

نشریه فنی:

میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فرآوری شده: تکنیک‌ها، مزایا و چالش‌ها

فوزان بدیعی



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی

میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده: تکنیک‌ها،
مزایا و چالش‌ها

تهیه و تدوین:

فوزان بدیعی

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:

۱۴۰۴



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: نشریه فنی
عنوان نوشتار: میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده: تکنیک‌ها، مزایا و چالش‌ها
نگارنده: فوزان بدیعی
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن‌دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۴



مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ۶۷۲۰۸ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۴/۰۲/۰۳

مخاطبان نشریه فنی

تولیدکنندگان و صادرکنندگان میوه‌ها و سبزی‌های تازه، مروجان و کارشناسان ترویج، واحدهای فراوری و تولید محصولات باغی، دانشجویان و محققان رشته صنایع غذایی

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- اهمیت و نقش میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده
- روش‌های تهیه و فراوری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده
- چالش‌ها و فناوری‌های جدید در تولید و نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده
- چشم اندازه آینده تولید تجاری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-مقدمه	۱
۲-دلایل اصلی تخریب و فساد میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده	۲
۳-خط فراوری، توزیع، و شرایط نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده	۴
۴-تکنولوژی تلفیقی	۹
۵-روش‌های مورد استفاده برای افزایش عمر انباری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده	۱۰
۶-مزایا و چالش‌های تولید میوه و سبزی کم‌فراوری شده	۲۶
۷-نتیجه‌گیری	۲۸
۸-منابع	۲۸

۱- مقدمه

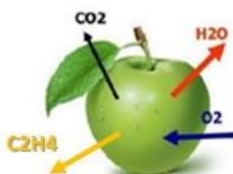
در سال‌های اخیر توجه زیادی شده است به تولید محصولات غذایی سالم با فراوری کم و نیز اینکه مصرف‌کنندگان محصولاتی باکیفیت، طبیعی، مغذی، و ایمن را ترجیح می‌دهند. میوه‌ها و سبزی‌ها نقش مهمی در تغذیه سالم انسان دارند و در فهرست اولویت‌های مصرف‌کنندگان جایگاه بالایی دارند. میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده^۱ (MPFVs) به هر میوه و سبزی‌ای گفته می‌شود که پس از مراحل مختلف فراوری (مانند پوست‌کندن، پیرایش، برش، شستشو، ضدعفونی، آبکشی و غیره) تبدیل به محصولی کاملاً خوراکی شود و ضمن استفاده راحت، برای مصرف‌کننده ایمن و سالم باشد. این محصولات فقط از مواد طبیعی به‌دست می‌آیند و به‌طور معمول در فیلم‌های پلیمری در شرایط عادی یا در اتمسفر اصلاح‌شده بسته‌بندی می‌شوند و تا زمان مصرف در حالت سرد نگهداری خواهند شد. میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده ویژگی‌هایی مشابه با ویژگی‌های میوه یا سبزی کامل دارند و به‌طور معمول پیش از استفاده نیازی به فراوری بیشتر ندارند. این محصولات علاوه بر راحتی استفاده، دارای کیفیتی مطلوب و ضایعات کم با قیمتی مناسب هستند. جهانی‌شدن و سبک زندگی مدرن عواملی هستند که باعث افزایش تقاضا برای این نوع محصولات شده‌اند. علاوه بر این، مشارکت بیشتر زنان در بازار کار، کاهش تعداد افراد در هر خانواده، و افزایش تعداد افراد مجرد، در کنار دیگر عوامل، باعث می‌شود تا مصرف‌کنندگان به‌دنبال این محصولات باشند و چشم‌انداز امیدوارکننده این بخش را تقویت کنند. برای حفظ تازگی و خواص طبیعی میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده باید از روش‌های نگهداری نسبتاً ملایمی استفاده کرد. مشکل اصلی آن است که در محصولات کم‌فراوری شده شدت فعالیت‌های متابولیکی بیشتر است، این محصولات حساسیت بیشتری به آلودگی‌های میکروبی و فساد بیوشیمیایی دارند. از طرفی، مصرف‌کنندگان برخی از روش‌های نگهداری برای مواد غذایی سنتی را نمی‌پذیرند، مانند کاربرد نمک به‌عنوان نگهدارنده، استفاده بیش از حد از دیگر نگهدارنده‌ها یا کاربرد فرآیندهای حرارتی شدید که باعث کاهش خواص حسی و تغذیه‌ای محصول می‌شوند. بنابراین، تولیدکنندگان این نوع محصولات مجبورند تا روش‌های جدید یا ترکیبی از

¹ Minimally Processed Fruits and Vegetables (MPFVs)

روش‌های ملایم‌تر را به کار برند تا از پایداری و سلامت این محصولات اطمینان حاصل شود و خواص حسی و تغذیه‌ای آنها حفظ شود.

۲- دلایل اصلی تخریب و فساد میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده

میوه‌ها و سبزی‌ها محصولات غذایی زنده‌ای هستند که پس از برداشت فرآیندهای بیولوژیکی مختلفی مانند تنفس و تولید اتیلن در آنها با سرعت‌های مختلف ادامه می‌یابد (شکل ۱). در مورد میوه‌ها و سبزی‌های خردشده تازه، فساد معمولاً به دلیل فرآیندهای فیزیولوژیکی و میکروبی و اثرهای متقابل آنها رخ می‌دهد (فینگر^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۱- فعالیت‌های متابولیکی میوه پس از برداشت (بدیعی، ۱۳۹۷)

میوه‌ها و سبزی‌ها منابع خوبی از مواد مغذی و آب هستند و از این رو انواع مختلفی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در آنها در شرایط محیطی رشد کنند. آلودگی میکروبی ممکن است در مزرعه یا طی عملیات پس از برداشت و فراوری رخ دهد (شکل ۲).



شکل ۲- فرصت‌های ایجاد آلودگی در محصولات باغی کم‌فراوری شده (آرتز و آلنده^۲،

۲۰۰۵)

¹ Finger

² Arte's and Allende

شکل ۳ منابع ایجاد آلودگی در محصولات باغی را در مراحل مختلف پیش از برداشت و پس از نشان می‌دهد.



شکل ۳- منابع آلودگی میکروبی محصولات باغی در مراحل مختلف تولید و پس از برداشت (سانتوز^۱ و همکاران، ۲۰۲۳)

باکتری‌های عامل فساد شامل گونه‌هایی از خانوادهٔ پseudomonadaceae^۲، انتروباکتریاسه^۳ و دیگر گونه‌ها در گروه باکتری‌های اسیدلاکتیک به‌ویژه *لوکونوستوک مزانتروئیدس*^۴ هستند. بسته به ترکیب ماتریس گیاهی، گونه‌های مختلفی از مخمرها و کپک‌ها در میوه‌ها و سبزی‌های خردشدهٔ تازه شناسایی شده‌اند. در بیشتر موارد، حضور و تکثیر این میکروارگانیسم‌ها به‌شدت بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد، اما به‌طور کلی برای سلامت مصرف‌کنندگان تهدیدی ایجاد نمی‌کند. در خصوص بیماری‌زها، تنها چند گونه در محصولات باغی خردشدهٔ تازه یافت شده‌اند، مانند *اشریشیا کلی*^۵ O157:H7، گونه‌های *سالمونلا*^۶، گونه‌های *شیگلا*^۷، *لیستریا مونوسیتوژنز*^۸، *کامپیلوباکتر*^۹ و برخی ویروس‌ها و انگل‌ها.

¹ Santos

² Pseudomonadaceae

³ Enterobacteriaceae

⁴ *Leuconostoc mesenteroides*

⁵ *Escherichia coli*

⁶ *Salmonella* spp.

⁷ *Shigella* spp.

⁸ *Listeria monocytogenes*

⁹ *Campylobacter*

برای تولید محصولات خردشده تازه به بافت گیاهی آسیب وارد می شود که منجر به تشدید فعالیت های تنفسی، متابولیکی، و آنزیمی در بافت محصول می شود و به تخریب کیفی (مانند خرابی بافت، تسریع رسیدن و پیری، تشکیل طعم های ناخوشایند، تخریب رنگ، و تغییرات ناخواسته دیگر) محصول می انجامد (سانتوز و همکاران، ۲۰۲۳). تمام این واکنش ها که در میوه و سبزی های خردشده تازه رخ می دهند، عمر مفید محصول را به طور چشمگیری پایین می آورند و در نتیجه می توانند بازاری پستی و فروش محصول را کاهش دهند. در میوه های فرازگرا، فرآیند رسیدگی میوه پس از برداشت ادامه می یابد و طی فرآیند رسیدگی، شدت تنفس، تولید اتیلن و فعالیت های متابولیکی دیگر افزایش می یابد. در این محصولات، آزادشدن آنزیم های مختلف مانند پلی فنول اکسیدازها^۱، سلولازها، آنزیم های پکتولیتیک، آمیلازها و پراکسیدازها^۲، باعث تغییرات حسی جدی مانند تغییر رنگ، نرم شدن، تولید طعم های ناخوشایند و بوی نامطبوع می شود و در نهایت کیفیت محصول کاهش می یابد (سانتوز و همکاران، ۲۰۲۳).

۳- خط فراوری، توزیع و شرایط نگهداری میوه ها و سبزی های کم فراوری - شده

مراحل فراوری در هر کارخانه صنعتی برای تولید میوه ها و سبزی های کم فراوری شده مشابه است، اما بسته به نوع محصول، برخی مراحل ممکن است متفاوت باشند. عملیات اصلی فراوری و حداکثر دماهای توصیه شده برای هر مرحله در تولید سبزی های برگی تازه برش خورده در شکل ۴ نشان داده شده است. مهم ترین مراحل زنجیره فراوری، از جمله شستشو، برش، ضد عفونی، و بسته بندی که تأثیر بسزایی بر کیفیت نهایی محصول دارند، در تمامی خطوط تولید مشترک هستند. پس از ورود مواد خام به کارخانه، تمام محصولات تأیید شده باید در محیطی با دمای کنترل شده دریافت و به سرعت به سردخانه ای با دمای مناسب یا مستقیماً به اتاق فراوری منتقل شوند. اگر محصولی دارای نشانه های آلودگی شیمیایی یا فیزیکی، یا دیگر نقص های کیفی باشد، اقدامات اصلاحی باید برای درجه بندی،

¹ Poly Phenol Oxidase (PPO)

² Peroxidase (PO)

سورتینگ، و جداسازی مواد خام اجرا شود تا محصولات آسیب‌دیده، فاسد، یا بالقوه خطرناک حذف شوند. مراحل بعدی بسته به نوع محصول و فرآورده‌های خاص مورد نیاز، متفاوت خواهد بود (جیاناکورو^۱ و تسیرونی، ۲۰۲۱).

اولین مرحله در کم‌فراوری میوه‌های تازه معمولاً شستشوی کل میوه است که با هدف حذف آلودگی‌های ناخواسته، بقایای سموم دفع آفات، بقایای گیاهی، خاک، حشرات، و دیگر مواد خارجی اجرا می‌شود. این فرآیند همچنین به کاهش واکنش‌های تغییر رنگ آنزیمی کمک می‌کند. برای ضدعفونی کردن سطحی میوه‌ها از آب لوله‌کشی با ترکیباتی مانند هیپوکلریت سدیم (NaClO)، هیپوکلریت کلسیم و دیگر نمک‌های ضدعفونی‌کننده استفاده می‌شود. هیپوکلریت سدیم پرکاربردترین نمک برای ضدعفونی کردن سطحی میوه‌هاست. این ترکیب در pH پایین کارایی بیشتری دارد، اما برای کاهش خطر خوردگی تجهیزات فلزی فراوری، مقدار pH بین ۶ تا ۷/۵ توصیه می‌شود (آرتز و آلدن، ۲۰۰۵). یکی از بزرگ‌ترین معایب استفاده از کلر یا ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر کلر، تولید احتمالی تری‌هالومتان‌ها^۲ (THMs) است که نگرانی عمده‌ای برای پژوهشگران، تولیدکننده‌های صنعتی و نهادهای نظارتی محسوب می‌شود. در واقع، همین نگرانی‌ها باعث شده برخی کشورهای اروپایی استفاده از کلر را برای ضدعفونی کردن محصولات فراوری شده میوه و سبزی ممنوع کنند (آرتز و آلدن، ۲۰۰۵). ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر کلر اگر درست و در شرایط بهینه استفاده شوند، خطر جدی برای تولید تری‌هالومتان‌ها ندارند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که پس از آلوده شدن محصول به عوامل بیماری‌زا، هیچ‌یک از روش‌های ضدعفونی موجود کارایی چندانی برای از بین بردن این آلودگی‌ها ندارد (گیل^۳ و همکاران، ۲۰۱۴).

پیشگیری و بهداشت، مهم‌ترین رویکرد برای حفظ کیفیت میکروبی و ایمنی محصولات تازه با فراوری کم است. همه واحدهای فراوری باید الزامات بهداشت خوب^۴ (GHP) را مطابق با این مقررات رعایت کنند تا از آلودگی مواد غذایی جلوگیری شود. در واقع، این

¹ Giannakourou and Tsironi

² Trihalomethanes

³ Gil

⁴ Good Hygiene Practice (GHP)

محصولات باید بر اساس روش اصول تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی^۱ (HACCP) تولید شوند تا بتوان خطرهای را به‌طور مؤثر پایش کرد. برنامه‌های بهداشتی پیشگیرانه مانند شیوه‌های کشاورزی خوب^۲ (GAPs)، شیوه‌های تولید خوب^۳ (GMPs)، و رویه‌های استاندارد عملیات بهداشتی^۴ (SSOPs) اگر به‌درستی اجرا شوند، می‌توانند احتمال آلودگی‌های اولیه و ثانویه توسط باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها، و انگل‌ها را به‌حداقل رسانند (آرتز و آنده، ۲۰۰۵).

پوست‌کنی و برش یکی از مراحل حیاتی از نظر بهداشت در خط فراوری هستند و تجهیزات مورد استفاده در این فرآیند باید به‌طور منظم در هر روز کاری، تمیز، ضدعفونی، و تیز شوند تا از تجمع باقی‌مانده‌های آلی جلوگیری شود و آسیب‌دیدگی محصول کاهش یابد. پوست‌کنی معمولاً به‌صورت دستی، مکانیکی، شیمیایی، یا با استفاده از دستگاه‌های بخار با فشار بالا است. (آنده و همکاران، ۲۰۰۶).

فرآیند مهم بعدی در تولید، حذف آب اضافی است. آب‌گیری سطوح مرطوب باید به دقت اجرا شود تا از آسیب‌دیدگی بافت‌های گیاهی، کاهش رطوبت محصول، و حذف ترکیبات سلولی جلوگیری شود. سیستم‌های آب‌گیری شامل دستگاه‌های تخلیه، حذف ملایم آب با استفاده از پارچهٔ کتان شل‌بافت^۵، خشک‌کن‌های سانتریفیوژ، قفسه‌های لرزان، نقاله‌های چرخان، هوای فشرده، و تونل‌های خشک‌کن بدون چرخش هستند. نیروی بالای گریز از مرکز علاوه بر حذف آب اضافی ممکن است باعث خردشدن نیز بشود. زمان و سرعت سانتریفیوژ از پارامترهای کلیدی هستند که باید برای هر محصول تنظیم شوند (آرتز و آنده، ۲۰۰۵).

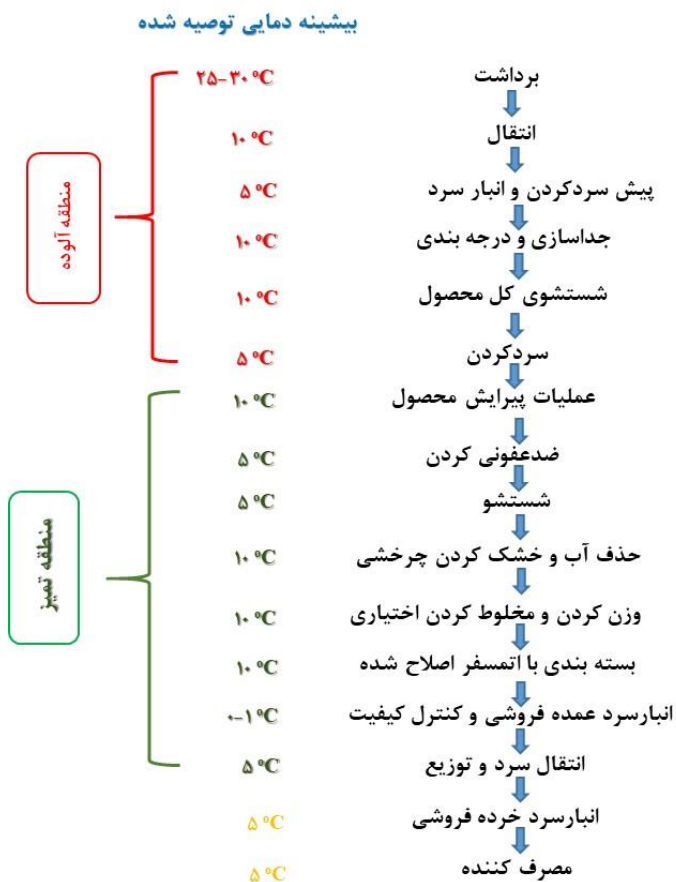
^۱ Hazard Analysis and Critical Control Point

^۲ Good Agricultural Practices (GAP)

^۳ Good Manufacturing Practices

^۴ Sanitation Standard Operating Procedures

^۵ Cheesecloth



شکل ۴ مراحل کلی تولید میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده و حداکثر دماهای توصیه شده در هر مرحله (آرتز و آلنده، ۲۰۰۵)

میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده پس از آنکه تولید شدند باید به روش درست بسته بندی شوند. تقریباً تمام این محصولات در شرایط بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده^۱ (MAP) ذخیره می شوند تا عمر مفید تجاری لازم را داشته باشند. در بسته بندی اتمسفر اصلاح شده

¹ Modified Atmosphere Packaging (MAP)

محیط گازی درون بسته از طریق تنفس محصول (MAP غیرفعال) یا از طریق افزودن و حذف گازها (MAP فعال) تغییر می‌یابد. بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده با محدود کردن فرآیندهای اکسایشی و تکثیر میکروارگانیسم‌های فاسدکننده هوازی، عمر مفید میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده را افزایش می‌دهد. با این حال، دما مهم‌ترین عامل محیطی است که بر سرعت فساد محصول اثر می‌گذارد. دمای پیشنهادی برای بسته‌بندی MAP محصولات باغی کم‌فراوری‌شده بین صفر تا ۵ درجهٔ سلسیوس است، اما این محصولات اغلب در دمای ۱۰ تا ۱۲ درجهٔ سلسیوس (دمای غیرمجاز) در ویتترین خرده‌فروشی‌ها نگهداری می‌شوند. با توجه به موارد گفته‌شده، رعایت الزام‌های مهم و کلیدی زیر برای تولید میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده ضروری است.

- استفاده از مواد اولیه باکیفیت بالا (انتخاب رقم و گونهٔ مناسب، شرایط صحیح کاشت، برداشت و نگهداری)
- رعایت بهداشت دقیق و اجرای شیوه‌های مناسب تولید، به‌کارگیری اصول تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی (HACCP)
- حفظ دمای پایین طی فراوری
- تمیز کردن یا شستشوی دقیق از پوست‌گیری و پس از آن
- استفاده از آب با کیفیت بالا (از نظر ویژگی‌های حسی، میکروبیولوژی و pH) برای شستشو
- استفاده از مواد افزودنی ملایم در آب شستشو برای ضدعفونی کردن یا جلوگیری از قهوه‌ای شدن
- خشک کردن ملایم با نیروی گریز از مرکز پس از شستشو
- پوست‌گیری ملایم
- برش، اسلایس یا رنده کردن با دقت
- استفاده از مواد و روش‌های بسته‌بندی مناسب
- کنترل دما و رطوبت مناسب طی توزیع و فروش

۴- تکنولوژی تلفیقی^۱

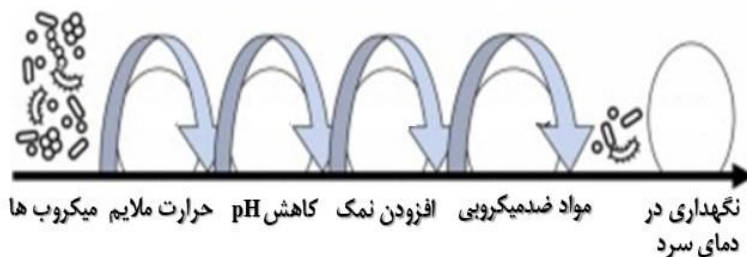
برای به حداقل رساندن فراوری، جلوگیری از افت کیفیت، کنترل رشد میکروبی، و حصول اطمینان از سلامت محصول باید از فرآیندهای تشدیدکننده تلفیقی استفاده کرد. در این روش، با تغییر عوامل محیطی مختلف موافق برای رشد میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود. برای ایجاد این موانع باید درمورد اثرهای متقابل پیچیده دما، فعالیت آبی، pH، و دیگر عوامل شناخت کافی داشت تا بتوان از سلامت میکروبی مواد غذایی فرآیند شده اطمینان حاصل کرد (بدیعی، ۱۳۸۹).

در تکنولوژی تلفیقی، ترکیبی از روش‌های مختلف سنتی و نوآورانه برای نگهداری مواد غذایی استفاده می‌شوند، به طوری که مجموعه‌ای از موانع (عوامل نگهدارنده) در برابر رشد میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود (شکل ۵). این موانع باعث جلوگیری از رشد، کاهش طول عمر، یا از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها در محیط غذایی می‌شود. برای دستیابی به پایداری میکروبی، ترکیب چند مانع (مجموعه مناسب از موانع) استفاده می‌شوند تا کیفیت حسی و تغذیه‌ای اولیه مواد غذایی حفظ شود. مهم‌ترین موانع مورد استفاده برای حفظ مواد غذایی شامل دمای بالا یا پایین طی فراوری، حمل و نقل و نگهداری، فعالیت آبی (aw)، اسیدیته و pH، پتانسیل اکسید و احیا^۲ (E_h)، نگهدارنده‌ها (طبیعی یا سنتزی)، و میکروارگانیسم‌های رقیب (مثلاً باکتری‌های اسیدلاکتیک) هستند. ترکیب هوشمند موانع می‌تواند ایمنی میکروبی، کیفیت، ویژگی‌های ارگانولپتیکی، ارزش تغذیه‌ای و ارزش اقتصادی محصول نهایی را تأمین کند. ترکیب این موانع ممکن است منجر به تولید محصولی کاملاً متفاوت با ویژگی‌های ظاهری و طعمی جدید و منحصر به فرد شود. مهم‌ترین عامل برای موفقیت در کاربرد تکنولوژی تلفیقی، انتخاب موانع مناسب برای محصول غذایی هدف است. روش‌های تشدیدکننده تلفیقی نقشی مهم در بهینه‌سازی فراوری مواد غذایی سنتی و توسعه مواد غذایی جدید دارند. کاربرد این روش به همراه اجرای مفاهیمی مانند HACCP و پیش‌بینی میکروبی^۳ برای تولید مواد غذایی پایدار، سالم و با کیفیت بالا ضروری است (بدیعی، ۱۳۸۹).

¹ Hurdles Technology

² Oxidation-Reduction Potential (E_h)

³ Predictive Microbiology



شکل ۵- مفهوم تکنولوژی تلفیقی (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

۵- روش‌های مورد استفاده برای افزایش عمر انباری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده

در مورد میوه‌ها و سبزی‌های برش خورده تازه، فعالیت میکروبی و آنزیمی از عوامل اصلی فساد برگشت‌ناپذیر و رد محصول است. بنابراین، تمام روش‌های حفظ مواد غذایی، به نام "موانع"، هدفشان مهار مؤثر میکروب‌ها و آنزیم‌هاست. برای افزایش عمر انباری در این محصولات، برخی از روش‌های سنتی مانند تیمار حرارتی (تیمارهای حرارتی ملایم)، استفاده از مواد شیمیایی (مانند اسیدکننده‌ها، ضد اکسنده‌ها، کلر، ضد میکروب‌ها، مواد ضد عفونی کننده، و غیره)، نگهداری در دمای پایین، استفاده از تابش مناسب، اکسایش/احیا (O/R)، کاهش فعالیت آبی (aw) و بسته‌بندی مناسب استفاده می‌شوند. برای اثربخشی و کارایی بیشتر موانع، به طور معمول ترکیبی از فناوری‌های گفته شده در بالا استفاده می‌شوند. این موانع سیستم‌های آنزیمی سالم یا آسیب دیده در بافت‌های زنده مانند پلی فنول اکسیداز (PPO)، پراکسیداز (PO) یا پکتینازها^۱، پلی گالاکتوروناز^۲ (PG) و پکتین استراز^۳ (PE) و دیگر آنزیم‌های مرتبط با تنفس را مهار می‌کنند. در این بخش، موانع اصلی که در میوه‌ها و سبزی‌های تازه برش خورده اعمال می‌شوند به طور خلاصه شرح داده می‌شوند.

¹ Pectinases

² Polygalacturonase

³ Pectinesterase

۵-۱- تیمارهای حرارتی کوتاه مدت: حرارت یکی از قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین روش‌های نگهداری است که هدف آن کاهش میکروارگانیسم‌ها و مهار فعالیت آنزیمی در بافت‌های گیاهی (بلانچینگ) است. مشکل اصلی در چنین محصولات فاسدشدنی این است که حرارت با تخریب چشمگیر طعم، بافت، رنگ، و کیفیت تغذیه‌ای همراه است. تیمارهای اصلی اعمال شده در میوه‌ها و سبزی‌های تازه برش خورده شامل تیمارهای کوتاه مدت با آب-گرم^۱ باهدف کنترل میکروفلور سطحی محصول تازه، شستشو و برس زدن با آب-گرم^۲ (HWRB)، شوک حرارتی ملایم^۳، بلانچینگ با آب گرم^۴، و غیره هستند. تیمارهای حرارتی کوتاه مدت در صنعت محصولات تازه برش خورده، روش‌هایی مؤثر برای پیشگیری از آثار منفی قهوه‌ای شدن آنزیمی هستند و به جای روش‌های نگهداری شیمیایی استفاده می-شوند (سیواکومار^۵ و فالیک، ۲۰۱۳).

۵-۲- دماهای پایین: نگهداری در شرایط سرد پس از تیماردهی، گامی ضروری برای کندکردن رشد میکروبی و مهار فعالیت وسیع آنزیمی در تولید میوه‌ها و سبزی‌های کم-فراوری شده است. سرمایش تکنیک اصلی مورد استفاده برای ذخیره‌سازی و نگهداری محصولات فاسدشدنی است، زیرا کاهش دما فعالیت تنفسی و سنتز اتیلن را کاهش می‌دهد و علاوه بر آن، در حفظ بار میکروبی محصولات تیمار شده مؤثر است. بنابراین، ضروری است که سیستم‌های سرمایشی کارآمد در تمام مراحل فراوری و تولید این محصولات فعال باشند (جیاناکورو و تسپرونی، ۲۰۲۱).

۵-۳- نگهداری شیمیایی با کنترل pH یا بدون آن: این دسته از موانع برای میوه‌ها و سبزی‌های تازه برش خورده و بافت‌های گیاهی با فراوری کم بسیار مهم است و شامل مواد شیمیایی است که برای شستشو و ضدعفونی استفاده می‌شوند. ضدعفونی کننده‌های آب شستشو برای کاهش جمعیت باکتریایی اولیه بلافاصله پس از برش استفاده می‌شوند. برخی از مواد شیمیایی رایج شامل ترکیبات مبتنی بر کلر (هیپوکلریت،

¹ Short-Time Hot Water

² Hot Water Rinsing and Brushing

³ Mild Heat Shock

⁴ Hot Water Blanching

⁵ Sivakumar and Fallik

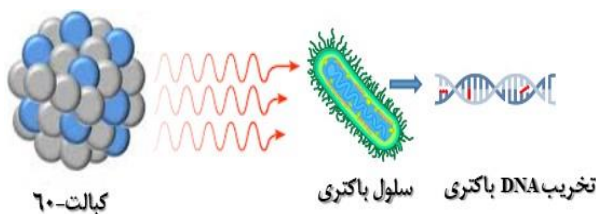
دی اکسید کلر، سدیم کلریت اسیدی شده، آب اکسید شده الکترولیز شده، و غیره)، فرمولاسیون های اسید آلی، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، آب اوزون شده و اوزون گازی (O_3)، و محصولات قلیایی هستند.

علاوه بر مواد شستشو و ضد عفونی کننده ها، دیگر ترکیبات شیمیایی به طور گسترده برای مهار فساد میکروبی و حفظ کیفیت محصولات مبتنی بر سبزی های کم اسید، محصولات اسیدی شده کم اسید، و محصولات میوه ای با اسید بالا اعمال شده اند. این مواد شامل ترکیبات ضد میکروبی مانند اسیدهای آلی، اسیدهای چرب با زنجیره متوسط، استرهای اسیدهای چرب چند عاملی، قند و نمک، اسید L-اسکوریک، و EDTA هستند. آن دسته از نگهدارنده هایی که به عنوان مواد ضد اکسند عمل می کنند، به طور گسترده برای جلوگیری از قهوه ای شدن آنزیمی، مهار تغییر رنگ رنگدانه ها، و محافظت در برابر از دست دادن ویژگی های حسی و تغذیه ای استفاده می شوند (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).

۴-۵- کاهش فعالیت آب: اکثر میوه ها و سبزی های تازه برش خورده فعالیت آبی برابر یا بیشتر از ۰/۹۸ دارند. بنابراین، کاهش فعالیت آب، راه بسیار موثری برای محدود کردن فعالیت میکروبی و آنزیمی در این فرآورده هاست. واضح است کاهش فعالیت آب نمی تواند تنها "مانع" باشد زیرا این امر منجر به خشکی گسترده ماتریس غذایی خواهد شد که تأثیرات ناخوشایندی بر ویژگی های تغذیه ای و حسی بافت خام خواهد داشت. کاستن از فعالیت آب در ترکیب با یک روش نگهداری دیگر می تواند راهی مؤثر برای حفظ کیفیت مواد خام و در عین حال افزایش مدت زمان ماندگاری آن باشد (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).

۵-۵- روش های زیستی (زیست نگهداری): این فرآیند بیشتر براساس استفاده از میکروفلور طبیعی یا کنترل شده، مانند باکتری های اسید لاکتیک و یا متابولیت های آنها، برای افزایش زمان ماندگاری و ایمنی محصولات غذایی است. ترکیبات متابولیکی ضد میکروبی تولید شده توسط این میکروارگانیسم ها مانند باکتریوسین ها، دی استیل، پراکسید هیدروژن، و اسیدهای آلی تأثیر منفی بر میکروارگانیسم های بیماری زا دارند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۸).

۵-۶- تابش: نگهداری با استفاده از تابش شامل حرارت‌دادن با پرتوهای فروسرخ، مایکروویو، نور فرابنفش، تابش یونیزه‌کننده، و غیره است. پرتودهی یکی از روش‌های نگهداری فیزیکی برای سالم‌سازی تولید میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده است که در حفظ کیفیت و افزایش عمر مفید محصول بسیار مؤثر است و می‌تواند به‌جای نگهداری شیمیایی استفاده شود (آرین^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). امواج الکترومغناطیسی، به‌ویژه پرتوهای گاما، از مهم‌ترین پرتوهای یونیزان هستند که برای نگهداری مواد غذایی استفاده می‌شوند. تابش معمولاً پس از برش و بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده به کار می‌رود، محصول در داخل محفظه‌های غیرقابل نفوذ قرار داده می‌شود و در معرض تابش قرار می‌گیرد. برای مواد غذایی معمولاً پرتو گاما از منبع کبالت-۶۰ یا سزیم-۱۳۷ ساطع می‌شود، که ظرفیت نفوذ به ساختارها و میکروارگانیسم‌ها را دارد. این فرآیند به DNA میکروبی آسیب می‌رساند و سلول را غیرفعال می‌کند (شکل ۶). غذاهای پرتودهی‌شده رادیواکتیو نمی‌شوند و بی‌خطر محسوب می‌شوند. اگرچه بالاترین دوز مجاز برای استفاده تجاری ۱۰ کیلوگری است، دوزهای بسیار پایین‌تر برای تخریب عوامل بیماری‌زا (۱ تا ۵ کیلوگری) و تاخیر در رسیدن و پیری میوه‌ها و سبزی‌ها (۰/۵-۰/۲ کیلوگری) کافی است. در واقع، محصولات غذایی کم‌آب، دوزهای بالای پرتودهی را بدون کاهش کیفیت تحمل می‌کنند، در حالی که میوه‌ها و سبزی‌های تازه معمولاً نمی‌توانند دوزهای بسیار بالا را تحمل کنند.



شکل ۶- اثر پرتو گاما بر باکتری (گومز^۲ و همکاران، ۲۰۲۳)

¹ Urban

² Gomez

محدودیت اصلی این تکنیک هزینه بالا و نپذیرفتن مصرف کنندگان است. مصرف کنندگان اغلب محافظه کار هستند و تمایلی به پذیرش محصولات فراوری شده با فناوری های جدید ندارند، به ویژه زمانی که اطلاعات کافی در مورد این فرآیندها ندارند. محدودیت اطلاعات منجر به درک نادرست از خطرها و نپذیرفتن غذاهای پرتودهی شده می شود (گومز و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، روی بسته بندی محصولات پرتودهی شده باید برچسب گذاری شود (شکل ۷).



شکل ۷- برچسب زنی روی نمونه های پرتودهی شده

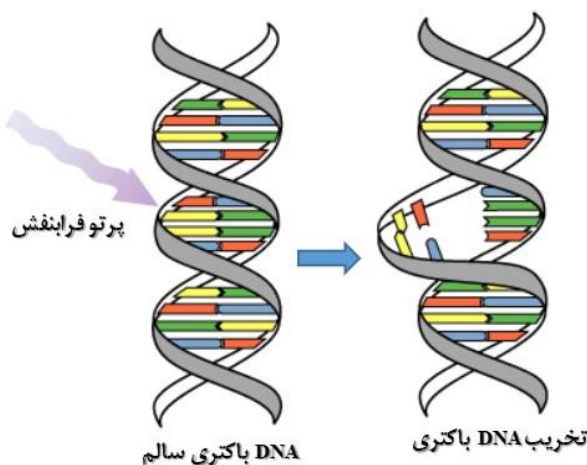
استفاده از تابش فرابنفش (UV) در زنجیره نگهداری میوه ها و سبزی ها درحال افزایش است و عملکرد اصلی آن کاهش آلودگی محصولات از طریق غیرفعال سازی میکروارگانیسم هاست (آرین و همکاران، ۲۰۱۶). تابش فرابنفش نوعی تابش الکترومغناطیسی با طول موج ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر است و می توان آن را به دسته های طول موجی مانند فرابنفش A^۱ (۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر)، فرابنفش B^۲ (۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر) و فرابنفش C^۳ (۱۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر) تقسیم کرد. تابش فرابنفش C غیر یونیزه، رایج ترین نوع برای ضد عفونی کردن میوه ها و سبزی هاست و می توان آن را روی محصولات کامل یا کم فراوری شده اعمال کرد. برای محصولات کم فراوری شده، تابش فرابنفش C بیشتر در مرحله ضد عفونی پس از برش و خرد کردن استفاده می شود. تابش فرابنفش روی میکروارگانیسم ها تأثیر می گذارد و باعث تغییر در ساختار غشاها و اسیدهای نوکلئیک آنها می شود (شکل ۸). این روش، در مقایسه با دیگر روش های ضد عفونی میوه ها و سبزی ها،

^۱ UV-A

^۲ UV-B

^۳ UV-C

دارای مزایای متعددی است مانند سهولت در کاربرد و هزینه نسبتاً پایین نصب و نگهداری. علاوه بر این، محدودیت قانونی ندارد، برای طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و فاسدکننده اثر کشندگی دارد، هیچ‌گونه باقیمانده‌ای در مواد غذایی نمی‌گذارد، و باعث کاهش اندک در کیفیت حسی می‌شود بی‌آنکه تغییری در مواد مغذی حساس به حرارت ایجاد کند. مانند هر تکنیکی، تابش فرابنفش نیز محدودیت‌هایی دارد زیرا روشی سطحی با نفوذ کم است. علاوه بر این، ناهموازی‌ها و ترک‌ها در محصولات و سطوح جامد مانند بسته‌بندی می‌توانند میکروارگانیسم‌ها را از تأثیر تابش فرابنفش C محافظت کنند (بالبینوت فیلهو و بورگز^۱ و همکاران، ۲۰۲۰).



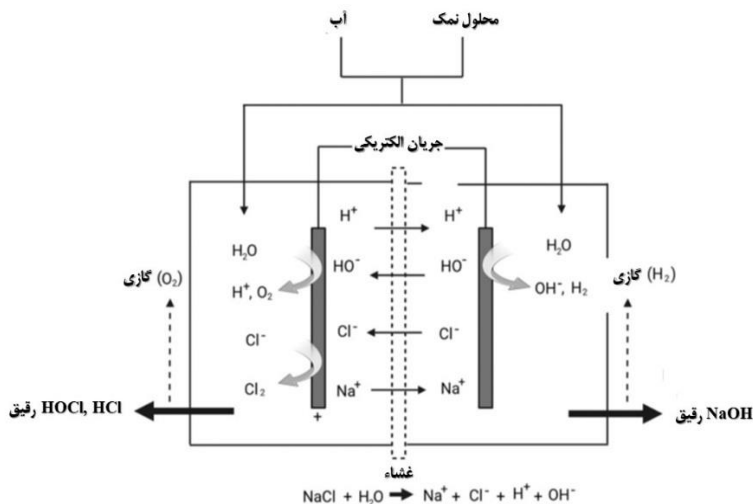
شکل ۸- اثر پرتو فرابنفش بر باکتری (گومز و همکاران، ۲۰۲۳)

۵-۷- آب الکترولیزه یا آب الکترولیتی^۲: این ماده محلول آبی است که از فرآیند الکترولیز آب تولید می‌شود. با عبور جریان الکتریکی از آب شور (آب حاوی نمک)، محلولی با خاصیت ضد عفونی‌کننده قوی به دست می‌آید که معمولاً شامل هیپوکلروس اسید (HOCl)

¹ Balbinot Filho & Borges

² Electrolyzed Water

یا کلرین فعال است (شکل ۹). آب الکترولیزه به‌طور گسترده برای هدف‌های ضدعفونی در صنایع مختلف و حتی در کشاورزی و صنایع غذایی استفاده می‌شود.

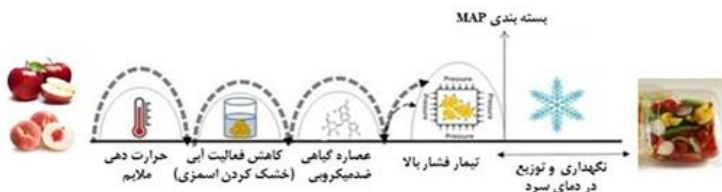


شکل ۹- تصویر کلی تولید آب الکترولیتی (گومز و همکاران، ۲۰۲۳)

محدودیت اصلی این تکنیک، هزینه اولیه به‌نسبت بالای آن به‌دلیل هزینه خرید تجهیزات است. کارایی تیمار آب الکترولیزه تا حد زیادی به میزان کلر موجود بستگی دارد و برای ضدعفونی کردن سبزی‌ها پس از برش و پیش از بسته‌بندی استفاده می‌شود (گومز و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر کلر فعال، ترکیبات دیگری نیز طی الکترولیز تولید می‌شوند، مانند گونه‌های اکسیژن فعال که به فعالیت ضد میکروبی کمک می‌کنند (گومز و همکاران، ۲۰۲۳).

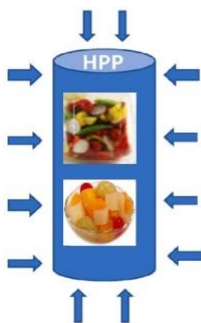
۵-۸- فشار بالا: فشار بالا تکنولوژی نوظهور غیرحرارتی است که از فشارهای حدود ۱۰۰۰ تا ۷۰۰۰ اتمسفر (۱۰۰ تا ۷۰۰ مگاپاسکال) برای حذف بار میکروبی و تأخیر در واکنش‌های آنزیمی مسئول فساد غذا استفاده می‌کند، درحالی‌که مولکول‌های کوچک مانند

ویتامین‌ها و ترکیبات معطر دست‌نخورده حفظ می‌شوند. تیمار فشار بالا را نیز می‌توان به صورت ترکیب با موانع دیگر برای جلوگیری از رشد میکروب‌ها در محصولات باغی با فراوری کم استفاده کرد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ ترکیب فناوری فشار بالا با موانع دیگر برای جلوگیری از رشد میکروب‌ها (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

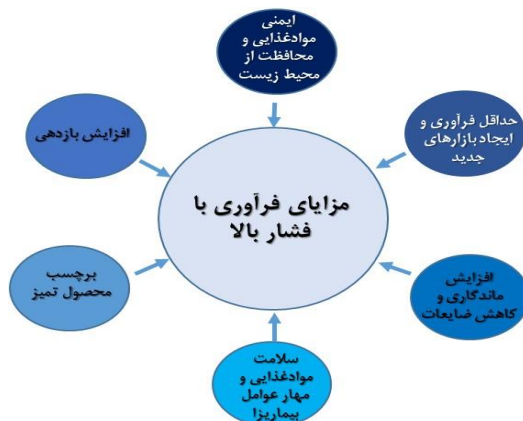
تیمار فشار بالا در محفظه‌ای بسته (ظرف فشار) اعمال می‌شود و آب محیطی است برای انتقال فشار (شکل ۱۱). مخمرها و قارچ‌ها نسبت به فشار بالا حساس‌ترند و با فشارهای ۲۰۰ تا ۳۰۰ مگاپاسکال غیرفعال می‌شوند، درحالی‌که باکتری‌ها در فشارهای بالاتر، بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ مگاپاسکال غیرفعال می‌شوند. اسپورها می‌توانند فشارهایی تا ۱۰۰۰ مگاپاسکال را تحمل کنند (گومز و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۱۱-دستگاه فراوری فشار بالا (گومز و همکاران، ۲۰۲۳)

استفاده از تکنولوژی فشار بالا می‌تواند آنزیم‌ها را غیرفعال کند زیرا این فرایند اختلافاتی در محیط ایجاد می‌کند که می‌تواند یکپارچگی آنزیم‌ها را تهدید کند یا منجر به تغییراتی در ساختار آنها شود. با اعمال فشارهایی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ مگاپاسکال، آنزیم‌ها پس از کاهش فشار می‌توانند دوباره فعال شوند، درحالی‌که فشارهای بالاتر از ۳۰۰ مگاپاسکال برای

غیرفعال سازی کامل آنزیم‌ها توصیه می‌شود (ویوک^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). آنزیم‌هایی مانند پلی فنول اکسیدازها به‌طور کامل بر اثر فشار بالا غیرفعال نمی‌شوند و برای افزایش کارایی تکنیک نیاز به استفاده از فناوری‌های ترکیبی است. برخی مزایای فراوری با فشار بالا در شکل ۱۲ نشان داده شده‌است.

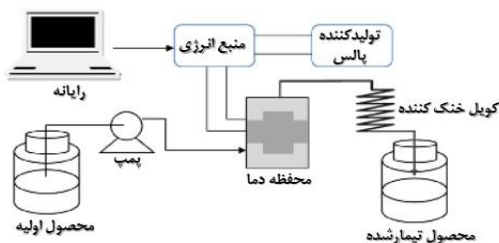


شکل ۱۲- مزایای استفاده از فناوری‌های فشار بالا

۵-۹- دیگر روش‌های نوین: میدان‌های الکتریکی پالسی^۲ (PEF) شامل کاربرد پالس‌های کوتاه الکتریکی با ولتاژ بالا (۵ تا ۵۰ کیلوولت/سانتی‌متر، مدت زمان پالس چند میکروثانیه) برای غیرفعال سازی میکروبی است درحالی که کیفیت عالی ماده غذایی گیاهی حفظ می‌شود. مکانیزم این روش براساس تخریب غشای سلولی و از بین رفتن نفوذپذیری آن است. شکل ۱۳ تصویر کلی دستگاه تولیدکننده میدان الکتریکی پالسی را نشان می‌دهد.

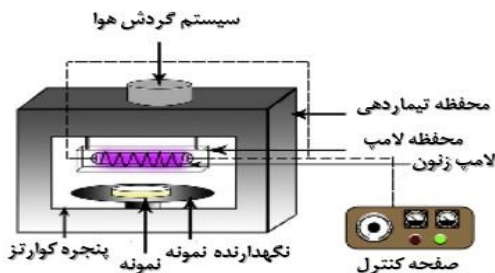
¹ Vivek

² Pulsed Electric Field



شکل ۱۳- تصویر کلی دستگاه تولیدکننده میدان الکتریکی پالسی (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

یکی دیگر از روش‌های نوظهور، نور پالسی^۱ (PL) است. اساس این روش کاربرد پالس‌های نور با شدت بالا و در مدت‌زمان‌های کوتاه است. محدوده تابش در این روش وسیع است و از طول موج فرابنفش تا ناحیه فروسرخ نزدیک (۲۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر) را دربرمی‌گیرد. کاهش چشمگیر میکروبی در مدت‌زمان بسیار کوتاه (به‌دلیل آسیب DNA و اجزای سلول میکروبی)، کم‌بودن اثرهای زیست‌محیطی، و انعطاف‌پذیری بالای این روش، از مزایای اصلی آن است. شکل ۱۴ تصویر کلی دستگاه تولید نور پالسی را نشان می‌دهد (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).



شکل ۱۴- تصویر کلی دستگاه تولید نور پالسی (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

پلاسمای سرد یکی دیگر از فناوری‌های غیرحرارتی است که هدف آن کاهش جمعیت میکروبی روی سطوح محصول است و به‌جای عوامل شیمیایی ضدعفونی‌کننده استفاده

¹ Pulsed Light

می‌شود. برخی کاربردهای مهم پلاسمای سرد در صنایع غذایی در شکل ۱۵ نشان داده شده است (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).



شکل ۱۵- کاربردهای فناوری پلاسمای سرد (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

۵-۱۰- بسته‌بندی: بسته‌بندی مناسب برای حفظ تازگی و کیفیت محصولات غذایی در خلال زنجیره توزیع تا زمان مصرف آنها ضروری است. انواع جدید بسته‌بندی با کنترل نفوذ گازهای تنفسی و بخار آب باعث افزایش عمر مفید محصولات تازه می‌شوند (توپاز و اویار^۱، ۲۰۲۰). از انواع بسته‌بندی‌های مناسب برای محصولات تازه مانند میوه‌ها و سبزی-های کم‌فرآوری شده می‌توان به بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP)، ذخیره‌سازی در اتمسفر کنترل شده^۲ (CAS)، بسته‌بندی فعال^۳، بسته‌بندی هوشمند^۴، و فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی اشاره کرد.

۵-۱۰-۱- بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده- بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP)
یکی از فناوری‌های پس از برداشت است که بیش از ۹۰ سال به‌طور گسترده برای حفظ کیفیت محصولات تازه و کم‌فرآوری شده و افزایش ماندگاری در مدت‌نگهداری به‌کار گرفته شده است. یکی از هدف‌های اصلی اصلاح اتمسفر، ایجاد محیطی با سطوح کم اکسیژن

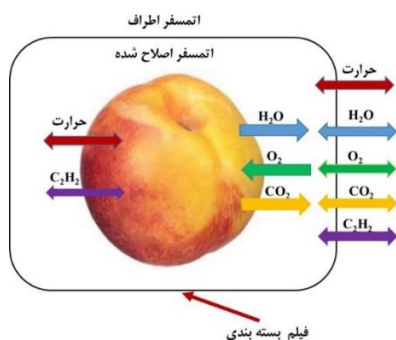
¹ Topuz and Uyar

² Controlled Atmosphere Storage (CAS)

³ Active Packaging

⁴ Intelligent Packaging

(O₂) و میزان بالای دی‌اکسیدکربن (CO₂) است تا متابولیسم سلولی، سرعت تنفس، استرس اکسایشی، پیری بافت، و سنتز اتیلن در محصول باغی تازه کاهش یابد (شکل ۱۶). اتمسفر اصلاح شده می‌تواند با تکنیک‌های غیرفعال یا فعال ایجاد شود که در این میان MAP غیرفعال اقتصادی‌تر از MAP فعال است (ویلسون^۱، ۲۰۰۷). در روش فعال، مخلوط گازی مناسب و کنترل شده‌ای به جای هوا در داخل بسته قرار داده می‌شود. ولی در روش غیرفعال یا طبیعی، اتمسفر گازی درون بسته در اثر تنفس محصول یا فعالیت میکروارگانیسم‌ها تغییر می‌کند.

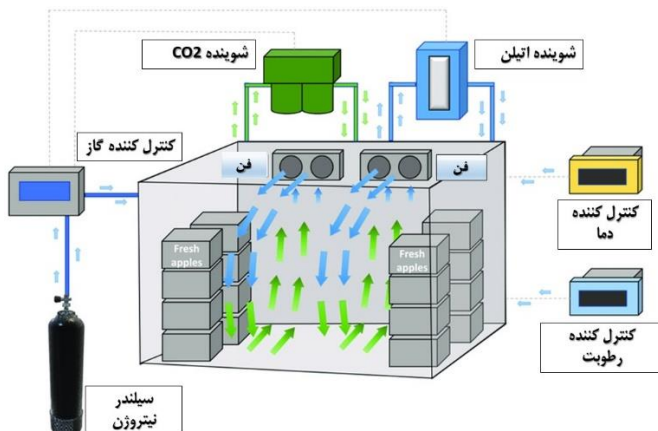


شکل ۱۶- نمونه‌ای از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده

۵-۱۰-۲- نگهداری با اتمسفر کنترل شده- ذخیره‌سازی با اتمسفر کنترل شده (CAS) فرآیندی است که در آن غلظت گازهای محیط به دقت کنترل می‌شود و سطوح گازها در صورت نیاز اصلاح می‌شود. بنابراین، اتمسفر کنترل شده به محیط ذخیره‌سازی کاملاً غیرقابل نفوذ نیاز دارد که دارای حسگرهای اکسیژن (O₂) و دی‌اکسیدکربن (CO₂) و مکانیزم‌های حذف و تزریق گاز باشد. شکل ۱۷ تصویر کلی انبار با اتمسفر کنترل شده را نشان می‌دهد. ذخیره‌سازی با اتمسفر کنترل شده (CAS) اگرچه بیش از ۲۰۰ سال است استفاده می‌شود، اما تنها در نیمه اول قرن بیستم این تکنیک تصحیح و برای اولین بار به‌طور تجاری به کار گرفته شد. به‌طور کلی، اتمسفر کنترل شده، در مقایسه با اتمسفر اصلاح شده، به دلیل نیاز

¹ Wilson

به حفظ مداوم سطح گازها در محفظه حاوی مقادیر زیاد محصول هزینه بیشتری دارد و بنابراین کمتر استفاده می‌شود. با این حال، زمانی که با کنترل دقیق دما و روش‌های مناسب پس از برداشت ترکیب شود، این روش می‌تواند به‌طور مؤثری ماندگاری مواد غذایی فسادپذیر را افزایش دهد. این روش بیشتر برای محصولات با ارزش تجاری بالاتر، مانند سیب و گلابی، به‌کار می‌رود (آرتز و آنده، ۲۰۰۵).



شکل ۱۷- انبار با اتمسفر کنترل شده - <http://www.agroripe.com/controlled-atmosphere-storage>

۵-۱۰-۳- فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی- فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده استفاده می‌شوند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی معمولاً مترادف در نظر گرفته می‌شوند اما این دو مفهوم متفاوت‌اند و به روش تولید آنها بستگی دارد. پوشش‌های خوراکی به‌صورت مایع روی سطح ماده غذایی قرار می‌گیرند. به‌طور معمول محصول به روش غوطه‌وری، اسپری کردن و یا به روش برس‌زنی پوشش‌دهی می‌شود (شکل ۱۸). درحالی‌که، فیلم‌های خوراکی ابتدا به‌صورت یک ورق جامد قالب‌گیری و به‌صورت بسته‌بندی برای محصولات غذایی استفاده می‌شوند (بدیعی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱۸- روش‌های پوشش‌دهی محصولات باغی با پوشش‌های خوراکی (بدیعی، ۱۳۹۷)

پلیمرهای خوراکی شامل پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها یا ترکیبی از آنها هستند که به دلیل ویژگی‌هایی مانند سازگاری بیولوژیکی، تجزیه‌پذیری زیستی و تطابق با تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به آنها شده‌است. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نیز مانند بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده عمل می‌کنند و باعث حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزی‌های تازه می‌شوند زیرا می‌توانند مانعی جزئی برای بخار آب باشند که منجر به کاهش از دست رفتن رطوبت سطحی و تغییر اتمسفر اطراف محصول می‌شوند و در نتیجه مانعی در برابر تبادل گاز ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌توانند شدت تنفس و پیری را کاهش دهند، رشد میکروبی را کندتر کنند (بدیعی و همکاران، ۲۰۱۴)، ظاهر و ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزی‌های تازه را بهبود بخشند، و ویژگی‌های محصول (سفتی، رنگ، ویتامین‌ها و ترکیبات زیست‌فعال) را حفظ کنند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲).

۵-۱۰-۴- بسته‌بندی فعال - علاوه بر محافظت از مواد غذایی در برابر محیط خارجی، هدف اصلی استفاده از بسته‌بندی فعال افزایش عمر مفید و ایمنی محصول بسته‌بندی شده و ارتقای کیفیت و بهبود ویژگی‌های حسی محصول است (احمد^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). رایج‌ترین انواع بسته‌بندی فعال شامل فیلم‌های ضد میکروبی، بسته‌بندی با جاذب‌های اکسیژن یا اتیلن،

¹ Ahmed

تنظیم‌کننده‌های رطوبت و آزادکننده‌ها، و جاذب‌های طعم و بو هستند. برای مثال، بسته‌بندی فعال حاوی سیستئین و سولفیت در مہار قہوہ‌ای شدگی آنزیمی در برش‌های سیب مؤثر بوده‌است (گومز و همکاران، ۲۰۲۳). شکل ۱۹ انواع بسته‌بندی‌های فعال را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹-انواع بسته‌بندی فعال برای میوه و سبزی تازه (گومز و همکاران، ۲۰۲۳)

۵-۱۰-۵- بسته‌بندی هوشمند- بسته‌بندی هوشمند، سیستم بسته‌بندی مدرنی است که می‌تواند بر شرایط مواد غذایی و محیط اطراف آن و انتقال اطلاعات به مصرف‌کننده نظارت کند (آنوود^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). این سیستم‌های بسته‌بندی شامل حسگرها و نشانگرهایی هستند که براساس واکنش‌های شیمیایی، آنزیمی، ایمنی‌شناسی، یا مکانیکی عمل می‌کنند (ویلسون، ۲۰۰۷). شکل ۲۰ انواع بسته‌بندی‌های هوشمند را نشان می‌دهد. بسته‌های حامل داده، بسته‌های نشانگر و سنسورها اطلاعاتی دربارهٔ محصول بسته‌بندی‌شده به مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهند. بسته‌های حامل داده شامل بارکدها یا تگ‌های شناسایی با فرکانس رادیویی^۲ (RFID) هستند. در تحقیقی، از فناوری شناسایی با فرکانس رادیویی برای ردیابی و نظارت بر زنجیرهٔ تأمین سبزی‌های کم‌فراوری‌شده استفاده و محصول از مرحلهٔ

¹ Onwude

² Radio Frequency Identification

تولید تا قفسه‌های سوپرمارکت ردیابی شد (مینتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). در آینده، ممکن است تگ‌های شناسایی با فرکانس رادیویی در ذخیره‌سازی ایمن سبزی‌های برگ‌دار کم-فراوری شده، همراه با دیگر فناوری‌هایی به کار گرفته شوند که به حفظ کیفیت محصول کمک می‌کنند (سینی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۲۰- انواع بسته‌بندی‌های هوشمند برای میوه و سبزی تازه

بسته‌های حاوی نشانگر اطلاعاتی در مورد زمان، دما، حضور گازهایی مانند اتیلن و اکسیژن، رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، و سموم ارائه می‌دهند و به توزیع‌کنندگان و فروشندگان کمک می‌کنند تا شرایط مطلوب محصول را در سراسر زنجیره عرضه حفظ کنند (آنوود و همکاران، ۲۰۲۰). حسگرهای دما در دوره نگهداری کاهوی کم‌فراوری شده تغییرات نامطلوب و شرایط دور از ایده‌آل را نشان می‌دادند و بدین ترتیب ایمنی محصول را تضمین می‌کردند (سینی و همکاران، ۲۰۱۷). بیشتر مطالعات مربوط به بسته‌بندی هوشمند روی میوه‌ها و سبزی‌های دست‌نخورده صورت گرفته‌است، اگرچه پتانسیل استفاده از آنها در میوه‌های کم‌فراوری شده نیز وجود دارد. برای مثال، می‌توان به استفاده از حسگرهای رسیدگی میوه مانند رایپسنس^۳، رنگ‌های فلورسنت (حسگرهایی که افزایش اکسیژن در داخل بسته را نشان می‌دهند)، یون‌های مولیبدن (که در حضور اتیلن تغییر رنگ می‌دهند)،

¹ Mainetti

² Saini

³ RipeSense™

و رنگ بروموفنول آبی (که با تولید بیش از حد اسید آلی تغییر رنگ می‌دهد و نشان‌دهنده رسیدگی بیش از حد است) اشاره کرد (گومز و همکاران، ۲۰۲۳).

۶- مزایا و چالش‌های تولید میوه و سبزی کم‌فراوری شده

براساس مطالب ارائه شده می‌توان به‌طور خلاصه به برخی از مزایای استفاده از میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده اشاره کرد. کم‌فراوری شامل تکنیک‌هایی مانند شستشو، پوست‌گیری، خرد کردن و بسته‌بندی است که کمترین تغییر را در ترکیبات غذایی ایجاد می‌کند. این روش برخلاف فراوری شدید (مانند کنسروسازی یا خشک کردن) به حفظ ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، و ترکیبات زیست‌فعال کمک می‌کند. محصولات کم‌فراوری شده طعم، رنگ، و بافت طبیعی خود را همچنان حفظ می‌کنند، زیرا معمولاً مواد افزودنی شیمیایی کمی در آنها استفاده می‌شود. این موضوع جذابیت بیشتری برای مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند. میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده مانند سالادهای آماده، میوه‌های خرد شده و سبزی‌های بسته‌بندی شده نیاز به آماده‌سازی در خانه ندارند و مصرف آنها راحت‌تر است. با استفاده از تکنیک‌هایی مانند بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح شده، پوشش‌های خوراکی و فناوری‌های نگهداری مانند پرتودهی یا فشار بالا می‌توان زمان ماندگاری محصولات را بدون نیاز به افزودنی‌های شیمیایی افزایش داد.

کم‌فراوری می‌تواند با افزایش دسترسی به میوه‌ها و سبزی‌های آماده مصرف از هدررفت مواد غذایی جلوگیری کند. برای مثال، برش و بسته‌بندی صحیح میوه‌ها مانع از فساد سریع آنها می‌شود و ضایعات زنجیره تأمین را کاهش می‌دهد. در مقایسه با محصولات فراوری شده کامل (مانند کنسروها یا غذاهای منجمد)، کم‌فراوری به انرژی و مواد شیمیایی کمتری نیاز دارد. استفاده از فناوری‌های نوین مانند بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر، باعث کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود.

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و معایب محصولات کم‌فراوری شده این است که این محصولات، نسبت به محصولات کاملاً فراوری شده، ماندگاری کوتاه‌تری دارند. برای مثال،

محصولات کنسروی و خشک شده می‌توانند برای ماه‌ها یا حتی سال‌ها نگهداری شوند، اما میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری شده معمولاً تنها چند روز یا چند هفته ماندگاری دارند. بنابراین، مدیریت درست زنجیره تأمین این محصولات برای کاهش هدررفت ضروری است. خردکردن، پوست‌گیری، و بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها سطح تماس آنها را با محیط افزایش می‌دهد و احتمال آلودگی میکروبی را بالا می‌برد. به همین دلیل، رعایت شرایط بهداشتی در فراوری و نگهداری این محصولات بسیار مهم است. برخی میوه‌ها مانند سیب، موز و آووکادو پس از خردشدن دچار قهوه‌ای‌شدگی آنزیمی می‌شوند. این موضوع می‌تواند بر جذابیت ظاهری محصول تأثیر منفی بگذارد. علاوه بر این، بافت برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها پس از خرد شدن نرم می‌شود و میوه‌ها کیفیت خود را از دست می‌دهند. برای مقابله با این مشکلات، از روش‌هایی مانند تیمار با اسید آسکوربیک (ویتامین C) یا بسته‌بندی با گازهای کنترل شده استفاده می‌شود.

محصولات کم‌فراوری شده باید در دمای پایین نگهداری شوند تا از فساد زودهنگام جلوگیری شود. این نیاز به زنجیره سرد (از زمان برداشت تا مصرف) باعث افزایش هزینه‌های نگهداری و حمل‌ونقل می‌شود. در برخی مناطق زیرساخت‌های لازم برای حفظ زنجیره سرد به درستی وجود ندارد که می‌تواند چالشی مهم باشد. تکنیک‌های کم‌فراوری، بسته‌بندی مناسب، و نگهداری در زنجیره سرد همگی باعث افزایش هزینه‌های تولید می‌شوند. در نتیجه، قیمت این محصولات نسبت به میوه‌ها و سبزی‌های تازه (که فراوری نشده‌اند) معمولاً بالاتر است. برخی مصرف‌کنندگان ممکن است نسبت به تازگی و ایمنی محصولات کم-فراوری شده تردید داشته باشند. به همین دلیل، آگاهی‌رسانی از مزایای این محصولات و استفاده از برچسب‌های معتبر می‌تواند به افزایش پذیرش آنها کمک کند.

کم‌فراوری میوه‌ها و سبزی‌ها راهکاری مناسب برای حفظ کیفیت، کاهش ضایعات غذایی، و افزایش راحتی مصرف است. با این حال، چالش‌هایی وجود دارد مانند کاهش ماندگاری، نیاز به زنجیره سرد، و احتمال رشد میکروبی بالا که نیازمند به‌کارگیری روش‌های نوین و بهینه‌سازی فرایندهای تولید است.

۷- نتیجه گیری

در سال‌های اخیر توجه زیادی شده است به تولید محصولات غذایی سالم با فراوری کم و نیز اینکه برای حفظ تازگی و خواص طبیعی این محصولات باید از روش‌های نگهداری نسبتاً ملایمی استفاده کرد. برخی از روش‌های سنتی نگهداری مواد غذایی (مانند حرارت شدید و نمک) مورد پذیرش مصرف‌کنندگان نیست زیرا باعث کاهش ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای محصول می‌شوند. بنابراین، فرآیندکنندگان مواد غذایی مجبورند تکنیک‌های جدید یا ترکیبی از تکنیک‌های ملایم را به روش‌های مختلف باهم به کار برند تا از پایداری و سلامت مواد غذایی اطمینان به دست آید و خواص حسی و تغذیه‌ای محصول حفظ شود. استفاده از روش‌های فیزیکی نگهداری مواد غذایی چشم‌انداز بسیار خوبی برای حفظ کیفیت غذا و ترکیبات زیست‌فعال آن دارد. چالش اصلی این فناوری‌ها، معرفی آن در صنعت است. علاوه بر این، برای ارزیابی تأثیر فناوری‌های نوظهور بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی اجزای مواد غذایی به مطالعات جدید نیاز خواهد بود. سرانجام اینکه برای تضمین توفیق در بازار، ایجاد رابطه اعتماد بین مصرف‌کننده و تولیدکننده امری اساسی است. پذیرش بازار برای فناوری غذایی جدید به ارتباط مؤثر بین صنعت و مصرف‌کنندگان در خلال توسعه و اجرای فناوری بستگی دارد.

۸- منابع

- بدیعی، ف. ۱۳۹۷. آشنایی با اصول بسته‌بندی محصولات باغی، نشریه ترویجی، نشر آموزش کشاورزی.
- بدیعی، ف. ۱۳۸۹. مروری بر روش‌های تولید مواد غذایی با حداقل فراوری. یازدهمین کنگره تغذیه ایران. دانشگاه علوم پزشکی. شیراز. ایران.
- بدیعی، ف، هاشمی، م، مفتون آزاد، ن، رفیعی، ز، کشاورز، ن، خیام‌نکویی، س. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر یک نوع پوشش نانوامولسیون بر پایه کیتوزان در افزایش ماندگاری سیب رقم گلاب کهنژ. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۴۴۰۰۸. ۸۸ صفحه.
- هاشمی، م، بدیعی، ف، محمدی، ع، مفتون آزاد، ن. و کشاورز، ن. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر نوعی پوشش نانو امولسیون تهیه شده بر پایه کیتوزان در افزایش ماندگاری و برخی ویژگی

های کیفی میوه توت فرنگی در طول انبارمانی. پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران. ۴۷۹۶۷. ۱۲۰ صفحه.

هاشمی، م.، بدیعی، ف.، مفتون آزاد، ن. و خیام‌نکویی، س. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر دو نوع پوشش نانو-میکروامولسیون برپایه کیتوزان در افزایش ماندگاری پرتقال تامسون و خونی. پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران. ۴۲۷۷۶. ۶۴ صفحه.

Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A. L., Li, Z. X., Qazi, I. M., Pavase, T.R., and Lv, L. 2017. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. Food Control 82: 163–178.

Allende, A., Tomás-Barberán, F.A., and Gil, M.I. 2006. Minimal processing for healthy traditional foods. Trends in Food Science and Technology 17: 513–519.

Anonymous. 2024. Advanced postharvest preservation. <http://www.agroripe.com/controlled-atmosphere-storage>.

Arte's, F., and Allende, A. 2005. Minimal Processing of Fresh Fruit, Vegetables, and Juices In: Da-Wen, S. (Ed.), *Emerging Technologies for Food Processing*, Academic Press, USA, pp. 583-597.

Finger, J.A.F.F., Santos, I.M., Silva, G.A., Bernardino, M.C., Pinto, U.M., and Maffei, D.F. 2023. Minimally processed vegetables in Brazil: An overview of marketing, processing, and microbiological aspects. Foods 12, 2259: 1-17.

Giannakourou, M.C., and Tsironi, T.N. 2021. Application of processing and packaging hurdles for fFresh-cut fruits and vegetables preservation. Foods 10, 830: 1-23.

Gomes., B.A.F, Alexandre, A. C. S., de Andrade, G. A. V., Zanzini, A. P., de Barros, H. E. A., Costa, P. A., and Boas.E. V. D. B. V. 2023. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review– Part 2: Physical methods and global market outlook. Food Chemistry Advances 2, 100304.

Mainetti, L., Mele, F., Patrono, L., Simone, F., Stefanizzi, M. L., and Vergallo, R. 2013. An RFID-Based Tracing and Tracking System for the Fresh Vegetables Supply Chain. International Journal of Antennas and Propagation 15: 1-15.

- Onwude, D. I., Chen, G. N., Eke-emezie, N., Kabutey, A., Khaled, A. Y., and Sturm, B. 2020. Recent advances in reducing food losses in the supply chain of fresh agricultural produce. *Processes* 8, 1431: 1-31.
- Santos, M.I., Gracio, M., Siva, C.M., Pedroso, L., and Lima, A. 2023. One health perspectives on food safety in minimally processed vegetables and fruits: from farm to fork. *Microorganisms* 11, 2990, 1-23.
- Saini, R. K., Ko, E. Y., and Keum, Y. S. 2017. Minimally processed ready-to-eat baby-leaf vegetables: Production, processing, storage, microbial safety, and nutritional potential. *Food Reviews International* 33 (6): 644-663.
- Sivakumar, D., and Fallick, E. 2013. Influence of heat treatments on quality retention of fresh and fresh-cut produce. *Food Reviews International* 29: 294-320.
- Topuz, F., and Uyar, T. 2020. Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications. *Food Research International* 130, 108927.
- Urban, L., Charles, F., de Miranda, M. R. A., and Aarouf, J. 2016. Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. *Plant Physiology and Biochemistry* 105: 1–11.
- Vivek, K., Singh, S. S., and RC, P. 2019. A review on postharvest management and advances in the minimal processing of fresh-cut fruits and vegetables. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 8(5): 1178–1187.
- Wilson, C. L. 2007. *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*. CRC Press. 360 pp.