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

نشریه فنی:

میوه‌ها و سبزی‌های کم فرآوری شده: تکنیک‌ها، مزایا و چالش‌ها

فوژان بدیعی

سال انتشار: ۱۴۰۴

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم‌الله الرّحمن الرّحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی

میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده: تکنیک‌ها، مزایا و چالش‌ها

تهیه و تدوین:

فوژان 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: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده: تکنیک‌ها، مزایا و چالش‌ها
نگارنده: فوژان 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 نشریهٔ فنی

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

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- اهمیت و نقش میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده
- روش‌های تهیه و فراوری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده
- چالش‌ها و فناوری‌های جدید در تولید و نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده
- چشم اندازه آیندهٔ تولید تجاری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-مقدمه	۱
۲-دلایل اصلی تخریب و فساد میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده	۲
۳-خط فراوری، توزیع، و شرایط نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده	٤
٤-تکنولوژی تلفیقی	۹
٥-روش‌های مورد استفاده برای افزایش عمر انباری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده	۱۰
٦-مزایا و چالش‌های تولید میوه و سبزی کم‌فراوری‌شده	۲٦
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 تغذیهٔ سالم انسان دارند و در فهرست اولویت‌های مصرف‌کنندگان جایگاه بالایی دارند. میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده[1] (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 استفادهٔ 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 نسبتا ملایمی استفاده کرد.

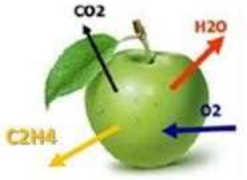
مشکل اصلی آن است که در محصولات کم‌فراوری شده شدت فعالیت‌های متابولیکی بیشتر است، این محصولات حساسیت بیشتری به آلودگی‌های میکروبی و فساد بیوشیمیایی دارند. از طرفی، مصرف‌کنندگان برخی از روش‌های نگهداری برای مواد غذایی سنتی را نمی‌پذیرند، مانند کاربرد نمک به‌عنوان نگهدارنده، استفادهٔ بیش از حد از دیگر نگهدارنده‌ها 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 به‌کار 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 کم‌فراوری‌شده

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 (شکل۱). در مورد میوه‌ها و سبزی‌های خردشدهٔ تازه، فساد معمولاً به‌دلیل فرآیندهای فیزیولوژیکی و میکروبی و اثرهای متقابل آنها رخ می‌دهد (فینگر[1] و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل۱- 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 رخ‌دهد (شکل ۲).

شکل ۲-فرصت‌های ایجاد آلودگی در محصولات باغی کم‌فراوری‌شده (آرتز و آلنده[2]، 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.

شکل۳-منابع آلودگی میکروبی محصولات باغی در مراحل مختلف تولید و پس از برداشت (سانتوز[1] و همکاران، ۲۰۲۳)

باکتری‌های عامل فساد شامل گونه‌هایی از خانوادهٔ پسودومناداسه[2]، انتروباکتریاسه[3] و دیگر گونه‌ها در گروه باکتری‌های اسیدلاکتیک به‌ویژه *لوکونوستوک مزانتروئیدس*[4] 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 به‌طورکلی برای سلامت مصرف‌کنندگان تهدیدی ایجاد نمی‌کند. در خصوص بیماری‌زاها، تنها چند گونه در محصولات باغی خردشدهٔ تازه یافت شده‌اند، مانند *اشریشیا کلی*[5] O157:H7، گونه‌های *سالمونلا*[6]، گونه‌های *شیگلا*[7]، *لیستریا مونوسیتوژنز*[8]، *کامپیلوباکتر*[9]، 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 خردشدهٔ تازه به بافت گیاهی آسیب وارد می‌شود که منجر به تشدید فعالیت‌های تنفسی، متابولیکی، و آنزیمی در بافت محصول می‌شود و به تخریب کیفی (مانند خرابی بافت، تسریع رسیدن و پیری، تشکیل طعم‌های ناخوشایند، تخریب رنگ، و تغییرات ناخواستهٔ دیگر) محصول می‌انجامد (سانتوز و همکاران، ۲۰۲۳). تمام این واکنش‌ها که در میوه و سبزی‌های خردشدهٔ تازه رخ‌می‌دهند، عمر مفید محصول را به‌طور چشمگیری پایین می‌آورند و در نتیجه می‌توانند بازارپسندی و فروش محصول را کاهش دهند. در میوه‌های فرازگرا، فرآیند رسیدگی میوه پس از برداشت ادامه می‌یابد و طی فرآیند رسیدگی، شدت تنفس، تولید اتیلن و فعالیت‌های متابولیکی دیگر افزایش می‌یابد. در این محصولات، آزادشدن آنزیم‌های مختلف مانند پلی‌فنول‌اکسیدازها[1]، سلولازها، آنزیم‌های پکتولیتیک، آمیلازها و پراکسیدازها[2]، باعث تغییرات حسی جدی مانند تغییر رنگ، نرم‌شدن، تولید طعم‌های ناخوشایند و بوی نامطبوع می‌شود و در نهایت کیفیت محصول کاهش می‌یابد (سانتوز و همکاران، ۲۰۲۳).

۳-خط فراوری، توزیع و شرایط نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری-شده

مراحل فراوری در هر کارخانهٔ صنعتی برای تولید میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده مشابه است، اما بسته به نوع محصول، برخی مراحل ممکن است متفاوت باشند. عملیات اصلی فراوری و حداکثر دماهای توصیه‌شده برای هر مرحله در تولید سبزی‌های برگی تازه‌برش‌خورده در شکل ۴ نشان‌داده شده‌است. مهم‌ترین مراحل زنجیرهٔ فراوری، از جمله شستشو، برش، ضدعفونی، و بسته‌بندی که تأثیر بسزایی بر کیفیت نهایی محصول دارند، در تمامی خطوط تولید مشترک هستند. پس از ورود مواد خام به کارخانه، تمام محصولات تأییدشده باید در محیطی با دمای کنترل‌شده دریافت و به‌سرعت به سردخانه‌ای با دمای مناسب یا مستقیماً به اتاق فراوری منتقل شوند. اگر محصولی دارای نشانه‌های آلودگی شیمیایی یا فیزیکی، یا دیگر نقص‌های کیفی باشد، اقدامات اصلاحی باید برای درجه‌بندی،

[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 فرآیندهای خاص مورد نیاز، متفاوت خواهد بود (جیاناکورو[1] 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 ضدعفونی‌کردن سطحی میوه‌ها از آب لوله‌کشی با ترکیباتی مانند هیپوکلریت‌سدیم (NaClO) ، هیپوکلریت‌کلسیم و دیگر نمک‌های ضدعفونی‌کننده استفاده می‌شود. هیپوکلریت‌سدیم پرکاربردترین نمک برای ضدعفونی‌کردن 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 آلنده، ۲۰۰۵). یکی از بزرگ‌ترین معایب استفاده از کلر یا ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر کلر، تولید احتمالی تری‌هالومتان‌ها[2] (THMs) است که نگرانی عمده‌ای برای پژوهشگران، تولیدکننده‌های صنعتی و نهادهای نظارتی محسوب می‌شود. در واقع، همین نگرانی‌ها باعث‌شده برخی کشورهای اروپایی استفاده از کلر را برای ضدعفونی‌کردن محصولات فراوری شدهٔ میوه و سبزی ممنوع کنند (آرتز و آلنده، ۲۰۰۵). ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر کلر اگر درست و در شرایط بهینه استفاده شوند، خطر جدی برای تولید تری‌هالومتان‌ها ندارند. مطالعات متعدد نشان‌داده‌اند که پس از آلوده‌شدن محصول به عوامل بیماری‌زا، هیچ‌یک از روش‌های ضدعفونی موجود کارایی چندانی برای از بین بردن این آلودگی‌ها ندارد (گیل[3] و همکاران، ۲۰۱۴).

پیشگیری و بهداشت، مهم‌ترین رویکرد برای حفظ کیفیت میکروبی و ایمنی محصولات تازه با فراوری‌کم است. همهٔ واحدهای فراوری باید الزامات بهداشت خوب[4] (GHP) را مطابق با این مقررات رعایت‌کنند تا از آلودگی موادغذایی جلوگیری شود. در واقع، این

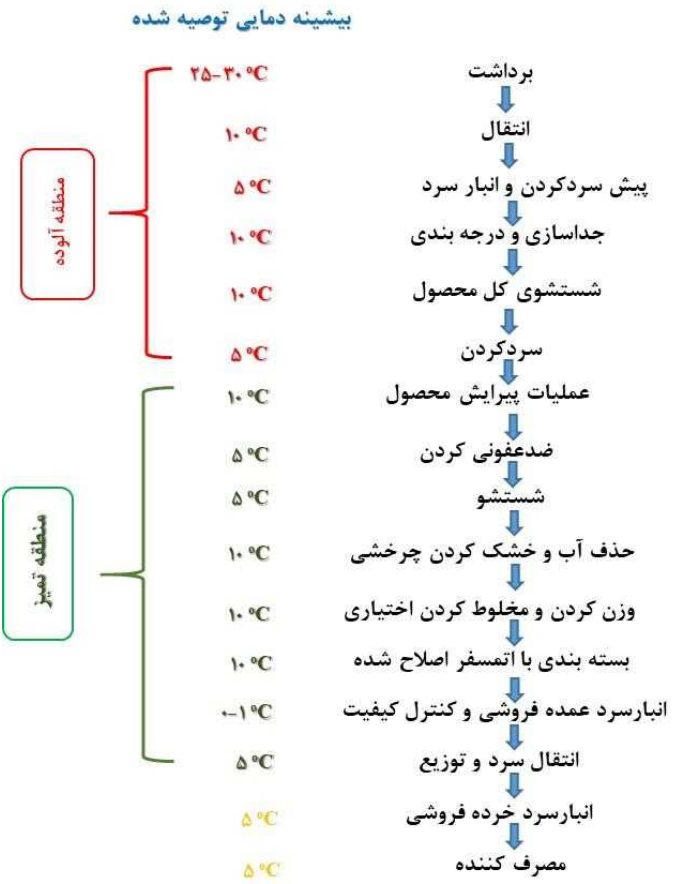
[1] Giannakourou and Tsironi
[2] Trihalomethanes
[3] Gil
[4] Good Hygiene Practice (GHP)

محصولات باید بر اساس روش اصول تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی[1] (HACCP) تولید شوند تا بتوان خطرها را به‌طور مؤثر پایش‌کرد. برنامه‌های بهداشتی پیشگیرانه مانند شیوه‌های کشاورزی خوب[2](GAPs)، شیوه‌های تولید خوب[3](GMPs)، و رویه‌های استاندارد عملیات بهداشتی[4] (SSOPs) اگر به‌درستی اجرا شوند، می‌توانند احتمال آلودگی‌های اولیه و ثانویه توسط باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها، و انگل‌ها را به‌حداقل رسانند (آرتز و آلنده، 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 کاهش‌یابد. پوست‌کنی معمولاً به‌صورت دستی، مکانیکی، شیمیایی، یا با استفاده از دستگاه‌های بخار با فشار بالا ست. (آلنده 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 جلوگیری‌شود. سیستم‌های آب‌گیری شامل دستگاه‌های تخلیه، حذف ملایم آب با استفاده از پارچهٔ کتان شل‌بافت[5]، 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 آلنده، ۲۰۰۵).

[1] Hazard Analysis and Critical Control Point
[2] Good Agricultural Practices (GAP)
[3] Good Manufacturing Practices
[4] Sanitation Standard Operating Procedures
[5] Cheesecloth



شکل ٤ مراحل کلی تولید میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده و حداکثر دماهای توصیه‌شده در هر مرحله (آرتز و آلنده، ۲۰۰۵)

میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده پس از آنکه تولید شدند باید به‌روش درست بسته‌بندی شوند. تقریباً تمام این محصولات در شرایط بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده[1] (MAP) ذخیره می‌شوند تا عمر مفید تجاری لازم را داشته‌باشند. در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده

[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 فاسدکنندهٔ 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 ویترین خرده‌فروشی‌ها نگهداری می‌شوند. با توجه به موارد گفته‌شده، رعایت الزام‌های مهم و کلیدی زیر برای تولید میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده ضروری است.

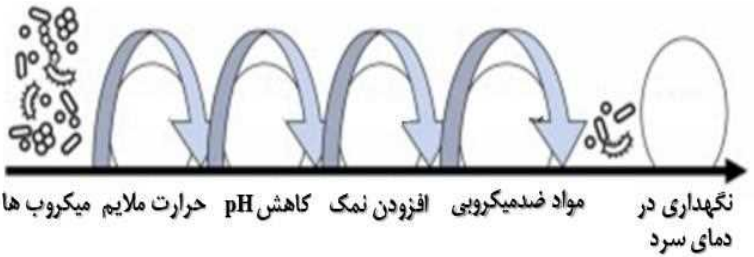
- استفاده از مواد اولیه باکیفیت بالا (انتخاب رقم و گونهٔ مناسب، شرایط صحیح کاشت، برداشت و نگهداری)
- رعایت بهداشت دقیق و اجرای شیوه‌های مناسب تولید، به‌کارگیری اصول تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی(HACCP)
- حفظ دمای پایین طی فراوری
- تمیز کردن یا شستشوی دقیق از پوست‌گیری و پس از آن
- استفاده از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

٤-تکنولوژی تلفیقی[1]

برای به‌حداقل‌رساندن فراوری، جلوگیری از افت کیفیت، کنترل رشد میکروبی، و حصول اطمینان از سلامت محصول باید از فرآیندهای تشدیدکنندهٔ تلفیقی استفاده‌کرد. در این روش، با تغییر عوامل محیطی مختلف موانعی برای رشد میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود. برای ایجاد این موانع باید درمورد اثرهای متقابل پیچیدهٔ دما، فعالیت آبی، pH، و دیگر عوامل شناخت کافی داشت تا بتوان از سلامت میکروبی موادغذایی فرآیندشده اطمینان حاصل‌کرد (بدیعی، ۱۳۸۹).

در تکنولوژی تلفیقی، ترکیبی از روش‌های مختلف سنتی و نوآورانه برای نگهداری مواد غذایی استفاده می‌شوند، به‌طوری‌که مجموعه‌ای از موانع (عوامل نگهدارنده) در برابر رشد میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود (شکل۵). این موانع باعث جلوگیری از رشد، کاهش طول عمر، یا از بین‌رفتن میکروارگانیسم‌ها در محیط‌غذایی می‌شود. برای دستیابی به پایداری میکروبی، ترکیب چند مانع (مجموعه مناسب از موانع) استفاده می‌شوند تا کیفیت حسی و تغذیه‌ای اولیهٔ مواد غذایی حفظ شود. مهم‌ترین موانع مورد استفاده برای حفظ موادغذایی شامل دمای بالا یا پایین طی فراوری، حمل و نقل و نگهداری، فعالیت آبی (aw) ، اسیدیته و pH، پتانسیل اکسید و احیا[2] (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 تأمین‌کند. 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 محصول‌غذایی هدف است. روش‌های تشدیدکنندهٔ تلفیقی نقشی مهم در بهینه‌سازی فراوری مواد غذایی سنتی و توسعه موادغذایی جدید دارند. کاربرد این روش به‌همراه اجرای مفاهیمی مانند HACCP و پیش‌بینی میکروبی[3] برای تولید مواد غذایی پایدار، سالم و با کیفیت بالا ضروری است (بدیعی، ۱۳۸۹).

[1] Hurdles Technology
[2] Oxidation–Reduction Potential (Eh)
[3] Predictive Microbiology



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

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

در مورد میوه‌ها و سبزی‌های برش‌خوردهٔ تازه، فعالیت میکروبی و آنزیمی از عوامل اصلی فساد برگشت‌ناپذیر و رد محصول است. بنابراین، تمام روش‌های حفظ مواد غذایی، به‌نام "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 موادشیمیایی (مانند اسیدکننده‌ها، ضداکسنده‌ها، کلر، ضدمیکروب‌ها، مواد ضدعفونی‌کننده، 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، به‌طور معمول ترکیبی از فناوری‌های گفته‌شده در بالا استفاده می‌شوند. این موانع سیستم‌های آنزیمی سالم یا آسیب‌دیده در بافت‌های زنده مانند پلی‌فنول‌اکسیداز (PPO)، پراکسیداز (PO) یا پکتینازها[1]، پلی‌گالاکتوروناز[2] (PG) و پکتین‌استراز[3] (PE) و دیگر آنزیم‌های مرتبط با تنفس را مهار می‌کنند. در این بخش، موانع اصلی که در میوه‌ها و سبزی‌های تازه‌برش‌خورده اعمال می‌شوند به‌طور خلاصه شرح داده می‌شوند.

[1] Pectinases
[2] Polygalacturonase
[3] Pectinesterase

۵-۱-تیمارهای حرارتی کوتاه‌مدت: 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 اعمال‌شده در میوه‌ها و سبزی‌های تازه‌برش‌خورده شامل تیمارهای کوتاه‌مدت با آب-گرم[1] باهدف کنترل میکروفلور سطحی محصول تازه، شستشو و برس‌زدن با آب-گرم[2] (HWRB)، شوک حرارتی ملایم[3]، بلانچینگ با آب‌گرم[4] ، و غیره هستند. تیمارهای حرارتی کوتاه‌مدت در صنعت محصولات تازه‌برش‌خورده، روش‌هایی مؤثر برای پیشگیری از آثار منفی قهوه‌ای‌شدن آنزیمی هستند و به‌جای روش‌های نگهداری شیمیایی استفاده می-شوند (سیواکومار[5]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-فراوری‌شده 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 تیمارشده مؤثر است. بنابراین، ضروری است که سیستم‌های سرمایشی کارآمد در تمام مراحل فراوری و تولید این محصولات فعال باشند (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).

۵-۳- نگهداری شیمیایی با کنترل pH یا بدون آن : این دسته از موانع برای میوه‌ها و سبزی‌های تازه‌برش‌خورده و بافت‌های گیاهی با فراوری‌کم بسیار مهم است و شامل مواد شیمیایی است که برای شستشو و ضدعفونی استفاده می‌شوند. ضدعفونی‌کننده‌های 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

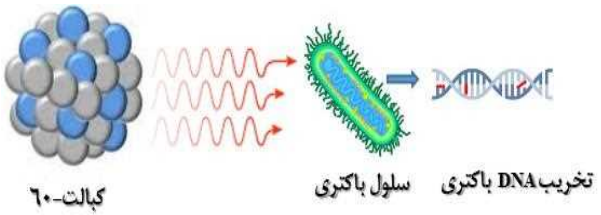
دی‌اکسیدکلر، سدیم‌کلریت اسیدی‌شده، آب اکسیدشدهٔ الکترولیزشده، و غیره)، فرمولاسیون‌های اسید آلی، پراکسیدهیدروژن (H_2O_2)، آب اوزون‌شده و اوزون گازی(O_3) ،و محصولات قلیایی هستند.

علاوه بر مواد شستشو و ضدعفونی‌کننده‌ها، دیگر ترکیبات شیمیایی به‌طور گسترده برای مهار فساد میکروبی و حفظ کیفیت محصولات مبتنی بر سبزی‌های کم‌اسید، محصولات اسیدی‌شدهٔ کم‌اسید، و محصولات میوه‌ای با اسید بالا اعمال شده‌اند. این مواد شامل ترکیبات ضدمیکروبی مانند اسیدهای آلی، اسیدهای چرب با زنجیره متوسط، استرهای اسیدهای چرب چندعاملی، قند و نمک، اسیدL-اسکوربیک، و EDTA هستند. آن دسته از نگهدارنده‌هایی که به‌عنوان مواد ضداکسنده عمل می‌کنند، به‌طور گسترده برای جلوگیری از قهوه‌ای شدن آنزیمی، مهار تغییر رنگ رنگدانه‌ها، و محافظت در برابر از دست دادن ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای استفاده می‌شوند (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱) .

۵-٤-کاهش فعالیت آب: اکثر میوه‌ها و سبزی‌های تازه‌برش‌خورده فعالیت آبی برابر یا بیشتر از ۰/۹۸ دارند. بنابراین، کاهش فعالیت آب، راه بسیار موثری برای محدودکردن فعالیت میکروبی و آنزیمی در این فرآورده‌هاست. واضح است کاهش فعالیت آب نمی‌تواند تنها "مانع" باشد زیرا این امر منجر به خشکی گستردهٔ ماتریس غذایی خواهد شد که تأثیرات ناخوشایندی بر ویژگی‌های تغذیه‌ای و حسی بافت خام خواهد داشت. کاستن از فعالیت آب در ترکیب با یک روش نگهداری دیگر می‌تواند راهی مؤثر برای حفظ کیفیت مواد خام و در عین حال افزایش مدت زمان ماندگاری آن باشد (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).

۵-۵- روش‌های زیستی (زیست‌نگهداری): این فرآیند بیشتر براساس استفاده از میکروفلور طبیعی یا کنترل‌شده، مانند باکتری‌های اسیدلاکتیک و یا متابولیت‌های آنها، برای افزایش زمان ماندگاری و ایمنی محصولات غذایی است. ترکیبات متابولیکی ضدمیکروبی تولیدشده توسط این میکروارگانیسم‌ها مانند باکتریوسین‌ها، دی‌استیل، پراکسیدهیدروژن، و اسیدهای آلی تأثیر منفی بر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا دارند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۸).

۵-٦-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 استفاده‌شود (آربن[1] 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 به‌کار می‌رود، محصول در داخل محفظه‌های غیرقابل نفوذ قرارداده می‌شود و در معرض تابش قرار می‌گیرد. برای موادغذایی 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 استفادهٔ تجاری ۱۰ کیلوگری است، دوزهای بسیار پایین‌تر برای تخریب عوامل بیماری‌زا (۱ تا ۵ کیلوگری) و تاخیر در رسیدن و پیری میوه‌ها و سبزی‌ها (۰/۲-۰/۵ کیلوگری) کافی است. در واقع، محصولات غذایی کم‌آب، دوزهای بالای پرتودهی را بدون کاهش کیفیت تحمل می‌کنند، در حالی‌که میوه‌ها و سبزی‌های تازه معمولاً نمی‌توانند دوزهای بسیار بالارا تحمل کنند.



شکل ٦- اثر پرتو گاما بر باکتری (گومز[2] و همکاران، ۲۰۲۳)

[1] Urban
[2] Gomez

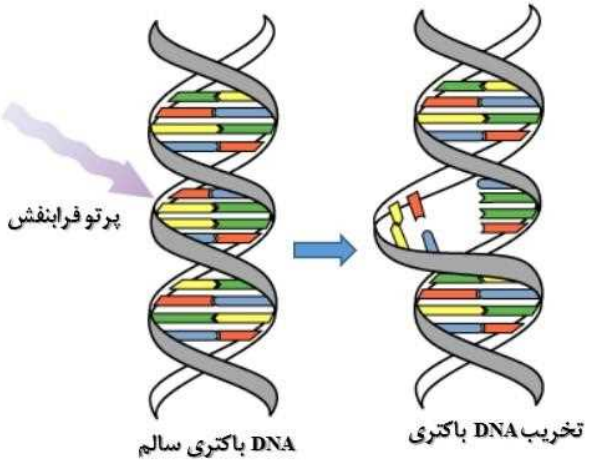
محدودیت اصلی این تکنیک هزینهٔ بالا و نپذیرفتن مصرف‌کنندگان است. مصرف‌کنندگان اغلب محافظه‌کار هستند و تمایلی به پذیرش محصولات فراوری‌شده با فناوری‌های جدید ندارند، به‌ویژه زمانی که اطلاعات کافی در مورد این فرآیندها ندارند. محدودیت اطلاعات منجر به درک نادرست از خطرها و نپذیرفتن غذاهای پرتودهی‌شده می‌شود (گومز و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، روی بسته‌بندی محصولات پرتودهی‌شده باید برچسب‌گذاری شود (شکل ۷).

شکل ۷-برچسب‌زنی روی نمونه‌های پرتودهی‌شده

استفاده از تابش فرابنفش (UV) در زنجیرهٔ نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها درحال افزایش است و عملکرد اصلی آن کاهش آلودگی محصولات از طریق غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌هاست (آربن و همکاران، ۲۰۱۶). تابش فرابنفش نوعی تابش الکترومغناطیسی با طول موج ۱۰۰ تا۴۰۰ نانومتر است و می‌توان آن را به دسته‌های طول موجی مانند فرابنفشA[1] (۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر)، فرابنفشB[2] (۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر) و فرابنفشC[3] (۱۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر) تقسیم کرد. تابش فرابنفشC غیریونیزه، رایج‌ترین نوع برای ضدعفونی‌کردن میوه‌ها و سبزی‌هاست و می‌توان آن را روی محصولات کامل یا کم‌فراوری‌شده اعمال‌کرد. برای محصولات کم‌فراوری‌شده، تابش فرابنفشC بیشتر در مرحلهٔ ضدعفونی پس از برش و خردکردن استفاده‌می‌شود. تابش فرابنفش روی میکروارگانیسم‌ها تأثیر می‌گذارد و باعث تغییر در ساختار غشاها و اسیدهای نوکلئیک آنها می‌شود (شکل ۸). این روش، در مقایسه با دیگر روش‌های ضدعفونی میوه‌ها و سبزی‌ها،

[1] UV-A
[2] UV-B
[3] UV-C

دارای مزایای متعددی است مانند سهولت در کاربرد و هزینه نسبتاً پایین نصب و نگهداری. علاوه‌براین، 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 موادمغذی حساس به حرارت ایجاد کند. مانند هر تکنیکی، تابش فرابنفش نیز محدودیت‌هایی دارد زیرا روشی سطحی با نفوذ کم است. علاوه بر این، ناهمواری‌ها و ترک‌ها در محصولات و سطوح جامد مانند بسته‌بندی می‌توانند میکروارگانیسم‌ها را از تأثیر تابش فرابنفشC محافظت‌کنند (بالبینوت فیلهو و بورگز[1] و همکاران، ۲۰۲۰).

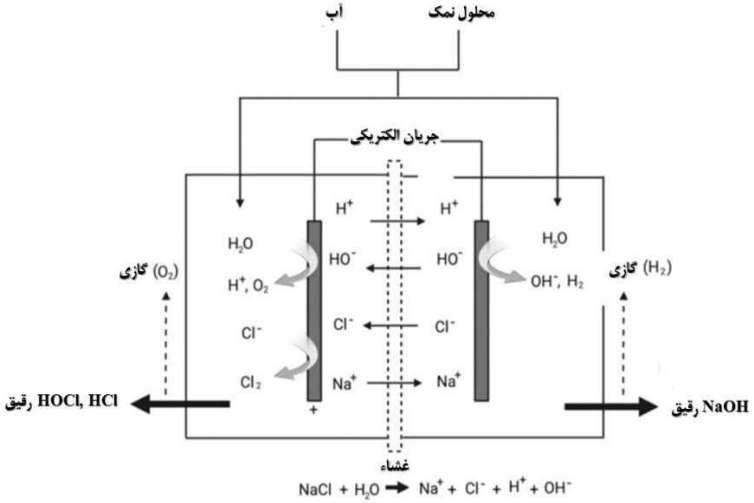


شکل ۸- اثر پرتو فرابنفش بر باکتری (گومز و همکاران، ۲۰۲۳)

۵-۷-آب الکترولیزه یا آب الکترولیتی[2]: 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 ضدعفونی‌کنندهٔ قوی به‌دست‌می‌آید که معمولاً شامل هیپوکلروس‌اسید (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 صنایع‌غذایی استفاده می‌شود.

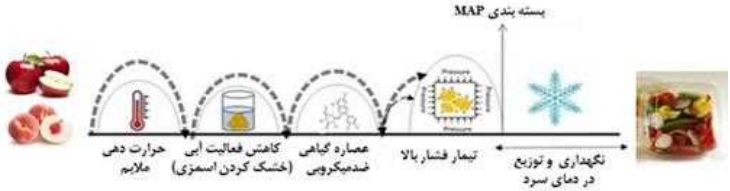


شکل ۹- تصویر کلی تولید آب الکترولیتی (گومز و همکاران، ۲۰۲۳)

محدودیت اصلی این تکنیک، هزینهٔ اولیه به‌نسبت بالای آن به‌دلیل هزینهٔ خرید تجهیزات است. کارایی تیمار آب الکترولیزه تا حدزیادی به میزان کلر موجود بستگی دارد و و برای ضدعفونی‌کردن 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 ضدمیکروبی کمک می‌کنند (گومز و همکاران، ۲۰۲۳).

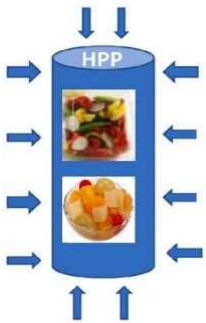
۵-۸- فشار بالا: فشار بالا تکنولوژی نوظهور غیرحرارتی است که از فشارهای حدود ۱۰۰۰ تا ۷۰۰۰ اتمسفر (۱۰۰ تا ۷۰۰ مگاپاسکال) برای حذف بار میکروبی و تأخیر در واکنش‌های آنزیمی مسئول فساد غذا استفاده‌می‌کند، درحالی‌که مولکول‌های کوچک مانند

ویتامین‌ها و ترکیبات معطر دست‌نخورده حفظ می‌شوند. تیمار فشار بالا را نیز می‌توان به‌صورت 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 فشاربالا 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)

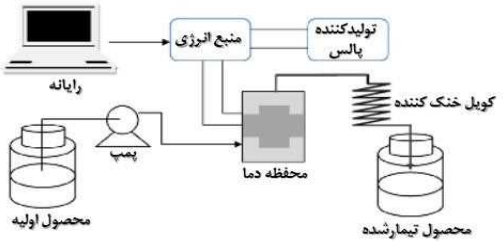
استفاده از تکنولوژی فشار بالا می‌تواند آنزیم‌ها را غیرفعال کند زیرا این فرایند اختلالاتی در محیط ایجادمی‌کند که می‌تواند یکپارچگی آنزیم‌ها را تهدیدکند یا منجر به تغییراتی در ساختار آنها شود. با اعمال فشارهایی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ مگاپاسکال، آنزیم‌ها پس از کاهش فشار می‌توانند دوباره فعال‌شوند، درحالی‌که فشارهای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

غیرفعال‌سازی کامل آنزیم‌ها توصیه می‌شود (ویوک[1] و همکاران، ۲۰۱۹). آنزیم‌هایی مانند پلی‌فنول اکسیدازها به‌طورکامل بر اثر فشار بالا غیرفعال نمی‌شوند و برای افزایش کارآیی تکنیک نیاز به استفاده از فناوری‌های ترکیبی است. برخی مزایای فراوری با فشار بالا در شکل۱۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۱۲-مزایای استفاده از فناوری‌های فشار بالا

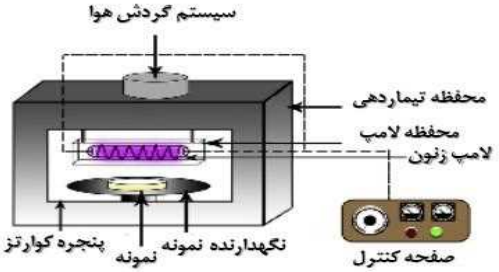
۵-۹-دیگر روش‌های نوین: میدان‌های الکتریکی پالسی[2] (PEF) شامل کاربرد پالس‌های کوتاه الکتریکی با ولتاژ بالا (۵ تا۵۰ کیلوولت/سانتی‌متر، مدت زمان پالس چند میکروثانیه) برای غیرفعال‌سازی میکروبی است درحالی‌که کیفیت عالی مادهٔ غذایی گیاهی حفظ می‌شود. مکانیزم این روش براساس تخریب غشای‌سلولی و از بین‌رفتن نفوذپذیری آن است. شکل ۱۳ تصویرکلی دستگاه تولیدکننده میدان الکتریکی پالسی را نشان می‌دهد.

[1] Vivek
[2] Pulsed Electric Field



شکل ۱۳-تصویرکلی دستگاه تولیدکنندهٔ میدان الکتریکی پالسی (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

یکی دیگر از روش‌های نوظهور، نور پالسی[1] (PL) است. اساس این روش کاربرد پالس‌های نور با شدت بالا و در مدت‌زمان‌های کوتاه است. محدودهٔ تابش در این روش وسیع است و از طول موج فرابنفش تا ناحیهٔ فروسرخ نزدیک (۲۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر) را دربرمی‌گیرد. کاهش چشمگیر میکروبی در مدت‌زمان بسیار کوتاه (به‌دلیل آسیب DNA و اجزای‌سلول میکروبی)، کم‌بودن اثرهای زیست‌محیطی، و انعطاف‌پذیری بالای این روش، از مزایای اصلی آن است. شکل ۱۴ تصویرکلی دستگاه تولید نور پالسی را نشان می‌دهد (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).

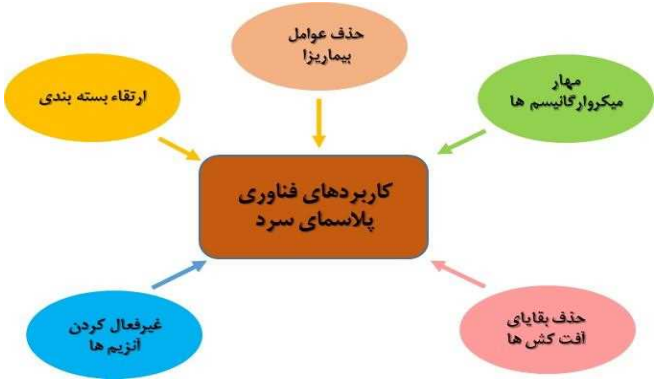


شکل ١٤-تصویرکلی دستگاه تولید نور پالسی (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

پلاسمای‌سرد 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 پلاسمای‌سرد در صنایع‌غذایی در شکل ۱۵ نشان داده شده است (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱).



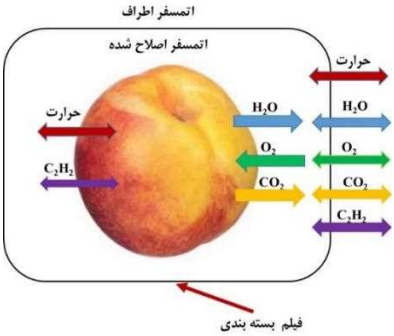
شکل ۱۵-کاربردهای فناوری پلاسمای‌سرد (جیاناکورو و تسیرونی، ۲۰۲۱)

۵-۱۰-بسته‌بندی: بسته‌بندی مناسب برای حفظ تازگی و کیفیت محصولات‌غذایی در خلال زنجیرهٔ توزیع تا زمان مصرف آنها ضروری‌است. انواع جدید بسته‌بندی با کنترل نفوذ گازهای تنفسی و بخارآب باعث افزایش عمرمفید محصولات تازه می‌شوند (توپاز و اویار[1]، ۲۰۲۰). از انواع بسته‌بندی‌های مناسب برای محصولات تازه مانند میوه‌ها و سبزی-های کم‌فراوری‌شده می‌توان به بسته‌بندی با اتمسفراصلاح‌شده (MAP)، ذخیره‌سازی در اتمسفرکنترل‌شده[2] (CAS)، بسته‌بندی فعال[3]، بسته‌بندی هوشمند[4]، و فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی اشاره‌کرد.

۵-۱۰-۱- بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده- بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) یکی از فناوری‌های پس‌از برداشت است که بیش از ۹۰ سال به‌طور گسترده برای حفظ کیفیت محصولات تازه و کم‌فراوری‌شده و افزایش ماندگاری در مدت‌نگهداری به‌کارگرفته شده‌است. 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

(O_2) و میزان بالای دی‌اکسیدکربن (CO_2) است تا متابولیسم سلولی، سرعت تنفس، استرس اکسایشی، پیری بافت، و سنتز اتیلن در محصول باغی تازه کاهش‌یابد (شکل ۱۶). اتمسفر اصلاح‌شده می‌تواند با تکنیک‌های غیرفعال یا فعال ایجادشود که در این میان MAP غیرفعال اقتصادی‌تر از MAP فعال است (ویلسون[1]، ۲۰۰۷). در روش فعال، مخلوط گازی مناسب و کنترل شده‌ای به‌جای 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.

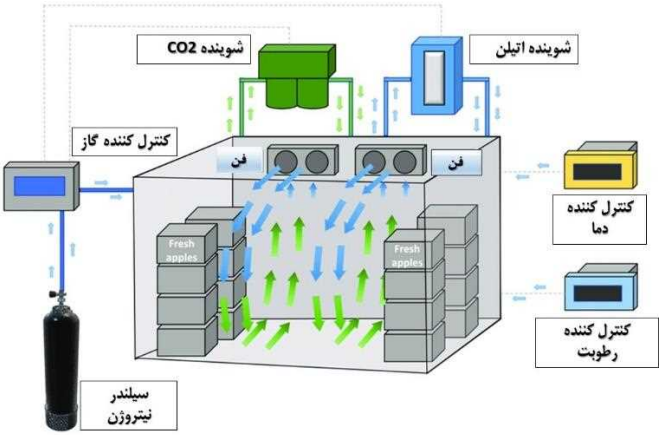


شکل۱۶- نمونه‌ای از بسته‌بندی با اتمسفراصلاح‌شده

۵-۱۰-۲-نگهداری با اتمسفرکنترل‌شده- ذخیره‌سازی با اتمسفرکنترل‌شده (CAS) فرآیندی است که در آن غلظت گازهای محیط به‌دقت کنترل‌می‌شود و سطوح گازها درصورت نیاز اصلاح‌می‌شود. بنابراین، اتمسفر کنترل‌شده به محیط ذخیره‌سازی کاملاً غیرقابل‌نفوذ نیاز دارد که دارای حسگرهای اکسیژن (O_2) و دی‌اکسیدکربن (CO_2) و مکانیزم‌های حذف و تزریق گاز باشد. شکل۱۷ تصویرکلی انبار با اتمسفر کنترل‌شده را نشان می‌دهد. ذخیره‌سازی با اتمسفر کنترل‌شده (CAS) اگرچه بیش از ۲۰۰ سال است استفاده می‌شود، اما تنها در نیمه اول قرن بیستم این تکنیک تصحیح و برای اولین بار به‌طورتجاری به‌کارگرفته‌شد. به‌طور کلی، اتمسفرکنترل‌شده ، در مقایسه با اتمسفر اصلاح‌شده، به‌دلیل نیاز

[1] Wilson

به حفظ مداوم سطح گازها در محفظهٔ 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 به‌طورمؤثری ماندگاری موادغذایی فسادپذیر را افزایش‌دهد. این روش بیشتر برای محصولاتی با ارزش تجاری بالاتر، مانند سیب و گلابی، به‌کارمی‌رود (آرتز و آلنده، ۲۰۰۵).



شکل۱۷-انبار با اتمسفر کنترل‌شده (http://www.agroripe.com/controlled-atmosphere-storage)

۵-۱۰-۳-فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی- فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده استفاده‌می‌شوند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی معمولاً مترادف در نظرگرفته می‌شوند اما این دو مفهوم متفاوت‌اند و به روش تولید آنها بستگی دارد. پوشش‌های خوراکی به‌صورت مایع روی سطح مادهٔ غذایی قرارمی‌گیرند. به‌طور معمول محصول به روش غوطه‌وری، اسپری‌کردن 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 به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند سازگاری بیولوژیکی، تجزیه‌پذیری زیستی و تطابق با تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به‌آنها شده‌است. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نیز مانند بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده عمل‌می‌کنند و باعث حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزی‌های تازه می‌شوند زیرا می‌توانند مانعی جزئی برای بخار آب باشند که منجر به کاهش از دست‌رفتن رطوبت سطحی و تغییر اتمسفر اطراف محصول می‌شوند و در نتیجه مانعی دربرابر تبادل گاز ایجاد می‌کنند. علاوه‌براین، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌توانند شدت تنفس و پیری را کاهش‌دهند، 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).

۵-۱۰-٤-بسته‌بندی فعال- علاوه‌بر محافظت از موادغذایی در برابر محیط خارجی، هدف اصلی استفاده از بسته‌بندی فعال افزایش عمر مفید و ایمنی محصول بسته‌بندی‌شده و ارتقای کیفیت و بهبود ویژگی‌های حسی محصول است (احمد[1] و همکاران، ۲۰۱۷). رایج‌ترین انواع بسته‌بندی فعال شامل فیلم‌های ضدمیکروبی، بسته‌بندی با جاذب‌های اکسیژن یا اتیلن،

[1] Ahmed

تنظیم‌کننده‌های رطوبت و آزادکننده‌ها، و جاذب‌های طعم و بو هستند. برای‌مثال، بسته‌بندی فعال حاوی سیستئین و سولفیت در مهار قهوه‌ای‌شدگی 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 موادغذایی و محیط اطراف آن و انتقال اطلاعات به مصرف‌کننده نظارت کند (آنوود[1] و همکاران، ۲۰۲۰). این سیستم‌های بسته‌بندی شامل حسگرها و نشانگرهایی هستند که براساس واکنش‌های شیمیایی، آنزیمی، ایمنی‌شناسی، یا مکانیکی عمل‌می‌کنند (ویلسون، ۲۰۰۷). شکل ۲۰ انواع بسته‌بندی‌های هوشمند را نشان می‌دهد. بسته‌های حامل داده، بسته‌های نشانگر و سنسورها اطلاعاتی دربارهٔ محصول بسته‌بندی‌شده به مصرف‌کنندگان ارائه‌می‌دهند. بسته‌های حامل داده شامل بارکدها یا تگ‌های شناسایی با فرکانس رادیویی[2] (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 ردیابی‌شد (مینتی[1] و همکاران، ۲۰۱۳). در آینده، ممکن است تگ‌های شناسایی با فرکانس رادیویی در ذخیره‌سازی ایمن سبزی‌های برگ‌دار کم-فراوری‌شده، همراه با دیگر فناوری‌هایی به‌کارگرفته شوند که به حفظ کیفیت محصول کمک می‌کنند (سینی[2] 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 ارائه‌می‌دهند و به توزیع‌کنندگان و فروشندگان کمک می‌کنند تا شرایط مطلوب محصول را در سراسر زنجیرهٔ عرضه حفظ‌کنند (آنوود و همکاران، ۲۰۲۰). حسگرهای دما در دورهٔ نگهداری کاهوی کم‌فراوری‌شده تغییرات نامطلوب و شرایط دور از ایده‌آل را نشان می‌دادند و بدین‌ترتیب ایمنی محصول را تضمین می‌کردند (سینی و همکاران، ۲۰۱۷). بیشتر مطالعات مربوط به بسته‌بندی هوشمند روی میوه‌ها و سبزی‌های دست‌نخورده صورت‌گرفته‌است، اگرچه پتانسیل استفاده از آنها در میوه‌های کم‌فراوری‌شده نیز وجود دارد. برای مثال، می‌توان به استفاده از حسگرهای رسیدگی میوه مانند رایپسنس[3]، 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 نشان‌دهندهٔ رسیدگی بیش از حد است) اشاره کرد (گومز و همکاران، ۲۰۲۳).

٦- مزایا و چالش‌های تولید میوه و سبزی کم‌فراوری‌شده

براساس مطالب ارائه‌شده می‌توان به‌طورخلاصه به برخی از مزایای استفاده از میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده اشاره‌کرد. کم‌فراوری شامل تکنیک‌هایی مانند شستشو، پوست‌گیری، خردکردن و بسته‌بندی است که کمترین تغییر را در ترکیبات غذایی ایجاد می‌کند. این روش برخلاف فراوری شدید (مانند کنسروسازی یا خشک‌کردن) به حفظ ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، و ترکیبات زیست‌فعال کمک می‌کند. محصولات کم‌فراوری‌شده 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 کم‌فراوری‌شده مانند سالادهای آماده، میوه‌های خردشده و سبزی‌های بسته‌بندی‌شده نیاز به آماده‌سازی در خانه ندارند و مصرف آنها راحت‌تر است. با استفاده از تکنیک‌هایی مانند بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده، 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 آمادهٔ مصرف از هدررفت مواد غذایی جلوگیری کند. برای مثال، برش و بسته‌بندی صحیح میوه‌ها مانع از فساد سریع آنها می‌شود و ضایعات زنجیرهٔ تأمین را کاهش می‌دهد. در مقایسه با محصولات فراوری‌شدهٔ 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 کم‌فراوری‌شده این است که این محصولات، نسبت به محصولات کاملاً فراوری‌شده، ماندگاری کوتاه‌تری دارند. برای مثال،

محصولات کنسروی و خشک‌شده می‌توانند برای ماه‌ها یا حتی سال‌ها نگهداری شوند، اما میوه‌ها و سبزی‌های کم‌فراوری‌شده معمولاً تنها چند روز یا چند هفته ماندگاری دارند. بنابراین، مدیریت درست زنجیرهٔ تأمین این محصولات برای کاهش هدررفت ضروری است. خردکردن، پوست‌گیری، و بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها سطح تماس آنها را با محیط افزایش‌می‌دهد و احتمال آلودگی میکروبی را بالامی‌برد. به‌همین‌دلیل، 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 کنترل‌شده استفاده می‌شود.

محصولات کم‌فراوری‌شده باید در دمای پایین نگهداری شوند تا از فساد زودهنگام جلوگیری‌شود. این نیاز به زنجیرهٔ سرد (از زمان برداشت تا مصرف) باعث افزایش هزینه‌های نگهداری و حمل‌ونقل می‌شود. در برخی مناطق زیرساخت‌های لازم برای حفظ زنجیرهٔ سرد به‌درستی وجود ندارد که می‌تواند چالشی مهم باشد. تکنیک‌های کم‌فراوری، بسته‌بندی مناسب، و نگهداری در زنجیرهٔ 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-فراوری‌شده 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. بااین‌حال، چالش‌هایی وجود دارد مانند کاهش ماندگاری، نیاز به زنجیرهٔ سرد، و احتمال رشد میکروبی بالا که نیازمند به‌کارگیری روش‌های نوین و بهینه‌سازی فرایندهای تولید است.

۷-نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر توجه زیادی شده است به تولید محصولات غذایی سالم با فراوری‌کم و نیز اینکه برای حفظ تازگی و خواص طبیعی این محصولات باید از روش‌های نگهداری نسبتا ملایمی استفاده کرد. برخی از روش‌های سنتی نگهداری مواد غذایی (مانند حرارت شدید و نمک) مورد پذیریش مصرف‌کنندگان نیست زیرا باعث کاهش ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای محصول می‌شوند. بنابراین، فرآیندکنندگان مواد غذایی مجبورند تکنیک‌های جدید یا ترکیبی از تکنیک‌های ملایم را به‌روش‌های مختلف باهم به‌کار برند تا از پایداری و سلامت مواد غذایی اطمینان به‌دست 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. علاوه‌براین، برای ارزیابی تأثیر فناوری‌های نوظهور بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی اجزای موادغذایی به‌مطالعات 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 تاثیر یک نوع پوشش نانوامولسیون برپایه کیتوزان در افزایش ماندگاری سیب رقم گلاب کهنز. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۴۴۰۰۸ . ۸۸ صفحه.

هاشمی، م.، بدیعی، ف.، محمدی، ع.، مفتون‌آزاد، 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 درطول انبارمانی. پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران. ۴۷۹۶۷ . ۱۲۰ صفحه.

هاشمی، م.، بدیعی، ف.، مفتون‌آزاد، 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 Fallik, 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 Aarrouf, J. 2016. Understanding the phys-iological 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.