزاسیون سرد" معروف است و از مزایای آن حفظ کیفیت تغذیه‌ای و حسی محصول نهایی است [۱۰].

انتخاب منبع تابش مناسب، به نوع محصول، دوز مورد نیاز، میزان دسترسی و ملاحظات اقتصادی وابسته است. در نتیجه، پرتودهی به عنوان یک فناوری ایمن، مؤثر و سازگار با محیط زیست، نقش مهمی در ارتقاء کیفیت و ایمنی مواد غذایی ایفا می‌کند.

۳- تابش گاما

تابش گاما یکی از پرکاربردترین فناوری‌های پرتودهی در صنایع غذایی است که از دهه ۱۹۵۰ میلادی توسعه یافته و به عنوان یک روش مؤثر در استریلیزاسیون مواد غذایی شناخته می‌شود [۵]. اشعه گاما نوعی تابش الکترومغناطیسی با انرژی بالا است که از هسته‌های برانگیخته رادیونوکلئیدهایی مانند کبالت-۶۰ و سزیم-۱۳۷ ساطع می‌شود [۹، ۱۱، ۱۲]. کبالت-۶۰ رایج‌ترین منبع تابش گاما در فرآوری مواد غذایی به‌شمار می‌رود. این ایزوتوپ دارای نیمه‌عمری برابر با ۵/۳ سال است و به دلیل قدرت نفوذ بالا، برای تابش بسته‌های حاوی مواد غذایی تازه یا منجمد بسیار مناسب است. طبق آمار، بیش از ۸۰٪ کبالت-۶۰ موجود در بازار جهانی در کشور کانادا تولید می‌شود و سایر تولیدکنندگان عمده شامل روسیه، چین، هند و آفریقای جنوبی هستند [۴، ۹]. از سوی دیگر، سزیم-۱۳۷ نیز یکی دیگر از منابع تولید اشعه گاما است که از بازیافت سوخت هسته‌ای مصرف‌شده حاصل می‌شود و نیمه‌عمری حدود ۳۰ سال دارد. هرچند کاربرد آن در مقایسه با کبالت-۶۰ محدودتر است، اما همچنان برای برخی کاربردهای صنعتی قابل استفاده می‌باشد.

ویژگی برجسته تابش گاما، قدرت نفوذ بسیار بالا در انواع مختلف بسته‌بندی‌ها و محصولات غذایی، حتی مواد متراکم و پالت‌های بزرگ است [۱۳]. این ویژگی، تابش گاما را برای استریلیزاسیون دسته‌ای بسیار مناسب ساخته و باعث کاهش مؤثر بار



میکروبی در مواد غذایی می‌شود. به‌طور کلی، تابش گاما با غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و کاهش عوامل فساد، نقش کلیدی در افزایش ایمنی میکروبی، بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات شیلاتی و گوشتی ایفا می‌کند [۱۳].

۴- پرتوهای الکترونی

پرتوهای الکترونی یکی از فناوری‌های نوین و مؤثر در زمینه استریلیزاسیون مواد غذایی به شمار می‌آیند [۱۱]. از آنجا که انرژی ذاتی الکترون‌ها برای کاربردهای صنعتی و حفظ کارایی آنها پایین است، لازم است شتاب داده شوند تا به سطح انرژی مورد نیاز برسند. با این حال، به دلیل جرم و بار الکترونی، این نوع پرتوها توان نفوذ کمتری نسبت به پرتوهای گاما و اشعه ایکس دارند و نمی‌توانند از فواصل دور به عمق مواد غذایی نفوذ کنند. با وجود این محدودیت، پرتو الکترونی به دلیل ویژگی‌هایی مانند ایمنی بالا، قابلیت استریلیزاسیون مؤثر، هزینه کم، زمان کوتاه فرآیند، سازگاری با محیط زیست و عدم باقی‌ماندن تشعشع رادیواکتیو در محصول نهایی، یک گزینه قابل اطمینان برای فرآوری مواد غذایی محسوب می‌شود [۱۴]. محصولات تحت پرتودهی با این روش، رادیواکتیو نمی‌شوند و استریلیزاسیون آن‌ها قابل اثبات و تکرارپذیر است. اگرچه نفوذ پرتوهای الکترونی کمتر از گاما است، اما این فناوری به‌ویژه برای تابش حجم زیادی از مواد غذایی با چگالی پایین و در حالت جریان آزاد، مانند غلات، فیله‌های نازک ماهی، یا بسته‌های غذایی با ضخامت حداکثر ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر، بسیار مؤثر و کاربردی است [۹].

در حالت خاص، پرتوهای الکترونی با انرژی ۱۰ مگاالکترون‌ولت (MeV) و سرعت بالا، توانایی نفوذ تا عمق ۳۹ میلی‌متر در مواد غذایی با رطوبت بالا را دارند. در مقابل، پرتوهای گاما و اشعه ایکس با نفوذپذیری بیشتر قادرند تا اعماق بیشتری از مواد غذایی دست یابند، و در مواردی که نفوذ کامل در ماده ضرورت دارد، ممکن است ترجیح داده شوند [۴].

۵- مکانیسم پرتودهی

مکانیسم پرتودهی شامل قرار دادن مواد غذایی - چه به صورت بسته‌بندی‌شده و چه به صورت فله - در معرض دوزهای دقیقی از پرتوهای یونیزان (الکترومغناطیسی یا الکترونی) برای مدت زمانی مشخص و کنترل‌شده به‌منظور دستیابی به اهداف ایمنی و افزایش ماندگاری است. این پرتوها با جدا کردن الکترون‌ها از اتم‌ها یا مولکول‌ها موجب یونیزاسیون می‌شوند و به همین دلیل، این فرایند تحت عنوان پرتودهی یونیزان شناخته می‌شود. یکی از اصلی‌ترین اهداف پرتودهی، غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در مواد غذایی است [۷]. انرژی تابشی موجب آسیب به ساختار مولکولی DNA میکروب‌ها شده و پیوندهای بین بازهای نوکلئوتیدی را می‌شکند. این آسیب منجر به اختلال در فعالیت‌های حیاتی سلول، از جمله تکثیر و متابولیسم می‌شود. در صورتی که آسیب DNA قابل ترمیم نباشد، ارگانیسم می‌میرد یا توانایی تولید مثل را از دست می‌دهد [۸]. اثربخشی پرتودهی تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها حالت فیزیکی ماده غذایی (تازه یا منجمد) است. مواد غذایی منجمد، به دلیل کاهش فعالیت مولکولی، نیازمند دوزهای بالاتری از تابش برای اثرگذاری مشابه هستند.

همچنین، حساسیت میکروارگانیسم‌ها به پرتودهی، با توجه به میزان و نوع DNA موجود در آن‌ها متفاوت است [۱۵]:

انگل‌ها و آفات حشرات به دلیل دارا بودن DNA فراوان، با دوزهای بسیار پایین پرتودهی از بین می‌روند.

باکتری‌ها به پرتودهی مقاوم‌ترند و به دوز بالاتر و زمان تابش طولانی‌تری نیاز دارند.

ویروس‌ها که دارای ساختار ژنتیکی ساده‌تری هستند، معمولاً مقاوم‌ترین پاتوژن‌ها در برابر پرتودهی غذایی بوده و برای نابودی کامل آن‌ها، دوزهای بسیار بالاتری لازم است که اغلب فراتر از مقادیر مجاز مصرف انسانی هستند.

به‌طور کلی، مکانیسم پرتودهی با هدف نابودی عوامل بیماری‌زا و افزایش ایمنی و ماندگاری مواد غذایی طراحی شده است، بدون آنکه تأثیر قابل توجهی بر کیفیت تغذیه‌ای یا حسی محصولات داشته باشد.



۶- دوز جذب شده و میزان دوز

در فرآیند پرتودهی، میزان انرژی جذب شده توسط ماده غذایی به عنوان دوز جذب شده شناخته می شود. واحد اندازه گیری این دوز گری (Gray - Gy) است، که برابر است با جذب ۱ ژول انرژی به ازای هر کیلوگرم از ماده جاذب [۹]. هر ۱ گری معادل با ۱۰۰ راد نیز در نظر گرفته می شود. دوز نهایی که ماده غذایی دریافت می کند، به عواملی چون مدت زمان تابش، فاصله محصول از منبع تابش، جرم، حجم و ضخامت ماده غذایی بستگی دارد.

بر اساس گزارش مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، سازمان جهانی بهداشت (WHO) و آژانس بین المللی انرژی اتمی (IAEA)، پرتودهی مواد غذایی تا دوز متوسط ۱۰ کیلوگری هیچ گونه خطر سم شناسی، تغذیه ای یا میکروبیولوژیکی برای مصرف کننده ایجاد نمی کند [۷، ۹، ۱۳]. بنابراین، این مقدار به عنوان حداکثر دوز مجاز در بیشتر کاربردهای غذایی در نظر گرفته می شود، مگر در موارد خاصی که برای رسیدن به اهداف قانونی یا ایمنی خاص، دوزهای بالاتر ضروری باشد. بر اساس ضوابط کدکس غذایی، تا ۲/۵٪ از حجم محصول می تواند دوزی بالاتر از ۱۵ کیلوگری دریافت کند، که معادل ۵۰٪ بیشتر از دوز متوسط ۱۰ کیلوگری است [۹].

با توجه به اینکه توزیع یکنواخت دوز در کل حجم ماده غذایی عملاً امکان پذیر نیست، نسبت بیشترین دوز به کمترین دوز به عنوان نسبت یکنواختی دوز تعریف می شود [۹، ۱۶]. دوز متوسط از میانگین گیری اندازه گیری های انجام شده در بخش های مختلف محصول به دست می آید. در این میان، حداقل دوز جذب شده باید برای دستیابی به اثرات مورد نظر (مانند نابودی میکروارگانیسم ها) کافی باشد و حداکثر دوز نیز نباید سلامت مصرف کننده یا ویژگی های تغذیه ای و حسی ماده غذایی را تحت تأثیر منفی قرار دهد. بر اساس اصول «عمل پرتودهی خوب»، محدوده دوز باید تا حد ممکن محدود و یکنواخت باشد. در حال حاضر، دوز ۱۰ کیلوگری به عنوان مقدار مرجع برای اکثر محصولات غذایی در نظر گرفته می شود، اما با توجه به نوع ماده غذایی و هدف پرتودهی، می تواند متغیر باشد [۹].

۷- دسته بندی دوز تشعشع

در عمل، دوز پرتودهی مورد استفاده بسته به نوع ماده غذایی و هدف مورد نظر از پرتودهی، متفاوت است [۷]. به طور کلی، دوزهای پرتودهی به سه دسته اصلی تقسیم می شوند:

۱- دوز پایین (تا ۱ کیلوگری):

این سطح از دوز معمولاً برای به تعویق انداختن فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند رسیدن یا جوانه زنی در میوه ها و سبزیجات تازه استفاده می شود. همچنین، دوز پایین برای کنترل آفات، حشرات و انگل ها در مواد غذایی کاربرد دارد.

۲- دوز متوسط (بین ۱ تا ۱۰ کیلوگری):

این سطح از دوز با هدف کاهش فساد و غیرفعال سازی میکروارگانیسم های بیماری زا در انواع مواد غذایی اعمال می شود. همچنین برای بهبود ویژگی های تکنولوژیکی غذا مانند کاهش زمان پخت در سبزیجات کم آب و افزایش ماندگاری محصولات مورد استفاده قرار می گیرد.

۳- دوز بالا (بیش از ۱۰ کیلوگری):

دوزهای بالا برای استریل سازی کامل محصولات غذایی مانند گوشت، مرغ، غذاهای دریایی و مواد غذایی آماده مصرف به کار می روند. در برخی موارد، این دوزها با حرارت ملایم ترکیب می شوند تا آنزیم ها نیز غیرفعال شوند. همچنین برای ضد عفونی کردن مواد اولیه خاص مانند ادویه ها و چاشنی ها از دوزهای بالا استفاده می شود.

در صنایع غذایی، از اشعه ایکس با انرژی تا ۵ مگا الکترون ولت (MeV) برای فرآوری استفاده می شود. همچنین، الکترون های پرسرعت با انرژی حداکثر ۱۰ مگا الکترون ولت برای کاربردهای گوناگون پرتودهی غذایی مورد استفاده قرار می گیرند [۴].



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

۸- انواع پرتودهی مواد غذایی

روش های پرتودهی مواد غذایی بر اساس دوز اشعه و هدف مورد نظر به سه دسته اصلی تقسیم می شوند [۹، ۱۱]:

۸-۱ رادیسیداسیون (Radicidation)

در این روش، دوز تابشی نسبتاً پایین (در حدود ۰/۱ تا ۸ کیلوگری) به کار می رود. هدف از رادیسیداسیون، کاهش تعداد میکروارگانیسم های زنده غیراسپورزای بیماری زا (به جز ویروس ها) تا سطحی است که با روش های استاندارد قابل شناسایی نباشند. از این روش برای کنترل حشرات در غلات و میوه ها و کاهش انگل ها (مانند تریکین در گوشت خوک) استفاده می شود.

۸-۲ رادوریزاسیون (Radurization)

رادوریزاسیون یکی دیگر از روش های پرتودهی است که معمولاً با دوزی در محدوده ۰/۷۵ تا ۵/۲ کیلوگری برای مواد غذایی مانند گوشت تازه، فرآورده های دریایی، میوه ها، سبزیجات و غلات به کار می رود. هدف از این فرآیند، افزایش کیفیت و ماندگاری غذا از طریق کاهش قابل توجه تعداد میکروارگانیسم های عامل فساد است. در واقع، رادوریزاسیون نوعی پاستوریزاسیون با اشعه محسوب می شود که موجب کنترل عوامل بیماری زا مانند سالمونلا، شیگلا، کمپیلوباکتر، یرسینیا، لیستریا و E.coli در طیور و آبزیان می شود.

۸-۳ راداپرتیزاسیون (Radappertization)

راداپرتیزاسیون روشی معادل استریلیزاسیون با اشعه یا همان استریلیزاسیون تجاری است که در صنعت کنسروسازی کاربرد دارد. در این فرآیند، دوز پرتودهی بین ۱۰ تا ۵۰ کیلوگری اعمال می شود. این دوز بالا باعث کاهش میکروارگانیسم های زنده (به جز ویروس ها) به سطحی می شود که دیگر با آزمون های میکروبیولوژیکی رایج قابل شناسایی نباشند. محصول نهایی، قابلیت نگهداری طولانی مدت در شرایط معمولی را دارد و برای مصرف کنندگان، به ویژه افراد دارای سیستم ایمنی ضعیف، ایمنی بالایی فراهم می کند.

۹- اثرات پرتودهی بر افزایش ماندگاری مواد غذایی

پرتودهی مواد غذایی به عنوان دومین دستاورد بزرگ پس از پاستوریزاسیون شناخته می شود. ماندگاری و تازگی مواد غذایی به طور مستقیم تحت تأثیر میکروارگانیسم ها و آفات قرار دارد. پرتودهی با نابودسازی یا غیرفعال سازی این عوامل، نقش مهمی در افزایش ماندگاری ایفا می کند.

۹-۱ مکانیسم اثر پرتودهی بر میکروارگانیسم ها و حشرات شامل:

آسیب مستقیم: تخریب اسیدهای نوکلئیک در سلول ها توسط انرژی تابشی،

آسیب غیرمستقیم: تخریب آنزیم ها و اندامک های سلولی به واسطه محصولات رادیولیز آب (مانند رادیکال های آزاد)، است که در مجموع منجر به تأخیر در فساد غذا و افزایش ماندگاری آن می شود [۷، ۱۷]. در جریان این فرآیند، عوامل بیماری زا نظیر میکروارگانیسم ها، ویروس ها و حشرات موجود در غذا غیرفعال یا حذف می شوند و در نتیجه، کیفیت بهداشتی و ایمنی مصرف تضمین می شود. مطالعات نشان داده اند که در دوزهای مناسب پرتودهی، هیچگونه کاهش تغذیه ای یا اثرات منفی بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، تغذیه ای و حسی غذا مشاهده نمی شود [۷].



اثر تابش بر مواد غذایی به عوامل مختلفی از جمله ترکیب و حالت فیزیکی غذا (مایع یا جامد)، شرایط محیطی (مانند میزان رطوبت یا خشکی)، پارامترهای تابش (نوع منبع تابش، میزان دوز، مدت زمان، دما و حضور اکسیژن) بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین مزایای پرتودهی، ایجاد تغییرات حداقلی در ترکیبات غذایی است. تحقیقات نشان می‌دهد که درشت‌مغذی‌ها مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها تا دوز ۱۰ کیلوگری به‌خوبی پایدار هستند. با این حال، ریزمغذی‌ها، به‌ویژه برخی ویتامین‌ها، می‌توانند نسبت به پرتودهی و سایر فرآیندهای غذایی حساس باشند [۷].

۱۰- میکروارگانیسم‌ها و اثر پرتودهی بر آن‌ها

در فرآیند پرتودهی مواد غذایی، رادیولیز آب نقش اصلی در ایجاد گونه‌های فعال شیمیایی ایفا می‌کند. در میان محصولات اولیه حاصل از رادیولیز، رادیکال هیدروکسیل به عنوان یک اکسیدکننده بسیار قوی، واکنش‌پذیری بالایی با ترکیبات غیراشباع دارد. همچنین رادیکال‌های آزاد، الکترون‌ها و کاتیون‌های ایجادشده، بسیار واکنش‌پذیر هستند و می‌توانند با یکدیگر یا با اجزای غذایی واکنش دهند. این واکنش‌ها شامل ترکیب رادیکال‌ها، دایمر شدن و جذب الکترون توسط کاتیون‌ها است [۹].

الکترون‌های هیدراته نیز از عوامل واکنش‌پذیر محسوب می‌شوند و عمدتاً با ترکیبات معطر، اسیدهای کربوکسیلیک، کتون‌ها، آلدهیدها و تیول‌ها وارد واکنش می‌شوند. میزان واکنش‌پذیری این رادیکال‌ها به قابلیت انتشار آنها در محیط بستگی دارد که خود وابسته به میزان آب آزاد موجود در محصول غذایی است. در غذاهای خشک یا منجمد، این انتشار محدود شده و در نتیجه تغییرات ناشی از رادیکال‌ها کاهش می‌یابد [۹].

پرتوهای یونیزه‌کننده، با ایجاد رادیکال‌های آزاد در آب مایع موجود در بافت‌های گوشتی و دریایی، موجب آسیب اکسیداتیو و در نتیجه غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها می‌شوند. با این حال، در مواد منجمد، شدت این اثرات کاهش یافته و همچنین فرآیند پراکسیداسیون لیپیدی و سایر تغییرات فیزیوشیمیایی ناخواسته نیز کمتر اتفاق می‌افتد. بنابراین، وضعیت آب در ماده غذایی عامل تعیین‌کننده‌ای برای دوز پرتودهی مجاز است؛ به‌گونه‌ای که می‌توان با در نظر گرفتن آن، دوز مؤثری برای کاهش بار میکروبی بدون آسیب به کیفیت محصول اعمال کرد [۱۳].

پرتودهی به عنوان یک تیمار غیرحرارتی از طریق ایجاد تغییر در ساختار غشای سلولی باکتری‌ها و باز شدن ساختار DNA باعث کاهش بار میکروبی و در نهایت مرگ سلول‌های میکروبی می‌شود [۳]. اثر پرتودهی ممکن است به صورت برخورد مستقیم پرتو با مولکول DNA و جلوگیری از تقسیم سلولی، و غیرمستقیم، تجزیه آب و تشکیل یون‌ها و رادیکال‌هایی که با مولکول‌های حیاتی مانند DNA واکنش داده و عملکرد آن را مختل می‌کنند، رخ دهد [۸]. گونه‌های اکسیژن فعال تولیدشده در این مسیر می‌توانند استرس اکسیداتیو در بیومولکول‌ها ایجاد کرده و منجر به تغییر در مسیرهای سیگنال‌دهی سلولی شوند. در نتیجه، پروتئین‌ها، DNA، لیپیدها و سایر ترکیبات زیستی دچار آسیب اکسیداتیو می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که دوز ۰/۱ کیلوگری می‌تواند تا ۲/۸٪ از DNA سلول‌های باکتریایی، ۰/۱۴٪ از آنزیم‌ها، و تنها ۰/۰۵٪ از اسیدهای آمینه را تحت تأثیر قرار دهد [۷].

حساسیت میکروارگانیسم‌ها به تشعشع با توجه به گونه، جنس، و شرایط محیطی (دما، pH، اکسیژن، فعالیت آب و ...) متفاوت است. به‌طور کلی، باکتری‌های گرم منفی که نقش اصلی در فساد محصولات شیلاتی دارند، نسبت به باکتری‌های گرم مثبت حساس‌تر هستند. پرتودهی در دوزهای کم تا متوسط (تا ۱۰ کیلوگری) معمولاً باعث سرکوب ارگانیسم‌های گرم منفی نظیر سودوموناس، پروتئوس، آئروموناس و... شده و در نتیجه باکتری‌های گرم مثبت غالب می‌شوند. در مقابل، ویروس‌ها مقاومت بیشتری در برابر پرتودهی دارند [۷]. سلول‌های میکروبی در فاز رویشی نسبت به اسپورها (هاگ‌ها) حساس‌ترند و برای غیرفعال‌سازی کامل هاگ‌هایی نظیر کلستریدیوم بوتولینوم، دوزهای بالای ۴۸ کیلوگری مورد نیاز است [۱۳]. در نهایت، دوز تابش یکی از عوامل کلیدی تعیین‌کننده کارایی پرتودهی با پرتو گاما در کاهش بار میکروبی گوشت و فرآورده‌های دریایی محسوب می‌شود. هر چه دوز بالاتر باشد، تعداد میکروارگانیسم‌های غیرفعال‌شده نیز افزایش می‌یابد.



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

۱۱- تأثیر دما در پرتودهی

فرآیند پرتودهی مواد غذایی اساساً به عنوان یک فرآیند سرد شناخته می‌شود، زیرا افزایش دمای قابل توجهی در محصول ایجاد نمی‌کند [۹]. به عنوان مثال، تیمار ماهی تازه با دوز ۱۰ کیلوگرم تنها موجب افزایش دمایی در حدود ۲/۳ درجه سانتی‌گراد می‌شود. با این حال، دمای محصول هنگام تابش می‌تواند بر تغییرات ناشی از تشعشع تأثیرگذار باشد. افزایش دما موجب افزایش تحرک رادیکال‌های آزاد شده و در نتیجه بر سرعت رادیولیز تأثیر می‌گذارد. به طور کلی، انجام پرتودهی در دمای پایین‌تر، میزان تولید ترکیبات فرار را در مواد غذایی کاهش می‌دهد و به حفظ کیفیت حسی محصولات کمک می‌کند [۱۸]. این تأثیر در مواد غذایی منجمد حتی بیشتر قابل توجه است، به طوری که تغییرات ناشی از تشعشع در محصولات منجمد حداقل می‌باشد.

۱۲- تأثیر اکسیژن در پرتودهی

حضور اکسیژن در طول فرآیند پرتودهی و همچنین در دوره نگهداری پس از تابش، نقش مهمی در تغییرات رادیولیتیکی در سیستم‌های غذایی ایفا می‌کند [۹]. پرتودهی در حضور اکسیژن می‌تواند منجر به تشکیل رادیکال‌های هیدروپراکسی شود؛ این رادیکال‌ها از طریق واکنش اتم‌های هیدروژن (حاصل از تجزیه رادیولیتیکی آب) با اکسیژن به وجود می‌آیند. همچنین، رادیکال سوپراکسید از واکنش الکترون‌های حل‌شده با اکسیژن تولید می‌شود. هر دو رادیکال هیدروپروکسی و سوپراکسید قادرند پراکسید هیدروژن ایجاد کنند [۱۹].

۱۳- اثر پرتودهی بر ترکیبات مختلف غذایی

۱-۱۳ پروتئین‌ها

در فرآیند پرتودهی مواد غذایی، تخریب پروتئین‌ها نیز ممکن است رخ دهد. پروتئین‌های ماهی شامل پروتئین‌های سارکوپلاسما، میوفیبریلار و استرومای هستند. نتایج برخی تحقیقات نشان داده که تابش منجر به حداقل تغییر در ساختار پروتئین‌ها شده و سطح برخی اسیدهای آمینه را افزایش داده است [۲۰]. پروتئین‌های ماهیچه‌ای نقش مهمی در اتصال با آب دارند. براساس مطالعات، افزایش قابل توجه میزان رطوبت پس از تابش با دوز ۱۰ کیلوگرم نشان داده است که پرتوهای الکترونی می‌توانند ساختار پروتئین ماهی را تخریب کرده و استخراج اسیدهای آمینه را تسهیل نمایند [۹].

ترکیبات فراری نظیر تری‌متیل‌آمین، آمونیاک و دی‌متیل‌آمین که حاصل فعالیت‌های تخریبی میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها بر روی پروتئین‌ها و ترکیبات نیتروژن‌دار غیرپروتئینی هستند، به عنوان TVB-N شناخته می‌شوند. این شاخص یکی از رایج‌ترین معیارها برای ارزیابی تازگی و ایمنی غذاهای دریایی است. در ماهیان دریایی، میزان TVB-N در محدوده ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نشان‌دهنده کیفیت خوب محصول می‌باشد. در مطالعه‌ای بر روی ماهی کاد، تفاوت معناداری بین گروه کنترل و گروه تابش‌شده با پرتو الکترونی مشاهده نشد و کیفیت مطلوب در هر دو گروه حفظ گردید [۲۰]. بررسی‌ها نشان داده‌اند که تابش پرتو الکترونی همراه با بسته‌بندی خلأ می‌تواند فعالیت میکروبی و آنزیمی در ماهی را مهار کند و از افزایش TVB-N طی دوره نگهداری جلوگیری نماید [۲۰].

در نتیجه واکنش‌های رادیولیتیک، ممکن است تغییرات ساختاری در پروتئین‌های غذایی ایجاد شود. در دوزهای بالای تابش، این تغییرات می‌توانند منجر به دناتوره شدن پروتئین شوند، هرچند میزان آن نسبت به فرآیندهای حرارتی بسیار کمتر است. این واکنش‌ها ممکن است خواص عملکردی پروتئین‌ها، از جمله ویسکوزیته، را تحت تأثیر قرار دهند. با این حال، تغییرات محسوس در محتوای اسیدهای آمینه بسیار اندک است. علاوه بر این، پرتودهی می‌تواند موجب تجمع پروتئین یا تشکیل پیوندهای متقاطع شده و در نتیجه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نظیر پایداری حرارتی، فعالیت امولسیون‌کنندگی و آب‌گریزی سطحی را تغییر دهد [۷]. در مقایسه با اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها به دلیل ساختار مولکولی سخت‌ترشان، مقاومت بیشتری در برابر تابش دارند. تابش مواد غذایی باعث تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌شود که می‌توانند پیوندهای هیدروژنی و دی‌سولفیدی را بشکنند، که



این امر به آزادسازی اسیدهای آمینه آبگریز یا اسیدهای چرب آزاد منجر شده و در نهایت هضم پروتئین‌ها و اسیدهای چرب را بهبود می‌بخشد [۹].

۱۳-۲ ویتامین‌ها

مطالعات متعددی تأثیر تابش را بر پایداری ویتامین‌ها در مواد غذایی، از جمله محصولات شیلاتی، بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که میزان تغییرات ویتامین‌ها به دوز تابش و نوع ویتامین بستگی دارد [۷]. گوشت‌ها منبع غنی ویتامین‌های محلول در آب از گروه B شامل تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین، پیریدوکسین، بیوتین، کوبالامین، کولین، اسید فولیک و اسید پانتوتینیک هستند [۱۴]. ریزمغذی‌ها، به ویژه ویتامین‌ها، نسبت به فرآورده‌های مختلف غذایی حساس هستند. در این میان، ویتامین‌های محلول در آب نسبت به ویتامین‌های محلول در چربی در برابر تابش حساسیت بیشتری دارند. ریبوفلاوین و اسید نیاسین نسبت به سایر ویتامین‌های محلول در آب، پایداری بیشتری در برابر تابش از خود نشان داده‌اند.

تیامین حساس‌ترین ویتامین محلول در آب در برابر انرژی یونیزان است و تخریب آن عمدتاً از طریق اکسیداسیون صورت می‌گیرد [۱۴]. میزان آسیب به تیامین به دوز تابش وابسته است و کاهش دما می‌تواند به طور قابل توجهی از تخریب آن جلوگیری کند. بنابراین، اعمال دوزهای پایین‌تر تابش و انجام فرآیند در دماهای پایین می‌تواند نقش مهمی در حفظ ویتامین‌ها داشته باشد.

۱۳-۳ چربی و اسیدهای چرب

محتوای چربی و نوع اسیدهای چرب موجود در گوشت، تعیین‌کننده اصلی ماندگاری و پایداری آن است و بر طعم، بافت و بو تأثیر مستقیم می‌گذارد. تحقیقات نشان داده‌اند که تابش با دوزهای ۲ تا ۱۰ کیلوگری تأثیر قابل توجهی بر محتوای اسیدهای چرب اشباع، تک غیراشباع و چندغیراشباع ندارد [۲۰]. رادیکال‌های آزادی که در اثر تجزیه رادیولیتیک آب ایجاد می‌شوند، ممکن است با لیپیدها واکنش داده و محصولات مختلفی تولید کنند. بسته به محل برش تری‌گلیسیریدها، محصولات اولیه و ثانویه‌ای نظیر استرها، کتون‌ها، هیدروکربن‌ها و دی‌گلیسیریدها شکل می‌گیرند [۷]. روند رادیولیز در چربی‌ها به طور قابل توجهی تحت تأثیر دما قرار دارد. به طور کلی فرض بر این است که تابش در حضور اکسیژن منجر به اتواکسیداسیون می‌شود و طی نگهداری طولانی‌مدت، پراکسیدها می‌توانند با سایر ترکیبات وارد واکنش شوند.

اسیدهای چرب، به ویژه در ناحیه استر-کربونیل، در برابر تابش پراثرژی دچار شکاف ترجیحی می‌شوند که منجر به ایجاد ترکیبات رادیولیتیک خاصی می‌شود. براساس مطالعات، تابش تنها اثرات جزئی بر اسیدهای چرب ضروری دارد. به عنوان مثال، در ماهی خال‌مخالی اسپانیایی، اسیدهای چرب پالمیتیک‌اسید و پالمیتولئیک‌اسید (C16:0 و C16:1) پس از تابش با دوزهای ۱/۵ تا ۱۰ کیلوگری کاهش یافتند، اما غلظت برخی دیگر از اسیدهای چرب نظیر استئاریک‌اسید و اولئیک‌اسید (C18:0 و C18:1) افزایش پیدا کرد [۲۰].

۱۳-۴ رنگ

رنگ یکی از پارامترهای مهم در تعیین کیفیت محصولات شیلاتی محسوب می‌شود. محصولات رادیولیتیک حاصل از تابش می‌توانند باعث اکسیداسیون میوگلوبین شده و در نتیجه تغییر رنگ، بوی نامطلوب یا ایجاد ترکیبات بی‌طعم شوند [۹]. ویژگی‌های رنگ تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله میزان رنگدانه‌های هم، وضعیت اکسیداسیون، تشکیل لیگاند‌های رنگدانه‌های هم، و ویژگی‌های فیزیکی نظیر pH، دما، فرآورده‌های پردازشی و مدت زمان نگهداری قرار دارند [۲۰].

مطالعات نشان داده‌اند که میوگلوبین‌های جدا شده از محصولات شیلاتی پس از تابش دچار تغییرات رنگ قابل توجهی می‌شوند. در فیله‌هایی که در معرض دوزهای تابش ۱ تا ۳ کیلوگری قرار گرفتند و به صورت هوازی یا بی‌هوازی در دمای ۰ تا ۲ درجه سانتیگراد بسته‌بندی شده بودند، کاهش تدریجی قابلیت استخراج میوگلوبین به عنوان تابعی از دوره نگهداری مشاهده



شد. با این حال، تغییر قابل توجهی در رنگ ظاهری و ویژگی‌های ارگانولپتیک ثبت نشد. این امر به حضور آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در گوشت نسبت داده می‌شود که از رنگدانه محافظت می‌کنند [۲۰].

وجود گاز دی‌اکسیدکربن می‌تواند باعث تشکیل مت‌میوگلوبین از اکسی‌میوگلوبین شود [۹]. تابش با دوز پایین در حضور دی‌اکسیدکربن منجر به افزایش تشکیل مت‌میوگلوبین شده و رنگ فیله ماهی را به صورتی مایل به زرد تغییر می‌دهد. همچنین در برخی مطالعات گزارش شده است که پرتودهی با پرتو الکترونی باعث قهوه‌ای شدن ماهیچه‌های ماهی از طریق اکسیداسیون لیپیدها می‌شود، که در نتیجه آن مقدار شاخص a^* (میزان قرمزی) در گوشت کاهش می‌یابد.

۱۳-۵ بافت

بافت ماهی به عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفیت گوشت، بیشترین توجه را در صنعت غذاهای دریایی به خود جلب کرده است. در مطالعات مختلف، ویژگی‌های بافتی از جمله سختی، چسبندگی، فنریت، صمغی بودن، جویدنی بودن و انعطاف‌پذیری ماهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۲۰]. نتایج نشان داده‌اند که استفاده از پرتوهای الکترونی منجر به کاهش معنی‌دار در سختی و قابلیت جویدن گوشت می‌شود. همچنین گزارش شده است که پرتودهی می‌تواند با دنا توره کردن پروتئین‌ها، تسریع پروتئولیز و افزایش نرمی بافت ماهی، بر خواص فیزیکی آن تأثیر بگذارد [۷].

۱۳-۶ آنزیم‌ها

تابش با دوزهای پایین می‌تواند اثراتی بر آنزیم‌های موجود در بافت ماهی داشته باشد. لیزوزوم‌ها اندامک‌هایی درون سلولی هستند که حاوی غلظت بالایی از آنزیم‌های هیدرولیتیک، از جمله آنزیم‌های پروتئولیتیک مانند کاتپسین‌ها هستند. تحقیقات نشان داده‌اند که تابش گاما می‌تواند به غشای لیپوپروتئینی آسیب وارد کرده و موجب آزاد شدن آنزیم‌های هیدرولیتیک از لیزوزوم‌ها شود؛ این آنزیم‌ها در بافت‌های اسکلتی و پوست ماهی حضور دارند [۷].

مطالعات صورت گرفته بر روی میگو و تیلاپیا نشان داده‌اند که سطح آنزیم‌های لیزوزومی پس از پرتودهی با دوز ۲/۵ کیلوگری افزایش می‌یابد. در مقابل، در نمونه‌های بدون تابش، یون‌های آزاد در میوفیبریل‌های عضلانی طی دوره ذخیره‌سازی افزایش یافته و موجب نرم شدن بافت عضله می‌شوند. از سوی دیگر، پرتودهی می‌تواند پدیده "سیاه‌شدگی" در صدف‌هایی مانند میگو را افزایش دهد. در این فرآیند، آنزیم پروفنول‌اکسیداز فعال شده و با کاتالیز اکسیداسیون ترکیبات فنولی، منجر به تشکیل ملانین و بروز لکه‌های تیره یا "مالنوز" می‌شود. همچنین، گزارش شده است که تابش گاما با دوز پایین می‌تواند حساسیت پروتئین‌های سارکوپلاسمی موجود در ماهیچه ماهی را نسبت به هیدرولیز توسط آنزیم تریپسین افزایش دهد [۷].

۱۳-۷ ترکیبات مضر

آمین‌های بیوژنیک، مایکوتوکسین‌ها و عوامل ضد تغذیه‌ای موجود در غذا از جمله ترکیبات مضر هستند که می‌توانند سلامت انسان را تهدید کرده و جذب مواد مغذی را مختل کنند. آمین‌های بیوژنیک مانند هیستامین، پوترسین، کاداورین، اسپرمیدین، اسپرمین، تیرامین و تریپتامین در مواد غذایی سمی بوده و به عنوان شاخص‌هایی از فساد مواد غذایی شناخته می‌شوند [۷]. در مطالعه‌ای مشاهده شد که پس از پرتودهی گوشت ماهی قزل‌آلا با پرتو الکترونی در دوزهای ۰/۲۵ تا ۲ کیلوگری و نگهداری به مدت ۹۸ روز، میزان آمین‌های بیوژنیک شامل پوترسین، کاداورین، اسپرمیدین، اسپرمین، هیستامین، تیرامین و تریپتامین به طور قابل توجهی کاهش یافته یا قابل شناسایی نبود.



۱۴- مزایا و معایب پرتودهی مواد غذایی

پرتودهی مواد غذایی نسبت به فناوری‌های پردازش حرارتی سنتی، مزایای متعددی دارد. از جمله این مزایا می‌توان به اثرات باکتری‌کشی و حشره‌کشی قوی‌تر، حفظ بهتر ارزش مواد مغذی و حذف مؤثرتر مواد مضر اشاره کرد. علاوه بر این، این فرآیند بدون استفاده از مواد شیمیایی یا باقی‌ماندن ترکیبات سمی انجام می‌شود. از آنجا که پرتودهی موجب افزایش قابل توجه دما نمی‌شود (افزایش تنها ۲/۸ درجه سانتی‌گراد به ازای ۱۰ کیلوگرمی)، این فناوری نوآورانه، ساده، کم‌هزینه و با کارایی بالاست [۷]. یکی از ویژگی‌های مهم پرتودهی این است که در طی فرآیند، فاضلاب تولید نمی‌شود و بنابراین یک فناوری دوستدار محیط زیست به شمار می‌آید. همچنین از این روش در مدیریت فاضلاب، مانند حذف آنتی‌بیوتیک‌ها، نیز استفاده می‌شود. گزارش‌ها نشان داده‌اند که پرتودهی با پرتو الکترونی می‌تواند به طور مؤثر فعالیت ضد میکروبی پمپراسیلین در فاضلاب را کاهش دهد و پرتودهی با اشعه گاما قادر است نورفلوکساسین، سیپروفلوکساسین و سولفونامیدها را در محلول‌های آبی تخریب کند [۷]. با وجود مزایای فراوان، پرتودهی مواد غذایی معایبی نیز دارد. برای مثال، دوز پرتودهی معمولاً کمتر از ۱۰ کیلوگرمی کنترل می‌شود که ممکن است در برخی موارد نتایج مطلوبی به همراه نداشته باشد. استفاده از دوزهای بالاتر می‌تواند تغییرات نامطلوبی در ویژگی‌های ظاهری و شیمیایی مواد غذایی ایجاد کند. این تغییرات به ویژه در غذاهایی مانند گوشت، که رنگ و میزان چربی آنها عوامل مهمی در کیفیت محصول محسوب می‌شوند، بیشتر به چشم می‌خورد و باعث تغییرات جزئی در این ویژگی‌ها می‌شود.

۱۵- کاربردهای پرتوهای یونیزه در فرآوری غذاهای دریایی

پرتودهی عمدتاً در بخش فرآوری مواد غذایی با هدف افزایش ماندگاری محصولات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری با غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌هایی که عامل بیماری‌های منتقله از غذا هستند، به بهبود کیفیت و حفظ تازگی غذا کمک می‌کند [۳]. پرتودهی در مقابله با میکروب‌های بیماری‌زا از جمله استافیلوکوکوس اورئوس، اشریشیاکلا و سالمونلا مؤثر است. همچنین تغییر شدت تابش می‌تواند اثرات قوی‌تری در غیرفعال‌سازی میکروب‌ها ایجاد کند. در زمینه غذاهای دریایی، پرتودهی کاربردهای متعددی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به افزایش ماندگاری ماهی تازه در شرایط سرد، حذف عوامل بیماری‌زا از غذاهای دریایی تازه و منجمد، و از بین بردن بوی نامطبوع برخی گونه‌های ماهی و صدف اشاره کرد. با این حال، استفاده از دوزهای بالای پرتودهی می‌تواند منجر به برخی تغییرات نامطلوب در مواد غذایی شود [۳]. این تغییرات به ویژه در محصولات مانند گوشت که رنگ و میزان چربی نقش مهمی در کیفیت آن‌ها دارد، مشاهده می‌شود. تغییرات جزئی در رنگ و چربی می‌تواند موجب کاهش مقبولیت محصول نزد مصرف‌کنندگان گردد. به همین دلیل، برای دستیابی به غیرفعال‌سازی مطلوب میکروارگانیسم‌ها بدون ایجاد تغییرات محسوس در ترکیب یا کیفیت غذا، پرتودهی معمولاً با دوزهای پایین انجام می‌شود و اغلب با استفاده از عوامل ضد میکروبی ترکیب می‌گردد [۷].

۱۶- مقایسه فرآیندهای حرارتی و غیرحرارتی

فرآیندهای حرارتی با کاهش آلودگی یا بار میکروبی مواد غذایی همراه هستند، اما در عین حال می‌توانند منجر به از دست رفتن اجزای غذایی حساس به دما شوند [۳، ۲۰]. استفاده از حرارت ممکن است تغییراتی در بافت و ویژگی‌های ارگانولپتیک غذا ایجاد کند و احتمال تشکیل ترکیبات سمی شیمیایی را نیز افزایش دهد. همچنین در فرآیندهای حرارتی، از دست دادن رطوبت، اکسیداسیون لیپیدها و تغییر در ترکیب اسیدهای چرب مشاهده می‌شود. این فرآیندها به مصرف انرژی بالایی نیاز دارند و در برخی موارد موجب کاهش کیفیت نهایی مواد غذایی می‌شوند.

در مقابل، در فرآیندهای غیرحرارتی، مواد غذایی تنها برای مدت زمان بسیار محدودی در معرض دمای محیط قرار می‌گیرند. این روش‌ها با کاهش بار میکروبی غذا، افزایش ماندگاری، حفظ ویژگی‌های حسی و بافتی مواد غذایی و توقف فعالیت آنزیم‌ها



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

همراه هستند. علاوه بر این، فرآیندهای غیرحرارتی می‌توانند برای فرآوری انواع مختلفی از مواد غذایی از جمله میوه‌ها، سبزیجات، حبوبات، ادویه‌ها، گوشت و ماهی به کار گرفته شوند [۳، ۲۰].

۱۷- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، پرتودهی به عنوان یکی از فناوری‌های نوین و کارآمد در فرآوری غذاهای دریایی، می‌تواند با حفظ ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای محصول، ماندگاری آن را به طور مؤثری افزایش دهد. این فناوری از طریق غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، کاهش ترکیبات مضر مانند آمین‌های بیوژنیک، و حفظ ارزش غذایی نسبت به روش‌های حرارتی سنتی، مزایای قابل توجهی ارائه می‌دهد. با این حال، رعایت دقیق دوز پرتودهی اهمیت فراوانی دارد؛ زیرا دوزهای بالا می‌توانند منجر به تغییرات نامطلوب در رنگ، بافت و ترکیب شیمیایی محصولات شوند. اثرات پرتودهی بر آنزیم‌های موجود در بافت ماهی، از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌های لیزوزومی یا حساس‌تر شدن پروتئین‌های عضلانی نسبت به هیدرولیز، می‌تواند بسته به دوز تابش، تأثیراتی مثبت یا منفی بر کیفیت نهایی محصول داشته باشد. بنابراین انتخاب دوز مناسب پرتودهی اهمیت حیاتی دارد تا از بروز تغییرات نامطلوب در رنگ، بافت و ویژگی‌های شیمیایی غذا جلوگیری شود. در مجموع، پرتودهی به عنوان یک روش ایمن، کم‌هزینه و دوستدار محیط زیست، جایگاه ویژه‌ای در بهبود کیفیت و ایمنی غذاهای دریایی و همچنین افزایش طول عمر نگهداری این محصولات یافته است و می‌تواند در کنار دیگر فناوری‌های نوین، به توسعه پایدار صنعت شیلات کمک کند.

مراجع

- [1] Safwa, S.M., et al., *Applications of non-thermal technologies in food processing Industries- A review*. Journal of Agriculture and Food Research, 2024. 18: p. 100917.
- [2] Wai, H.H., et al., *Ultraviolet irradiation as alternative non-thermal cold pasteurization to improve quality and microbiological parameters of mango juice during cold storage*. International Journal of Food Microbiology, 2024. 415: p. 110632.
- [3] Jadhav, H.B., U.S. Annapure, and R.R. Deshmukh, *Non-thermal technologies for food processing*. Frontiers in Nutrition, 2021. 8: p. 657090.
- [4] Farkas, J., *Irradiation for better foods*. Trends in food science & technology, 2006. 17(4): p. 148-152.
- [5] Bashir, K., et al., *History, status and regulatory aspects of gamma irradiation for food processing*. 2021.
- [6] Potylitsyn, A., *Electromagnetic radiation of electrons in periodic structures*. Vol. 243. 2011: Springer Science & Business Media.
- [7] Pi, X., et al., *Food irradiation: A promising technology to produce hypoallergenic food with high quality*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021. 62(24): p. 6698-6713.
- [8] Tuieng, R.J., et al., *The effects of ionising and non-ionising electromagnetic radiation on extracellular matrix proteins*. Cells, 2021. 10(11): p. 3041.
- [9] Venugopal, V., *Seafood processing: adding value through quick freezing, retortable packaging and cook-chilling*. 2005: CRC press.
- [10] Serukaluthur Balaji, A., *Development of a cold pasteurization treatment (γ -irradiation) in combination with an antimicrobial formulation based on natural compounds to assure the innocuity of human milk*. 2021, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
- [11] Ray, S., *Food Irradiation: Concepts, Applications, and Future Prospects*, in *Advances in Food Process Engineering*. 2023, Apple Academic Press. p. 299-319.



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

- [12] Shams, R., et al., *Role of Gamma Irradiation in the Preservation of Fruits and Vegetables, in Quality Control in Fruit and Vegetable Processing*. 2023, Apple Academic Press. p. 57-75.
- [13] Rosario, D.K., et al., *Principles and applications of non-thermal technologies and alternative chemical compounds in meat and fish*. Critical reviews in food science and nutrition, 2021. 61(7): p. 1163-1183.
- [14] Dionísio, A.P., R.T. Gomes, and M. Oetterer, *Ionizing radiation effects on food vitamins: A review*. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2009. 52: p. 1267-1278.
- [15] Hussain, M.S., *Response of foodborne pathogens to irradiation*, in *Stress Responses of Foodborne Pathogens*. 2022, Springer. p. 347-366.
- [16] Sahoo, M., et al., *Irradiation of food*. Novel technologies in food science, 2023: p. 333-373.
- [17] Danyo, E.K., M.N. Ivantsova, and I.S. Selezneva, *Ionizing radiation effects on microorganisms and its applications in the food industry*. Foods and Raw materials, 2024. 12(1): p. 1-12.
- [18] Huang, X., et al., *Effect of gamma irradiation treatment on microstructure, water mobility, flavor, sensory and quality properties of smoked chicken breast*. Food Chemistry, 2023. 421: p. 136174.
- [19] Tiwari, B.K. and M.L. Bhavya, *Chemistry of Thermal and Non-Thermal Food Processing Technologies*. 2024: Elsevier.
- [20] Yu, H., et al., *Effects of E-beam irradiation on the physicochemical properties of Atlantic cod (Gadus morhua)*. Food Bioscience, 2022. 50: p. 101803.